CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

MEMORIAS DEL SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE EL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

7 AL 11 DE MAYO DE 2001

Editores: Carlos Aguirre B.
Carmen Miranda L.
Yola Verhasselt

KAOW-ARSOM
ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE BOLIVIA
ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE BOLIVIA
INSTITUTO PARA LA CONSERVACIÓN E INVESTIGACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD
PROYECTO BID - 929
EMBAJADA DE BELGICA

NUESTRAS MONTAÑAS FUENTE DE VIDA:
BOLIVIA A LA ALTURA DE SU CULTURA

ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE BOLIVIA
REAL ACADEMIA BELGA DE CIENCIAS DE ULTRAMAR
INSTITUTO PARA LA CONSERVACIÓN E INVESTIGACIÓN
DE LA BIODIVERSIDAD / ANCB

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

"Memorias del Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca"

7 al 11 de Mayo de 2001, La Paz - Bolivia

Editores: Carlos Aguirre B.
Carmen Miranda L.
Yola Verhasselt

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

Memorias del Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca 7 al 11 de Mayo de 2001, La Paz - Bolivia

Editores: Carlos Aguirre B.
Carmen Miranda L.
Yola Verhasselt

Depósito Legal: N° 4–1–563–02

Edición: Academia Nacional de Ciencias de Bolivia
Instituto para la Conservación e Investigación de la Biodiversidad / ANCB
Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar

Impresores: Artes Gráficas Latina
Av. 20 de Octubre N° 1826
Tels. 2491730 - 2489307
La Paz – Bolivia

Tiraje: 1.000 ejemplares

Agradecimientos: Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar; al trabajo del personal del Instituto para la Conservación e Investigación de la Biodiversidad de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, en especial de Carmen Rosa Torrez, y la contribución de los expositores participantes.

INDICE

Presentación VII

I.
CONFERENCIAS INTRODUCTORIAS AL MANEJO DEL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

Geo y fluviomorfología en el Sistema T.D.P.S. 3
Jean Jaques Peters

El Balance Energético del Lago Titicaca 19
Jean-Pierre Carmuze

Antecedentes del Plan Director Binacional para la conservación y preservación del Lago Titicaca 31
Julio Sanjinés Goitia

Ejecución del Plan Director Binacional para la conservación y preservación del sistema hídrico Titicaca - Desaguadero - Poopó - Salar de Coipasa 39
Amilcare Gaita Zanatti

II.
INVESTIGACIONES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y AMBIENTALES

Estudios físicos y fotobiológicos en la banda ultravioleta en el Lago Titicaca 61
Francesco Zaratti

Climatología del Sistema T.D.P.S. 75
Carlos Herbas

Mecanismo de formación de las precipitaciones sobre el Lago Titicaca 91
Guillermina Miranda, Felix Trujillo, Fernando Figueroa y Rimort Chávez

Magnitud de los componentes UVA y UVB de la radiación solar en el Altiplano Paceño 107
René Torrez y Luis Alberto Blacutt

Historia climática del Cuaternario Reciente del Altiplano Boliviano 117
Jaime Argollo y Phillippe Mourguiart

Distribución y características del volcanismo cenozoico en el Lago Titicaca 135
Waldo Avila Salinas

Comportamiento hidrológico de los principales afluentes del Lago Titicaca 147
Cesar Ancco Carita

Aplicación de la isotopía en el balance hídrico del Lago Titicaca 153
Marco Paredes Riveros y Roberto Gonfiantini

Comportamiento hidrológico de niveles de agua en el Lago Titicaca, período 1938 - 2001 167
Marco Antonio Justiniano Escalante y Luis Miguel Carrasco N.

Hidroquímica y contaminación de la Cuenca Endorreica del Altiplano 181
Jorge Quintanilla, Amalia Niura, Johnny Martínez, Vladimiro Camacho y Anne Coudrain-Ribstein

III.
INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Aporte de las técnicas de realidad virtual en el desarrollo de proyectos de investigación 197
Pierre Beckers

La rentabilidad económica de cultivos andinos en sukakollus y a secano en el Altiplano Norte del Departamento de La Paz - Bolivia 207
Hugo Ossio Sivila

La investigación en agricultura y ganadería en el Sistema del Lago Titicaca 221
Armando Cardozo

Zonificación agroecológica y socioeconómica del Altiplano Paceño 235
Aernout Weeda

IV.
INVESTIGACIONES SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Especiación en lagos antiguos 251
Patrick Martin

Respuesta de variedades de quinua ante incrementos de la radiación ultravioleta solar 263
Eduardo Palenque

Identificación de la variabilidad y sus flujos de comercialización de los Tubérculos Andinos (TAs) en la zona circunlacustre del Lago Titicaca 271
Victor Iriarte y Enrique Carrasco

Diversidad de flora en las Islas Taquile y Amantani, Puno-Perú 283
Elías Condori Robles y Ana Paola Galván Llacho

Conservación, usos y manejo de la Totora (*Schoenoplectus tatora*) 293
Alberto Lescano Rivero

Informe preliminar de la reactualización de la información de ictiofauna del Lago Titicaca 305
Francisco Osorio y Jaime Sarmiento

Conservación de la rana gigante del Lago Titicaca 321
María Esther Pérez

El potencial de aprovechamiento cinegético de los tinamúes (Aves: tinamiformes)
del altiplano boliviano y la necesidad de reglamentarlo 329
Alvaro Garitano Zavala

El Lago Titicaca y la Convención de Ramsar 339
Eliana Flores Bedregal

Descontaminación de aguas residuales con la Totora 347
Evelyn Taucer y Margot Franken

V.
INVESTIGACIONES SOCIALES Y CULTURALES

Mineros y Misioneros en el "Camino Real". La integración del Titicaca
en la economía del Altiplano (Siglos XVI-XVIII) 355
John G. Everaert

La música étnica en Bolivia. Estado actual de las investigaciones 363
Ferdinand De Hen

Campaña de verano de difusión del índice de radiación ultravioleta (IUV) 371
Luis Alberto Blacutt

Transformaciones en la Economía Prehíspánica de la Península de Santiago de Huata, Bolivia 375
Carlos Lémuz Aguirre

Introducción a la Arqueología de la Cuenca del Lago Poopó 397
Marcos Michel y Carlos Lémuz

CONCLUSIONES

Conclusiones y Recomendaciones 423

ANEXOS 431
1. Comité Organizador 433
2. Programa Oficial 435
3. Lista de Expositores y Participantes 441

PRESENTACIÓN

La Academia Nacional de Ciencias de Bolivia y la Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar, se complacen en presentar el documento ***"Contribución al Conocimiento del Sistema del Lago Titicaca"*** *resultado del desarrollo del Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca, llevado a cabo entre el 7 y 11 de Mayo de 2001.*

En la búsqueda de promover y fortalecer la investigación científica y la capacitación de recursos humanos, la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia y la Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar, han suscrito el 2000 un Convenio de Cooperación Interinstitucional. En este contexto, una de las primeras actividades llevadas a cabo en el marco de este acuerdo de Cooperación, ha constituido la realización del Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca.

El objetivo de este evento ha sido el conocer los avances de las investigaciones realizadas sobre este importante Sistema que se extiende en el Altiplano de Bolivia y Perú, y establecer un estado de situación del conocimiento sobre el mismo.

La realización del Simposio ha contado con el auspicio de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, la Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar, la Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia, la Universidad Mayor de San Andrés, y la Universidad Nuestra Señora de La Paz. El éxito de este evento fue resultado del trabajo comprometido de un Comité Organizador, constituido por una gran cantidad de instituciones vinculadas a la investigación y gestión de los recursos naturales del país.

El desarrollo del programa tuvo la presentación de trece conferencias magistrales y veintitrés ponencias específicas, ordenadas en cinco temáticas:

1. *Manejo del Sistema del Lago Titicaca.*
2. *Investigaciones sobre las condiciones físicas y ambientales (aspectos climáticos, geología, hidrología).*
3. *Investigaciones sobre las condiciones económicas, tecnologías, transporte, industria y turismo.*
4. *Investigaciones sobre la biodiversidad.*
5. *Investigaciones sociales (salud, educación) y culturales.*

El Simposio contó con la presencia de aproximadamente 220 participantes, destacándose la participación de investigadores de centros académicos de Bélgica, estudiantes e investigadores vinculados a universidades de La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí y Puno, y profesionales representantes de diferentes entidades de Bolivia.

Fue destacable también la realización de la visita a terreno de algunos proyectos, en cuya organización y desarrollo la Fuerza Naval de Bolivia y la Autoridad Binacional del Lago Titicaca brindaron un decidido apoyo.

El documento que ahora se entrega, contiene el conjunto de presentaciones de la labor realizada por muchas instituciones que a través de la generación de conocimiento pretenden contribuir al desarrollo y manejo adecuado de los abundantes recursos naturales presentes en esta región.

Las conclusiones emergentes del debate realizado en la última sesión del evento destacan principalmente la necesidad de hacer mas accesible a la sociedad la información generada, así como una mayor coordinación y participación de todos los actores vinculados en el uso de recursos, planificación y gestión del Sistema del Lago Titicaca.

LOS EDITORES

Conferencias Introductorias al Manejo del Sistema del Lago Titicaca

Geo- y fluviomorfología en el Sistema T.D.P.S.

Por: *Jean Jacques Peters*[1]

Palabras Clave: Cuenca endorreica; manejo de recursos hídricos; geomorfología; fluviomorfología; deltas y conos de deyección; obras de regulación.

RESUMEN

El sistema T.D.P.S. es el resultado de modificaciones geomorfológicas en el holoceno, iniciados por cambios climatológicos. La cuenca endorreica del Lago Titicaca se unió, por su desborde, a la cuenca endorreica vecina del Lago Poopó, formando el río Desaguadero. El sistema hídrico tiene características muy especiales, con escurrimiento variable en el río Desaguadero, en función de la variación del nivel del Lago Titicaca, anual e interanual. Los recursos de agua en el sur del sistema T.D.P.S. dependen principalmente del nivel del espejo del agua en el Lago Titicaca. Los afluentes del lago forman deltas muy fértiles, que pueden inundarse cuando el lago Titicaca sube bastante. Las aguas del río Desaguadero no traen carga sólida en su salida del lago, pero reciben progresivamente los aportes sólidos de los afluentes, principalmente del río Mauri. Debido a cambio de pendiente, el sedimento se deposita progresivamente y forma un amplio cono de deyección, el cual avulsionó el río Desaguadero. El proceso fluviomorfológico fue afectado por la actividad humana, en particular por la construcción de un canal de alimentación de una mina. La Comisión Europea financió un estudio de manejo del sistema T.D.P.S. Una conclusión fue la escasez de recursos hídricos y su distribución irregular –en cantidad y en calidad– aspecto que dificulta un uso racional, debido a que la demanda sobrepasa bastante la disponibilidad promedia. El estudio T.D.P.S. propuso la construcción de obras de regulación, en particular una obra para controlar el nivel del espejo de agua en el Lago Titicaca y otra para controlar el flujo y el transporte de sedimento en la bifurcación del río Desaguadero, cerca de la ciudad de Oruro.

SUMMARY

The system T.D.P.S. it is the result of geomorphologic modifications in the Holoceno, which begun because of climatological changes. The endorreic or closure basin of the Lake Titicaca is united, for its overflows, to the

1 Real Academia Belga de Ciencias de Ultra Mar. 44 rue Philippe de Champagne, B-1000 Bruselas, Bélgica. Tel.: +32 (0) 2 512-8006, fax: +32 (0) 2 502-4644, E-mail: jjpeters@skynet.be

endorreic neighboring basin of the Lake Poopó, by forming the River Desaguadero. The hydrological system has very special characteristics, the glide of the River Desaguadero is variable, it changes in function of the Titicaca Lake level variation, annual and interanual. The resources of water in the south of the system T.D.P.S. depend mainly on the level of the Lake Titicaca. The tributaries of the lake form very fertile deltas that can be flooded when the lake Titicaca ascends enough. The waters of the River Desaguadero don't bring solid load in their exit of the lake, but they receive the solid contributions of the tributaries progressively, mainly from the River Mauri. Due to slope change, the silt is deposited progressively and it forms a wide debris cone in which the River Desaguadero was formed a new branch of the river. The fluvial morphologic process was affected by the human activity, in particular, by the construction of a channel for water feeding to a mine. The European Commission financed a study for the management of the system T.D.P.S.. One of the conclusions was about the shortage of hydrological resources and its irregular distribution –in quantity and in quality– do not satisfy the demand. This aspect hinders the rational use of this resource, because it surpasses enough the readiness averages. The T.D.P.S's study proposed the construction of regulation dams, in particular one for the control of the level of the water in the Lake Titicaca and another to control the flow and the silt transport at the bifurcation of the River Desaguadero, near to the city of Oruro.

1. INTRODUCCIÓN

En la presente ponencia trataremos de resumir aspectos de geomorfología y de fluviomorfología en el sistema T.D.P.S. (Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa). En esta primera sesión, el anterior y actual Presidente de la Autoridad Bi-Nacional para la Conservación y Preservación del Lago Titicaca (ALT) hablarán de los antecedentes del Plan Director Global Binacional de Protección - Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (denominado en adelante Plan Director T.D.P.S.) y de su ejecución. No quiero duplicar lo que expondrán, solo plantear el cuadro en el cual puede colaborar en la elaboración del Plan Director T.D.P.S., participando como Asesor de la Comisión Europea al estudio financiado por la Unión Europea entre 1993 y 1995, asimismo en los estudios para las obras de emergencia en la región de Oruro, iniciadas después de las inundaciones catastróficas de 1986.

El estudio del Plan Director T.D.P.S. fue ejecutado por el consorcio INTECSA (España) –AIC-PROGETTI (Italia)– CNR (Francia). Su ejecución constituyó un ejemplo exitoso de estudio pluri-disciplinario, tocando varios aspectos donde como resultados se lograron descubrimientos muy interesantes. Sin embargo, los problemas de fluviomorfología bastante complejos no pudieron recibir suficiente atención dentro del estudio del Plan Director T.D.P.S., aunque estos aspectos necesitan soluciones urgentes. Revisaremos en la presente ponencia algunos de estos problemas, indicando pistas de solución.

2. LA IMPORTANCIA DE LA GEO- Y FLUVIOMORFOLOGÍA EN LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

La geomorfología y la fluviomorfología reciben generalmente poca atención de parte de los hidrólogos y especialistas involucrados en la gestión de recursos hídricos. Por otra parte, todavía tenemos un conocimiento

bastante débil del comportamiento de cuerpos de aguas superficiales, tales como ríos, estuarios, deltas, lagos. Ciencias tales como geografía, geología o tectónica, no reciben mucha atención en la educación y la formación de ingenieros hidrólogos e hidráulicos, aunque el comportamiento de ríos depende mucho de la orografía de sus cuencas. Una aproximación bastante estrecha de la fluviomorfología ha conducido a incidentes y/o catástrofes medio-ambientales en el mundo, ejemplos de ello incluyen tanto a países o regiones desarrollados así como los subdesarrollados, o de regímenes políticos muy diferentes, tales como Europa, los Estados Unidos, Rusia, Bangladesh. El cuerpo de ingenieros de la Armada Norteamericana (U.S. Corps of Engineers) estableció en el año mil novecientos sesenta un servicio especial encargado de los aspectos de fluviomorfología, llamado a propósito el servicio de Potamología, de las palabras griegas potamos (río) y logía, porque la palabra fluviomorfología tiene una significación más restringida.

Algunas de las modificaciones geomorfológicas producidas por los cambios climatológicos en el holoceno están bien reconocidas, tales como la subida del nivel del mar (Figura 1) o las variaciones del nivel del agua en un lago (Figura 2). Otras no aparecen tan claramente, pero tienen efecto sobre el funcionamiento de los sistemas hídricos, algunos de los ejemplos incluyen el cambio de la tasa de transporte de sedimento y de la morfología de los cauces de los ríos. La morfología de un cauce depende de muchos factores, entre los cuales la hidráulica tiene una gran importancia, pero no es la única.

Podemos ilustrar con el río Níger en África, cuyo curso central se encuentra actualmente en Sahel, región muy árida, resultado del cambio climatológico global progresivo. En dicho tramo –su trecho cerca del desierto Sahara, más al Norte– su cauce cambia del tipo meándrico aguas arriba hacia el tipo trenzado, caracterizado por una superficie libre bastante más amplia con relación al volumen de agua. Proviene del almacenamiento de una gran parte de la carga sólida del río en un cono de deyección (abanico aluvial). El aumento del área del espejo de agua produce un aumento en la evaporación y en consecuencia, en una pérdida del líquido a la salida del tramo trenzado.

El manejo permanente de los recursos hídricos debe considerar la geo- y la fluviomorfología, y basarse en un mejor entendimiento de estos aspectos. No se puede desconocer ni olvidar las tendencias en la evolución a largo plazo de la fluvio-geo-morfología, consecuencia de cambios naturales, a parte del cambio global inducido por la actividad humana. En la cuenca del sistema T.D.P.S. accionan diversos mecanismos que modifican la morfología de los cuerpos hídricos.

3. ASPECTOS DE GEO Y FLUVIOMORFOLOGÍA EN EL SISTEMA T.D.P.S.

En el Simposio, otros expositores presentarán la evolución histórica del sistema T.D.P.S., cuenca endorreica con subcuencas unidas o separadas según las variaciones del nivel de las aguas en los lagos. Actualmente, el sistema cuenta con dos diferentes subcuencas, unidas por el río Desaguadero que fluye del Lago Titicaca hacia el Lago Poopó, y más adelante al Salar de Coipasa (Figura 3). En realidad, habría que añadir la cuenca del Salar de Uyuni, anteriormente parte integral del sistema hídrico, pero que no recibe actualmente aguas afluentes de la Salar de Coipasa.

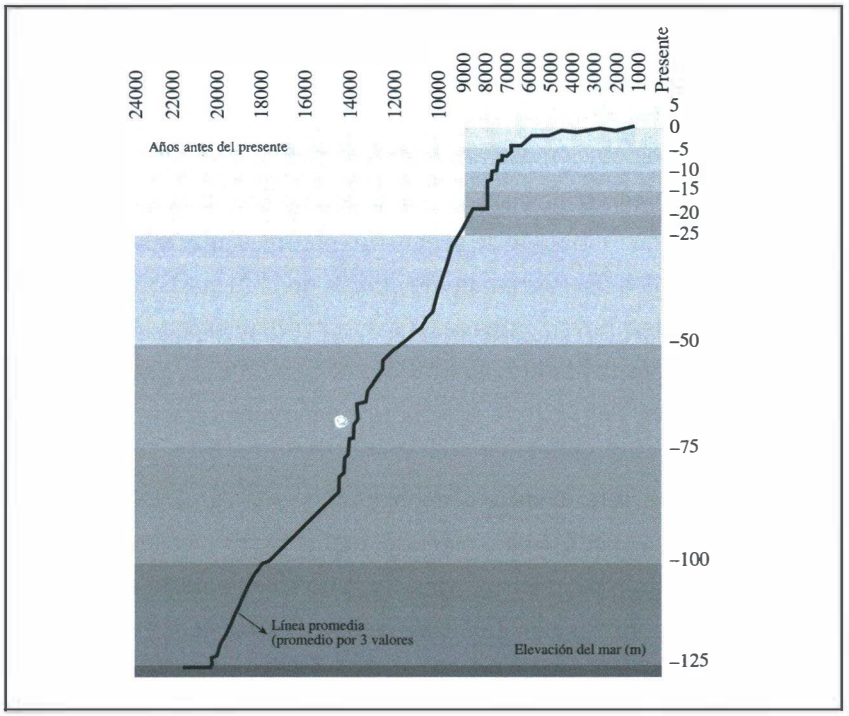


Figura 1
Variación del nivel del mar en los últimos 20.000 años.

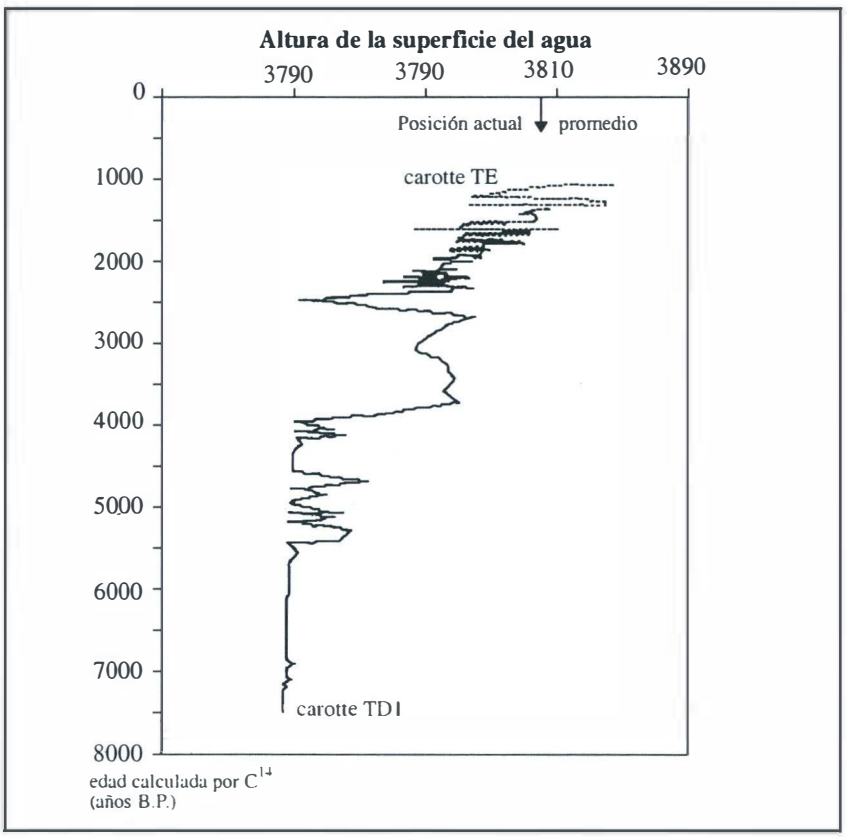


Figura 2
Variación del nivel del Lago Titicaca desde 7.700 hasta 1.000 años B.P.

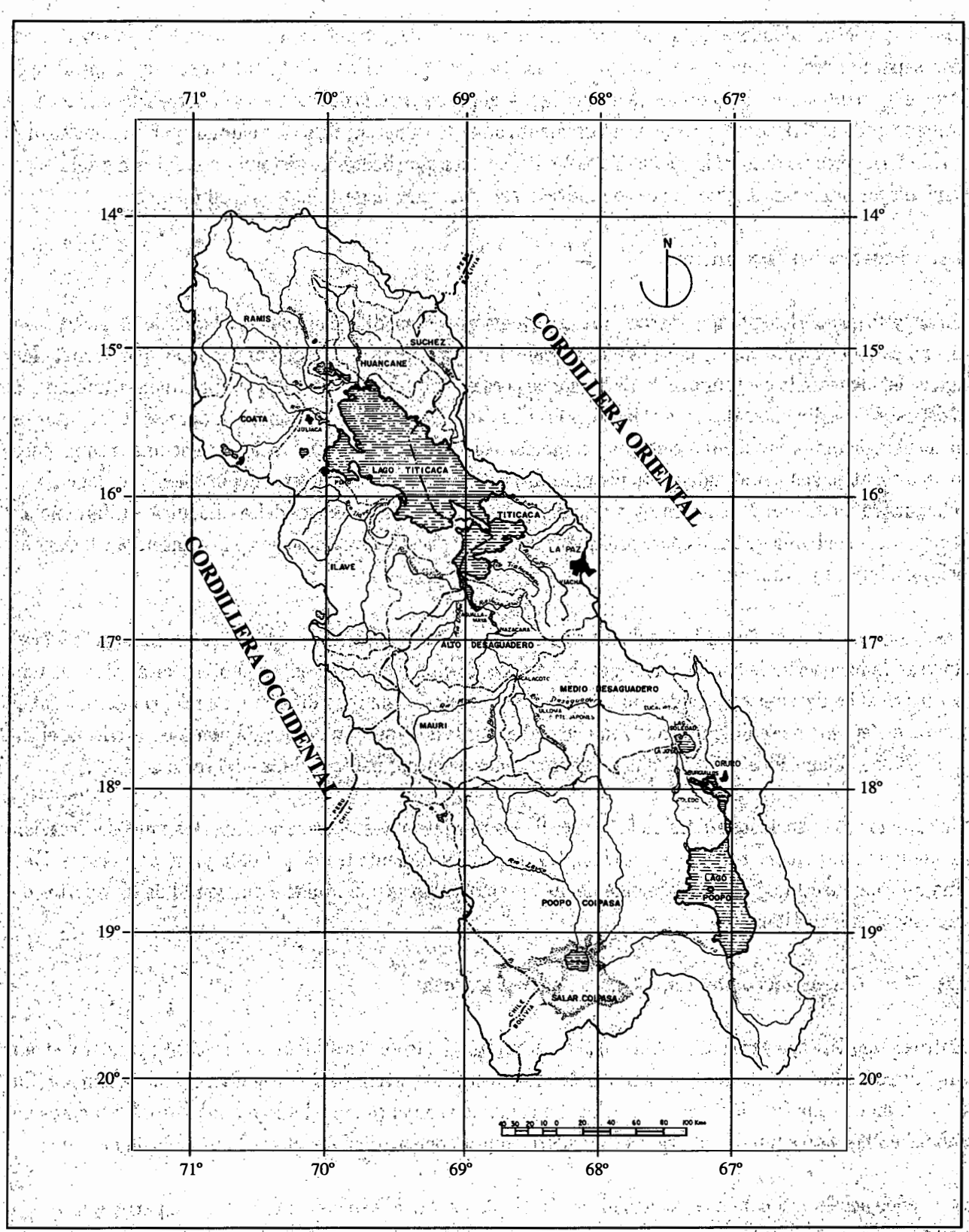


Figura 3
Área de Estudio del Sistema T.D.P.S.

Una observación cuidadosa de la red hidrográfica permite concluir que la subcuenca del Lago Titicaca ha sido separada recientemente –a la escala de los tiempos geológicos– de la subcuenca del Lago Poopó. Inmediatamente antes de la unión de los dos lagos, el primer tramo del río Desaguadero funcionaba como afluente al Lago Titicaca. Por razones actualmente mal conocidas, su curso fue captado por un afluente del río Mauri, el principal río en la cuenca del Lago Poopó. La unión de los dos sistemas del Titicaca y del Poopó tiene mayor importancia para la gestión hídrica, así como para la gestión de los sedimentos.

3.1. La cuenca del Lago Titicaca

Un aspecto geomorfológico que merece nuestra atención es la modificación de las riberas del Lago Titicaca el cual es un elemento crítico para la hidrología del sistema T.D.P.S., porque afecta la evaporación de las aguas del lago y en la contaminación de las zonas poco profundas. Estas zonas poco profundas cambian con el depósito de sedimentos llevados al lago por los ríos. No existe una estimación de los aportes sedimentarios hacia el lago; tampoco sabemos como han cambiado con el tiempo. El lago funciona como una trampa para los sedimentos, sus aguas salen limpias para alimentar al río Desaguadero. Seguramente, el lago no se rellenará rápidamente de sedimentos, sin embargo una sedimentación en los deltas modifica continuamente la proporción del área de aguas poco profundas, lo que afecta el intercambio entre la atmósfera y las aguas del lago, lluvias y evaporación.

Las fotografías aéreas de las bocas de los ríos Coata y Ramis (Figuras 4 y 5), afluentes del lago Titicaca, ilustran la formación de bordes naturales de encauzamiento, probablemente con el material sólido traído por los ríos. La desembocadura del río Coata tiene una morfología muy diferente a la del río Ramis. En el Coata, el depósito de sedimento en la zona lateral al borde debe ser con material limonoso o arcilloso, el río progresa en el lago, formando con sus meandros zonas eventualmente aisladas del resto del lago.

Un cambio en el uso de los suelos en la cuenca de los ríos puede resultar en más aportes sólidos y creación de lagunas o de deltas en el lago, según la naturaleza del sedimento traído por el flujo en las crecidas. Hay una relación directa entre la morfología de las desembocaduras y el impacto ambiental de los aportes de sedimento al lago Titicaca.

3.2. El río Desaguadero, del Lago Titicaca hasta Calacoto

Entre el lago Titicaca y la confluencia con el río Mauri en Calacoto, los afluentes del río Desaguadero llevan una carga sedimentaria diversa, partículas arenosas hasta arcillosas. Sin embargo, no sabemos si la proporción de cada fracción granulométrica ha cambiado con el tiempo. La inyección por los afluentes de sólidos en las aguas limpias del río Desaguadero en procedencia del lago afecta la morfología del cauce.

Se pueden observar fenómenos morfológicos –en planta y vertical– en las confluencias, en particular del río Jacha Jahuira (Figura 6) en Aguallamaya. En planta, el sedimento aportado por el afluente crea en el río Desaguadero un cono de deyección, desplazando el eje del cauce principal hacia el margen derecho, opuesta a la confluencia. En el caso de un depósito menor y de un gasto suficiente saliendo del Lago Titicaca, el

Figura 4
Vista áerea de la boca del río Coata en el Lago Titicaca.

Figura 5
Vista aérea de la boca del río Ramis en el Lago Titicaca.

Figura 6
Vista áerea de la confluencia del río Jacha Jahuira con el río Desaguadero.

material puede ser removido rápidamente, con poco impacto sobre el perfil de agua. En el caso de un depósito mayor en un gasto débil saliendo del Lago Titicaca, una obstrucción temporal se formará, con retención de los flujos. La pendiente hidráulica en el tramo inicial del río Desaguadero bajará, disminuyendo el gasto líquido del río principal de cual dependen muchos usuarios en la cuenca del Poopó.

La Autoridad Bi-Nacional para la Conservación y Preservación del Lago Titicaca examina diferentes soluciones, entre otros la utilización de obras hidráulicas para evitar el fenómeno de taponamiento. El ALT considera la construcción de paneles de fondo, pero existen seguramente otras medidas para resolver el problema.

De la fotografía aérea (Figura 7) de la confluencia de los dos ríos Desaguadero y Mauri, se puede concluir que el Desaguadero es el afluente del Mauri. Es lógico, considerando que el Desaguadero ha sido un afluente del Mauri antes que comenzara a funcionar lo cual es como un eje fluvial de desagüe del Lago Titicaca. Aguas arriba de la confluencia, el Desaguadero tiene pendientes débiles, en un orden de 17 cm por kilómetro.

3.3. El río Desaguadero, trecho entre Calacoto y Eucaliptos

Las características geométricas del río Desaguadero cambian aguas abajo de Calacoto, donde confluye con el río Mauri. Sin embargo, continúan las características del lecho del río Mauri, el Desaguadero siendo en realidad morfológicamente un afluente del Mauri, un río de tipo trenzado, como se puede observar en la figura 7. El material del lecho es una mezcla de sedimento en grueso –arena hasta grava– proveniente de

Figura 7
Vista aérea de la confluencia del río Desaguadero con el río Mauri.

la cuenca del Mauri con material más fino traído por el Desaguadero. Hasta Eucaliptus, la pendiente del río es del orden de medio metro por kilómetro, es decir tres veces la pendiente del río Desaguadero aguas arriba de la confluencia con el Mauri.

3.4. El río Desaguadero, desde Eucaliptus hasta el lago Poopó

Aguas abajo de Eucaliptus, la pendiente del río Desaguadero disminuye de 50 hasta 25 cm por kilómetro. No se conoce bien la tasa de transporte de sedimento en los varios tramos del río, pero parece claro que la capacidad de transporte excede las aportaciones, porque la pendiente baja aunque el gasto líquido permanece más o menos constante. Además, el río encuentra formaciones geológicas rocosas resistentes a la erosión los cuales controlan la movilidad de su cauce, tal como se puede observar en la fotografía satelital (Figura 8). Desde el lugar Eucaliptus, el cauce toca lateralmente a las formaciones rocosas, pero en la Joya el río tiene que atravesar una barra geológica, obligándolo a cambiar su rumbo.

En la fotografía aérea (Figura 9, de Norte a Sur) se puede observar como el cauce –de tipo trenzado– viene a tocar a la formación rocosa visible al lado derecho (donde se encuentra una mina de oro). Anteriormente, el río tenía un cauce único llevando las aguas del río Desaguadero directamente al lago Poopó (Figura 10, mapa del año 1920). No conocemos el efecto que ha tenido la construcción de la carretera Oruro-Toledo sobre el tránsito de aguas y sedimento durante avenidas, pero podría ser una causa para la formación del lago Uru Uru visible en el mapa de 1955.

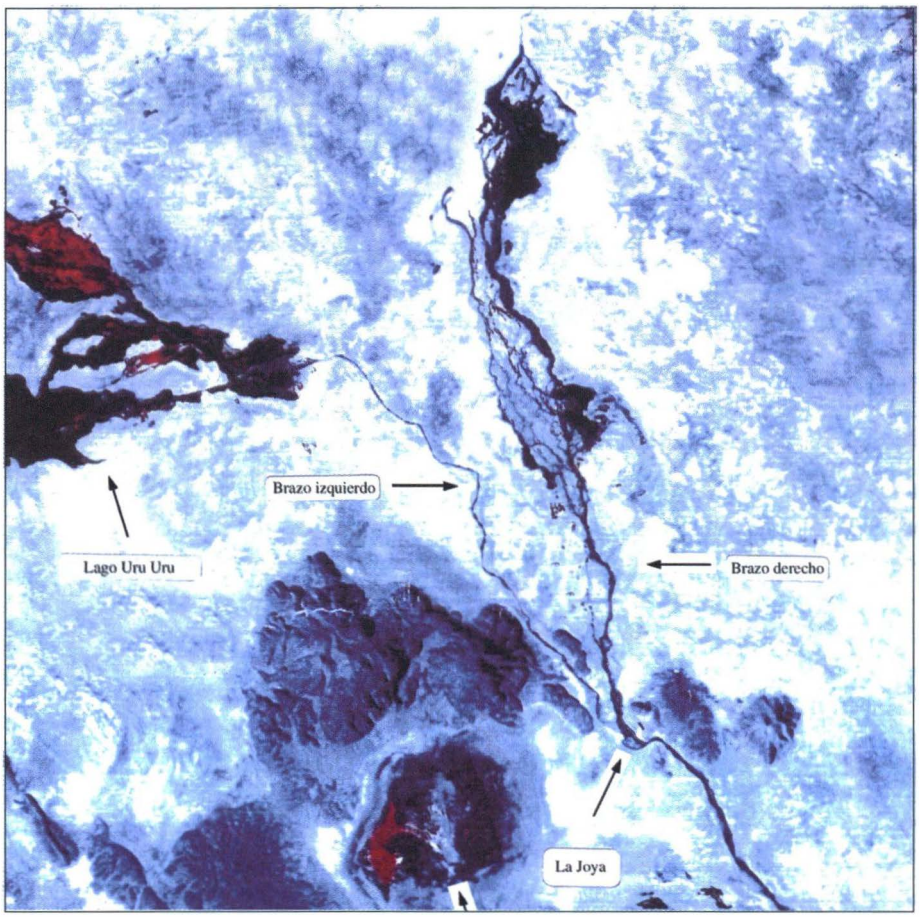


Figura 8
Vista satélite del río Desaguadero en la zona de La Joya.

Figura 9
Vista áerea de la bifurcación del río Desaguadero en La Joya.

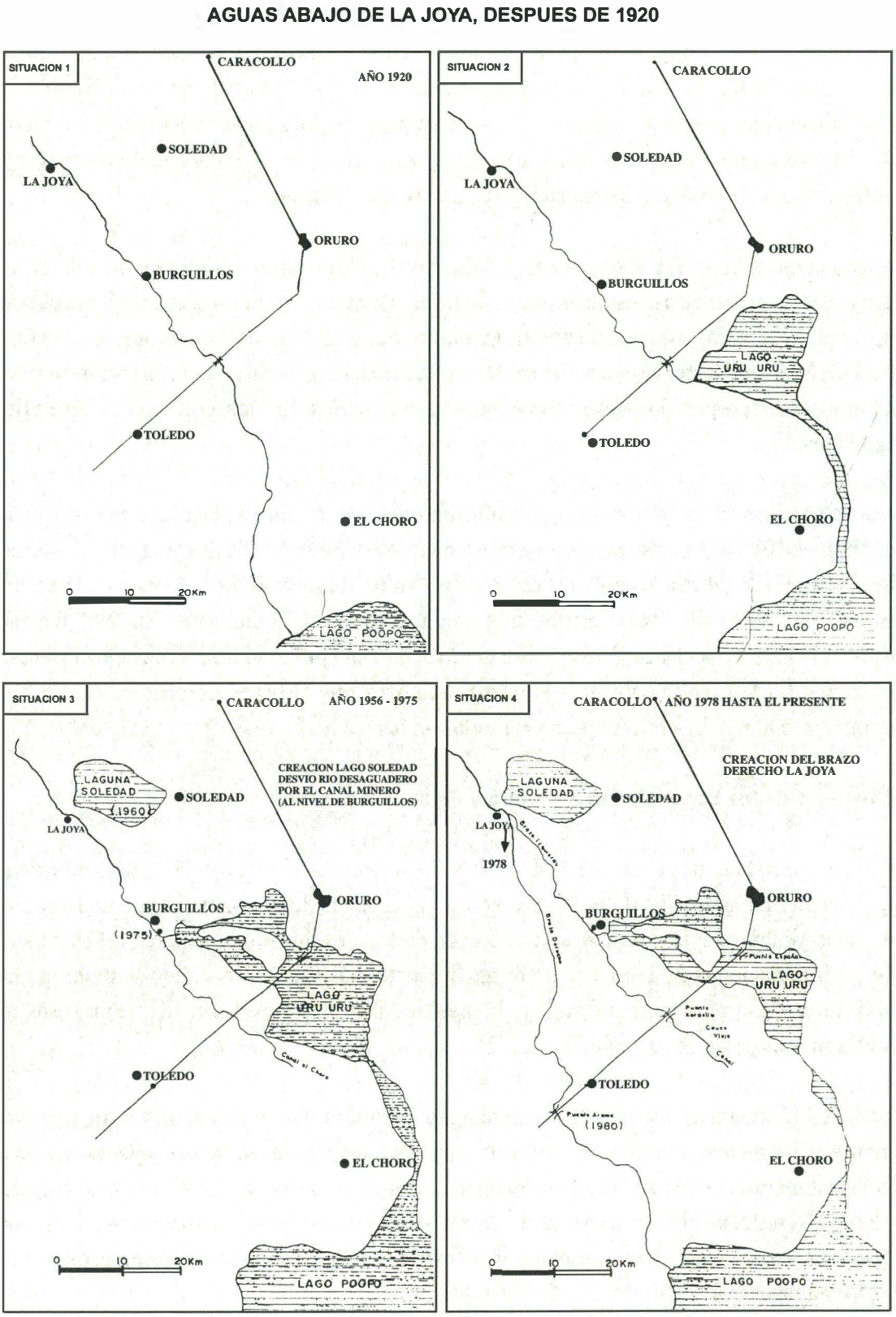


Figura 10

Mapas del río Desaguadero aguas abajo de Eucaliptus, con los cambios morfológicos desde el año 1920.

En 1960 se formó el lago Soledad, cerca a La Joya fue probablemente a consecuencia del movimiento al Oeste del meandro del cauce, lo que produjo una avulsión (creación de un nuevo curso, durante una crecida) y la inundación de una depresión existente entre el río y el pueblo Soledad. No se sabe si una posible subida del lecho –una ampliación del cauce– aguas abajo de La Joya contribuyó al fenómeno de avulsión. Seguramente, la discrepancia entre tasa y capacidad de transporte del sedimento juega un papel determinante en los cambios morfológicos de los ríos aluviales.

Un pequeño canal minero fue excavado en 1975 a nivel de Burguillos. No tenía obra de control de la repartición de los gastos entre los dos brazos, de tal modo que el canal minero amplió rápidamente su sección, sacando la mayor parte del caudal. Eso alimentó una zona baja y produjo una extensión del lago Uru Uru hacia el Norte. El cauce del río Desaguadero aguas abajo de la bifurcación se secó, lo cual significó una catástrofe para los agricultores teniendo que aprovechar las aguas del río entre Burguillos y el Lago Poopó.

Otra avulsión ocurrió en La Joya en 1978, creando un nuevo cauce (llamado Abrazo derecho) en dirección a Toledo (Figura 10). Tal como se puede observar en las fotografías satelitales (Figura 8) y aérea (Figura 9), el brazo izquierdo (el cauce original) corre en un valle lidiado con formaciones rocosas, aunque el brazo derecho se desarrolla libremente en una amplia planicie de inundación. En 1980 fue construido un puente en la carretera Oruro-Toledo sobre el brazo derecho para facilitar el desagüe de esta planicie de inundación. La fotografía satelital (Figura 8) muestra que el brazo derecho se desarrolló con un cauce complejo, con muchos brazos poco profundos en los cuales evapora gran parte del gasto líquido.

3.5. El sistema de los Lagos Uru Uru, Poopó y Salar de Coipasa

Faltan datos confiables para establecer balances de sedimento. La aportación continua de material sólido procedente de la erosión de los suelos en las subcuencas del Mauri y del Medio Desaguadero se deposita parcialmente en la planicie de inundación de los ríos durante avenidas, tal como sucedieron durante las inundaciones de 1986. Sin embargo, la parte más gruesa del sólido sedimenta en el lecho por disminución de la pendiente hidráulica, la más fina llegando a los lagos. Estos procesos controlan los cambios morfológicos observados (Figura 7).

El manejo de la fluviomorfología de la parte baja en la cuenca del lago Poopó, con un objetivo del uso permanente de los recursos hídricos, debe basarse en un manejo de la carga sólida de los ríos en procesos de erosión/sedimentación. Apoyamos la propuesta hecha en el Plan Director T.D.P.S. de mantener en el brazo derecho una zona donde parte de la carga sedimentaria puede depositarse. Una obra en la bifurcación La Joya es un elemento clave y su estudio debe contemplar el comportamiento fluvio-morfológico aguas abajo.

4. OBRAS PREVISTAS EN EL PLAN DIRECTOR T.D.P.S.

El Plan Director tiene varias propuestas de obras de manejo hidráulico del sistema lagunar y fluvial en el eje T.D.P.S. (Figura 11). Sin embargo, la Autoridad Bi-Nacional para la Conservación y Preservación del Lago Titicaca tiene como tarea perfeccionar este Plan Director donde se necesita ampliar el conocimiento y el entendimiento de la hidráulica y de la fluviomorfología del sistema.

4.1. Obras de regulación entre el Titicaca y el Maurl

La concepción de las obras de regulación entre el lago Titicaca y Aguallamaya, parcialmente ejecutadas, no requiere estudios profundos de fluviomorfología. Para las otras obras en el eje del río Desaguadero, las obras de regulación pueden brindar impactos significativos para el comportamiento futuro de los ríos. Por eso, hay que basar los proyectos en estudios con suficientes datos de campo.

4.2. Obra de regulación en La Joya

Considerando la rápida evolución morfológica del trecho aguas abajo de Eucaliptus, queda claro la necesidad de establecer a corto plazo una obra de regulación en La Joya. El estudio del Plan Director T.D.P.S. incluyó un anteproyecto de obra de regulación (Figura 12), inspirado en un anteproyecto el cual habíamos presentado en nuestra función de asesor de la Comisión dentro del proyecto de obras de emergencia, anterior al estudio del Plan Director T.D.P.S.

El ALT encargó al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Mayor de San Simón (L.H. Cochabamba, U.M.S.S.) el estudio en modelo reducido de una obra de regulación en La Joya. El laboratorio propuso una obra diferente, con un vertedor en el cauce del río con el propósito de aumentar localmente la carga hídrica y desviar parte del gasto líquido hacia el brazo izquierdo del río Desaguadero, por un canal de conducción. La obra tiene en el cauce un vertedor laberinto con un canal de desfogue al lado de la orilla: una obra de toma lateral controlado por un sistema de compuertas para derivar un caudal mínimo al brazo izquierdo.

Hay que mencionar el riesgo asociado a obras cuyos diseños limita la movilidad del cauce. El riesgo es menor cuando el río ya tiene puntos de control naturales, por la geología, tal como en La Joya. Sin embargo, existe una incertidumbre sobre la reacción morfológica del cauce –la respuesta del río– . No se puede olvidar que el río Desaguadero siempre ha cambiado de forma en La Joya, induciendo una avulsión en 1960 hacia el lago Soledad y más recientemente, una avulsión en 1978 con la formación del brazo derecho. Por eso, se recomienda la realización de obras dejando una cierta libertad de movimiento al lecho. El objetivo de la obra debería ser una distribución conveniente de los gastos líquidos y sólidos entre los dos brazos aguas abajo de La Joya. El estudio requiere una recopilación y un análisis de la información disponible, y la adquisición de datos adicionales, pero con mucha atención hacia la geo- y la fluviomorfología.

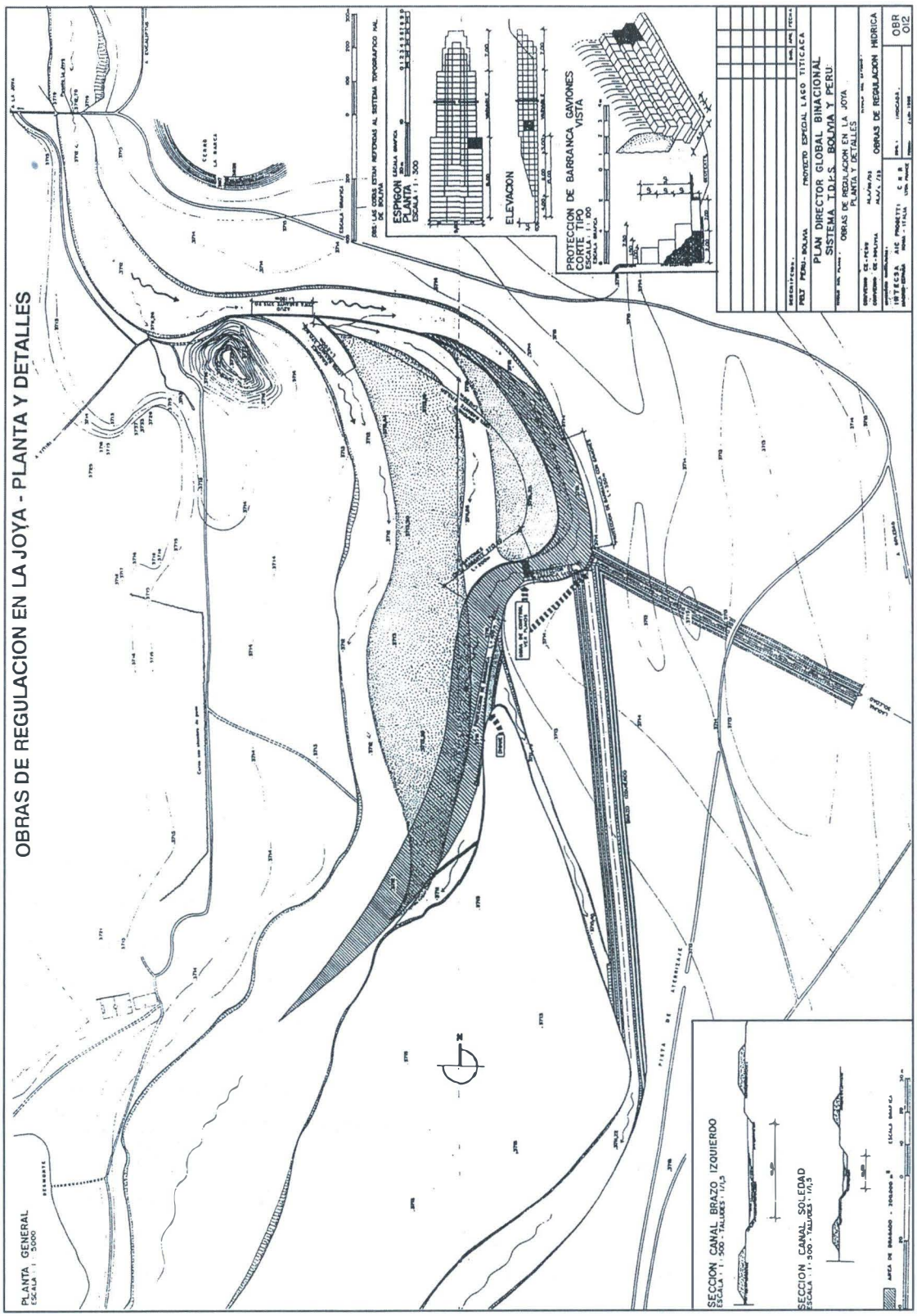


Figura 11
Obras de manejo hidráulico en el eje TDPS.

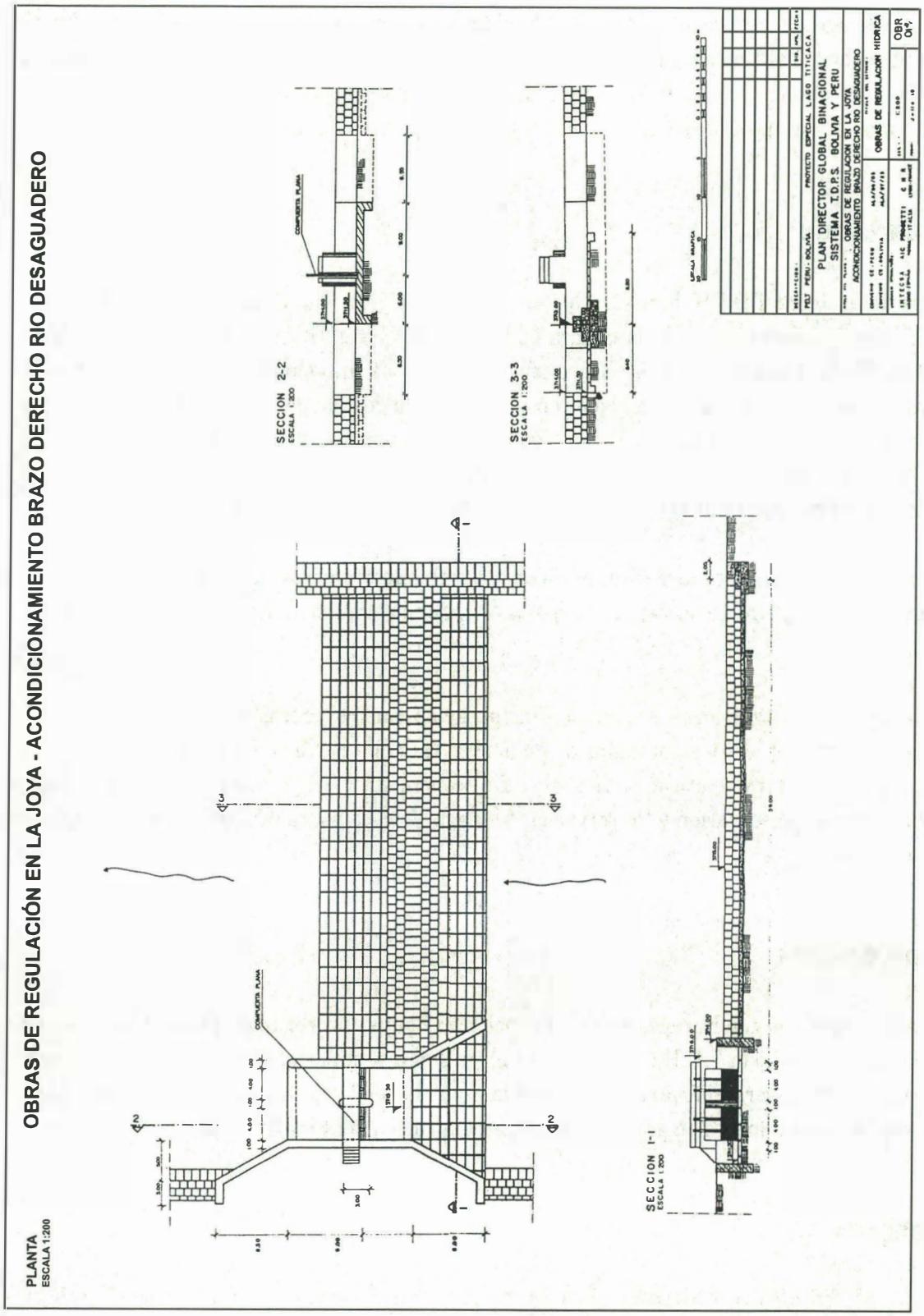


Figura 12
Obras de regulación en La Joya - Planta y Detalles.

El estudio de la obra para regular los gastos líquidos y sólidos entre los brazos izquierdo y derecho del río Desaguadero aguas abajo de La Joya debe ser basado sobre un entendimiento del comportamiento fluvial. No fue posible adquirir datos suficientes de sedimento y de morfología fluvial durante el estudio financiado por la Comisión Europea, tarea que será de responsabilidad de la Autoridad Bi-Nacional -ALT.

5. CONCLUSIÓN

Los ríos del sistema T.D.P.S. han sufrido cambios morfológicos significativos, debido a la variabilidad climatológica y meteorológica en la cuenca endorreica del Lago Titicaca, donde se requiere un manejo cuidadoso de sus recursos hídricos. El manejo de los ríos es un elemento clave para una preservación óptima de estos recursos. Las autoridades encargadas de la gestión del sistema T.D.P.S. deberían prestar atención a la fluviomorfología, no sólo con medidas en las cuencas, tal como el control de la erosión de los suelos, sino también para el manejo de los cauces de los ríos. La fluviomorfología moderna es una ciencia muy joven y pluri-disciplinaria.

La formación de ingenieros hidráulicos no da en general, importancia a disciplinas tales como la geología o la geografía. En el futuro, se necesitarán expertos en potamología, con conocimiento de diversas disciplinas incluidas.

Generalmente, los potamólogos aceptan el principio de no construir obras que hipotecan el futuro. Por eso, hay que trabajar con los ríos, no tratar de domarlos. Hay que borrar de nuestro vocabulario la palabra domar, y aprender a trabajar con los ríos, en vez de contra ellos. Tengo confianza en que la Autoridad Bi-Nacional para la Conservación y Preservación del Lago Titicaca podrá desarrollar sus actividades en este sentido.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Comisión Europea y a su Delegación en Bolivia para el apoyo y colaboración, tanto durante la ejecución del proyecto T.D.P.S. así como en el presente seminario. Queremos evocar la memoria del Ingeniero Alberto Rivera^, oficial encargado en la Comisión de la ejecución de los proyectos T.D.P.S., cuya visión y dedicación colaboró en gran medida en la realización del Plan Director.

BIBLIOGRAFIA

INTECSA - AIC PROGETTI - CNR (1993). Plan Director global binacional de Protección - Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.), Convenio entre la Comisión Europea y las Repúblicas de Perú y Bolivia (3 volúmenes).

El balance energético del Lago Titicaca

Por: *Jean-Pierre Carmouze*[1]

RESUMEN

El Lago Titicaca es un ejemplo único de un gran lago profundo situado en zona tropical y a 3.810 m de altitud. Esta posición elevada le confiere una regulación térmica particular.

El Titicaca recibe una radiación solar en valor promedio de 2.190 J cm-2 J-1 (13% superior a la que recibiría si estuviera situado al nivel del mar, en buen tiempo; este aumento es disminuido de 3 a 4% por el hecho que la insolación es un poco inferior al valor medio que se encuentra en la zona tropical. Las variaciones mensuales de la radiación son reducidas a 32% debido a la repartición variable de las nubes en el curso del año.

Las pérdidas por radiación terrestre, siempre debidas a la posición elevada del Titicaca son de 30 a 35% superiores a las que estaría sujeto si se encontrara al nivel del mar. Las variaciones estacionales se alejan de +32% del valor promedio.

El aumento de las ganancias por radiación solar es compensado por el aumento de las pérdidas por radiación terrestre. Esto significa que las pérdidas por evaporación y conducción son del mismo orden de magnitud que las registradas en lagos de altitudes bajas.

La tasa de evaporación es de 1.720 mm año-1. Los intercambios por convección térmica corresponden todo el año a pérdidas de calor del lago, se toma el día como unidad de tiempo.

Las variaciones de la reserva calorífica del lago provocadas por la repartición desigual de la energía solar en el curso del año (631.500 J cm-2 a fines de marzo contra 580.500 J cm-2 a fines de agosto) representan el volante térmico del lago. La resistencia a la difusión térmica creada por el frente de penetración de calor es dos veces menos fuerte en el Titicaca que a nivel del mar, a la misma latitud. Así, el volante térmico es aumentado y el microclima creado por el lago es reforzado. A manera de ejemplo, cabe notar que la que la

1 Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD). Teléfono (591 2) 2782969 - 2784925 Fax: (591 2) 2782944 Casilla 9214. Avenida Hernando Siles N° 5290, esq. calle 7 de Obrajes. E-Mail: ird.bolivia@mail.megalink.com La Paz - Bolivia

temperatura media anual es de 8,5°C en Puno situado a orillas del lago contra 6,5°C en Chuquibambilla situado a 60 km al noroeste del lago mientras que la amplitud anual es de 12°C en Puno contra 18°C en Chuquibambilla.

SUMMARY

The Lake Titicaca is an unique example of a great deep lake located in tropical area at 3.810 m of altitude. This high position confers to it a particular thermal regulation.

The Titicaca lake receives a solar radiation on average about 2190 J cm-2 J-1 (13% superior to which would receive if it was been located at the level of the sea, in good time; this increase is diminished from 3 to 4% because of the fact that the heatstroke is a little inferior to the half value that it is in the tropical area). The monthly variations of the radiation are reduced to 32% due to the variable distribution of the clouds in the course of the year.

The loss of terrestrial radiation, always due to the high position of the Titicaca lake, are from 30% to 35% superiors to those that it would be located at the level of the sea. The seasonal variation raises for + 32% of the value average.

The increase of the earnings for solar radiation is compensated by the increase of the loss by terrestrial radiation. This means that the losses for evaporation and conduction is about the same in order of magnitude that those registered in lakes of low altitudes.

The evaporation rate is of 1720 mm year-1. The exchanges for thermal convection correspond the whole year for the losses of heat at the lake. It takes the day like unit of time.

The variations of the heat reservation of the lake caused by the unequal distribution of the solar energy in the course of the year (631500 J cm-2 at the end of March against 580500 J cm-2 at the end ofAugust). They represent the thermal steering wheel of the lake. The resistance created by thermal diffusion offer a front where the heat penetration is twice less strong at the Titicaca Lake than at level of the sea, at the same latitude. In this way, the thermal steering wheel is increased and the microclimate created by the lake is reinforced. For example, notice that the annual temperature of Puno is of 8,5°C which is located at the border of the Titicaca lake, while the annual temperature of Chuquibambilla is 6,5°C which is located at 60km to the northwest of the lake, the annual width range is about 12°C in Puno while it is18°C in Chuquibambilla.

INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca es un ejemplo único de un gran lago profundo situado en zona tropical (entre 16°35´ y 15°25´ de latitud Sud) y a 3.810 m de altitud. Se puede pensar a priori que esta posición elevada le confiere una

regulación térmica particular. Se han realizado diversos estudios sobre este tema (KESSLER, 1970; RICHERSON et al., 1977; CARMOUZE et al., 1983 y TAYLOR y AQUIZE, 1984), que permiten, en primer lugar, comprender mejor el microclima creado por este lago en la región circundante, en segundo lugar, determinar los factores que controlan la temperatura del lago y su estratificación térmica, y por último, evaluar el índice de evaporación que es un factor de la regulación hídrica.

El balance energético al nivel del espejo de agua comprende dos términos que se equilibran. El primero corresponde a la suma algébrica de dos componentes: el balance de la radiación de longitudes de onda corta, Q_s, y el de las radiaciones de longitudes de onda larga, Q_t. El segundo representa los intercambios por conducción en la masa de agua, Q_l, por convección en la interface agua-atmósfera, Q_c, y por evaporación Q_e.

El balance total se escribe: $Q_s + Q_t = Q_c + Q_e + Q_l$.

El calor aportado por los aportes meteóricos y fluviales, por los fenómenos térmicos que acompañan las reacciones biogeoquímicas y por la convección a través del fondo del calor interno del globo son desechados.

Estos diferentes flujos son estrechamente dependientes los unos de los otros. El balance térmico está sujeto a las condiciones exteriores impuestas, o sea la radiación solar y el estado atmosférico (temperatura, humedad del aire, nebulosidad, velocidad del viento...), este último estando modulado, en reacción, por la respuesta térmica del medio mismo, es decir por el microclima que crea. En último lugar, es la temperatura del agua (o mejor la reserva calorífica del lago) que toma un valor tal que la suma de los términos del balance energético tiende a volverse nula.

Vamos a tratar aquí de los intercambios en la interface agua-atmósfera y su consecuencia sobre la evolución de la reserva calorífica del lago, a partir de los datos meteorológicos registrados en Puno (Perú) entre 1954 y 1978 y en datos de temperatura del Lago Mayor colectados entre 1976 y 1979.

EL BALANCE RADIACTIVO A NIVEL DEL LAGO

La radiación solar absorbida de longitudes de ondas cortas

La radiación solar global que corresponde a la iluminación energética de una superficie horizontal por la radiación solar directa y difusa, fue calculada por el método de cálculo desarrollado por PERRIN de BRICHAMBAUL y LAMBOLEY (1968). Estos autores, al utilizar promedios mensuales de las sumas diarias de la radiación solar extraterrestre, G_o, calculan la radiación solar global al suelo por buen tiempo, $G_{máx}$. Este cálculo necesita cierto número de hipótesis relativas a la altitud, al coeficiente de desorden, al espesor de agua condensable y al espesor del ozono. Las hipótesis retenidas para el cálculo de $G_{máx}$ son las siguientes: presión atmosférica, P = 1.000 mb; espesor de agua condensable, w = 2 cm; coeficiente de turbidez atmosférica B = 0,07.

A 15° Sud, latitud del Titicaca y al nivel del mar, los valores en J cm^{-1} de la radiación global son:

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$G_{máx}$	3.200	3.125	2.950	2.650	2.250	2.075	2.125	2.375	2.750	3.050	3.200	3.250

Deben introducirse correcciones para tener cuenta de las condiciones reales del medio. A la altitud del lago (3.810 m) la radiación global debe aumentar de 4% por el solo hecho de la difusión molecular (1% por 1.000 m de elevación). El espesor de agua condensable, w, es determinado a partir de la tensión de vapor de agua en la superficie del lago, f_a, según la fórmula de Hann:

$$w\ (cm) = 0{,}17 \times f_a\ (mb)$$

Así como F_a es un promedio igual a 5,8 mb; w se aproxima a 1 cm. Para este valor, hay que introducir una corrección de + 3 %. El coeficiente de turbidez β, que define la cantidad de aerosoles contenidos en la masa atmosférica unidad a la vertical del lugar observado es del orden de 0,025 para cielo puro. Este parámetro decrece con la altitud según la fórmula $b_{tp} = b \times P / 1.000$, P = presión en mb. En el Titicaca, debe ser cercano de 0,015. La influencia de b sobre $G_{máx}$ permanece débil, ya que la disminución de la radiación directa está parcialmente compensada por el aumento de la radiación difusa. Sin embargo, como resultado del efecto de redifusión por el espejo del agua de la radiación solar, esta influencia aumenta indirectamente. Para el albedo del agua cercano de 0,07 y b = 0,015 hay que prever, según PERRIN de BRINCHAMBAULT y LAMBOLEY, una corrección de $G_{máx}$ de + 6 %. En total, para el Titicaca, los valores de $G_{máx}$ deben ser sobrestimados de 13%.

La radiación global media se calcula a partir de los valores de $G_{máx}$ corregidos y del tiempo de insolación. PERRIN de BRICHAMBAUT y LAMBOLEY establecieron una tabla de correspondencia entre la fracción de insolación (o sea la relación entre el tiempo de insolación media medida S y el tiempo máximo medio, $S_{máx}$, por buen tiempo) y la relación $G/G_{máx}$, esto a partir de la fórmula de Ángstrom: $G/G_{máx} = 0{,}76 \times S/S_{máx} + 0{,}24$.

$S/S_{máx}$	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
$G/G_{máx}$	0,24	0,42	0,58	0,65	0,73	0,86	1,0

G fue calculado según los valores mensuales de insolación registrados en Puno.

Una fracción de la radiación solar, G es enviada en todas las direcciones por reflexión-difusión por el espejo de agua. Esta fracción o albedo es, en el caso de un lago, aproximada a 0,07. Consecuentemente la energía absorbida por el lago Titicaca en forma de radiaciones de longitudes de onda corta se torna igual a Q_s G (1-0,07).

Los valores obtenidos están comprendidos entre 2.628 J $cm^{-2}j^{-1}$ en octubre y 1.864 J $cm^{-2}j^{-1}$ en junio; el valor medio anual siendo de 2.190 J $cm^{-2}j^{-1}$.

La radiación terrestre de longitudes de onda larga

Esta radiación comprende dos componentes de longitudes de onda larga, una que corresponde a la radiación emitida por el espejo de agua, y la otra a la radiación emitida por la atmósfera en dirección del lago; su balance corresponde a una pérdida de energía para el lago.

- La emisión del lago

El agua tiene un comportamiento similar al de un cuerpo negro. La energía emitida por el lago o la emisión energética del lago, Ml, está estimada a partir de la ecuación de Stephan y Boltzman.

$$M_l = \epsilon \times \sigma \times T_e^4 \qquad (2)$$

ϵ = coeficiente de emisividad del agua 0,97; σ = constante de Stephan y Boltzman = 4,9.10 Jcm^{-2} $K^{-4}j^{-1}$; T_e= temperatura del agua de superficie en ° Kelvin.

Los valores medios mensuales del M_l calculados a partir de los valores de θ_e, sacados del cuadro 1, están comprendidos entre –3.240 Jcm^{-2} j^{-1} en marzo y – 3.102 J $cm^{-2}j^{-1}$ en agosto, el valor medio siendo de – 3.181 J $cm^{-2}j^{-1}$.

- La radiación de la atmósfera por cielo claro

Para calcular este parámetro escogimos la fórmula de Brunt, estadísticamente válida para los casos de cielo claro. Esta fórmula reduce la emisión de la atmósfera a la de un cuerpo negro que se supone a la temperatura del aire al nivel del suelo, con corrección por un factor teniendo en cuenta la tensión de vapor de agua existente cerca del suelo, dado que esta última juega un rol primordial en la absorción y la reemisión de la radiación terrestre.

$$M_a = \epsilon \times \sigma \times T_a^4 (a + b \times \sqrt{f_a}) \qquad (3)$$

M_a = emisión energética de la atmósfera hacia el lago en J cm^{-2} j^{-1}; ϵ = emisividad de la atmósfera, σ = constante de Stephan Botzmann; T_a = temperatura absoluta del aire cerca del suelo f_a = tensión de vapor de agua cerca del suelo en mb. Las constantes a y b son un poco inseguras: retuvimos las preconizadas de BERLIANDE y BERLIANDE *in* IVANOFF (1974) : a = 0,61 y b = 0,051.

Los valores medios mensuales de M fueron así calculados a partir de los datos de θ_a temperatura de agua de superficie del lago y de f_a del cuadro 1. M_a está comprendido entre –2.288 J cm^{-2} j^{-1} en febrero, -2.021 J cm^{-2} j^{-1} en julio. El valor medio es de –2.179 J cm^{-2} j^{-1}.

- **El balance de la radiación terrestre de longitudes de onda larga**

En tiempo claro el balance de radiación terrestre, Q_{To} es igual a M_a- M_e. Este valor se reduce por tiempo cubierto ya que la radiación atmosférica crece sobre todo cuando la nubosidad es importante y que las nubes están próximas a la superficie del lago.

Entre las diversas fórmulas empíricas propuestas uniendo el valor medio de la radiación terrestre por cielo cubierto, Q_T, a su valor medio Q_{To} por cielo claro y al valor de la nubosidad N, retuvimos la de BERLIANDE y BERLIANDE (in IVANOFF, 1974): $Q_T = Q_{To} (1 - c.N^m)$, tomando m = 1,75 y c = 0,57 (valor adoptado para 15°sud). Las nebulosidades (N), tomadas del cuadro 1 son expresadas en "octets" y reducidas a valores comprendidos entre 0 y 1.

El balance de las radiaciones de longitudes de onda larga calculado según este método de mes en mes, revela una pérdida de energía cuyo máximo se sitúa en junio (-1.025 J cm^{-2} j^{-1}) y el mínimo en enero (-518 J cm^{-2} j^{-1}); la pérdida media para el año corresponde a –782 J cm^{-2} j^{-1}.

EL BALANCE DE LAS RADIACIONES

El balance de las radiaciones, R_n, que corresponde a la cantidad de energía disponible, es igual a la diferencia entre Q_s y Q_r. Varía de 839 J cm^{-2} j^{-1} en junio a 1.903 J cm^{-2} j^{-1} en noviembre; el valor medio para un año es de 1.409 J cm^{-2} j^{-1}.

EL VOLANTE TÉRMICO DEL LAGO, EVAPORACIÓN, CONDUCCIÓN

La cantidad de energía en forma de radiación disponible a nivel del lago termina los intercambios energéticos entre el agua y la atmósfera por evaporación, Q_E y por convección térmica. Q_c, y en el seno mismo del agua por variación de la energía almacenada en el lago, Ð Q_L.

Se tiene : $R = D Q_L + Q_c + Q_E$.

Calcularemos sucesivamente estos diferentes parámetros, las tasas de evaporación mensual, E, a partir de Q_E y propondremos una fórmula de estimación semi-empírica de E.

VARIACIONES DEL CALOR ALMACENADO EN EL LAGO

El cálculo fue efectuado a partir de perfiles de temperatura que realizamos de 1977 a 1979 en el Lago Mayor y de la curva hiposométrica de este medio establecida por BOULANGE y AQUIZE (1982).

Después de la estimación de las cantidades de calor almacenadas mes por mes en el lago, Q_L se calcula la variaciones mensuales, ΔQ_L. El lago registra una pérdida máxima de calor durante el mes de junio que representa 667 J cm^{-2} j^{-1} y un aumento máximo en el curso del mes de octubre equivalente a 378 J cm^{-2} j^{-1} Notamos que la variación máxima de la reserva del lago en calor es del orden de 50 x 10^3 J mes^{-1} y sólo representa 8% del valor medio anual de esta reserva.

LOS INTERCAMBIOS POR EVAPORACIÓN Y CONVECCIÓN

Los intercambios, tanto por evaporación como por convección, son difíciles de evaluar. Existen diversas fórmulas semi-empíricas. Pero una de las mejores maneras de estimarlos es deduciendo su suma a partir del balance energético, luego calcularlos separadamente, al utilizar la relación de Bowen (B), que traduce en hecho de que los coeficientes de traslados de vapor de agua y de calor en la interface agua-atmósfera son muy próximos el uno del otro.

$$B = Q_c / Q_E = C_p \times P / 0{,}621\, L \times (\theta_e - \theta_a) / (F_e - f_a) \qquad (4)$$

θ_a = temperatura del aire; θ_e = temperatura del agua; C_p = calor de la masa del aire a la presión atmosférica = 1.005 J g^{-1} L = calor latente de vaporización del agua en J g^{-1}. Es función de la temperatura del agua de superficie θ_e (L = 2.495 – 2,38 θ_e); P = presión atmosférica F_e = tensión de vapor de agua a saturación y a la temperatura θ_e, F_e = tensión real de vapor de agua del aire cerca de la superficie del lago.

Así se calcula valores medios mensuales de Q_E = Q_c a partir de la ecuación (1) y valores medios mensuales de B Según los datos extraídos de la ecuación (4) y se obtiene separadamente Q_E y Q_c.

Las pérdidas por evaporación están comprendidas entre – 1.357 J cm^{-2} j^{-1} en noviembre y –1.029 J cm^{-2} j^{-1} en febrero, aquéllas por convección turbulenta entre -309 J cm^{-2} j^{-1} en junio y –197 J cm^{-2} j^{-1} en noviembre.

TASAS DE EVAPORACIÓN DEDUCIDAS DEL BALANCE DE ENERGÍA, FÓRMULAS SEMI-EMPÍRICAS

La tasa de evaporación media mensual E, se deduce de la relación E = Q_E/L; E está expresado en J cm^{-2} j^{-1}; Q_E en J cm^{-2} y L, latente de vaporización en J g^{-1}.

Los resultados muestran que las tasas de evaporación están comprendidas entre 4,2 y 5,3 mm j^{-1}, el mínimo siendo registrado en mayo, el máximo en noviembre. La tasa media anual es de 1,720 mm. Este valor es muy similar al obtenido a partir del balance hídrico del Lago Mayor (1.740 mm $año^{-1}$) por CARMOUZE y AQUIZE (1985).

ORIGINALIDAD DEL BALANCE ENERGÉTICO

- El Titicaca, por su altitud, recibe una radiación solar del 13% superior a la que recibiría si estuviera situado al nivel del mar, en buen tiempo. En cambio, su insolación no es muy fuerte: 245 h mes^{-1} en la

misma latitud, se puede encontrar valores más elevados, tal como la del lago Tchad situado a 13° N que es de 288 h mes^{-1}. Sin embargo, a este aumento de insolación de 43 h mes^{-1} sólo corresponde una energía solar suplementaria de 3 a 4%. En suma, la relación recibida por el Titicaca, que es de 2.190 J cm^{-2} j^{-1} en valor medio anual, es superior a la recibida por otros medios situados en latitudes parecidas.

Las variaciones estacionales de la radiación solar son atenuadas en parte por el hecho de que se dan cuando la radiación solar alcanzando la atmósfera es la más baja, o sea en junio-julio-agosto, cuando la nubosidad es la más baja. Las variaciones mensuales de la radiación, que representarían 42% del valor medio por tiempo claro, son reducidas a 32% debido a la repartición variable de las nubes en el curso del año.

- Las pérdidas por radiación terrestre de longitudes de onda larga, Q_T al nivel de un lago, son tanto más importantes cuanto la diferencia entre las temperaturas del agua de superficie, θ_e, y del aire adyacente, θ_e son bajas. Ahora bien, en el caso del lago Titicaca, la diferencia entre θ_e y θ_a (expresadas en promedio diario) está comprendida entre 3,5°C y 5°C a lo largo del año. Notamos que si la temperatura del agua fuera igual a la del aire, las pérdidas serían 20% más bajas. Además, θ_e y θ_a son en promedio inferiores de 10 a 15°C a aquéllas correspondiendo al nivel del mar bajo la misma latitud. A las condiciones reinantes a baja altitud, las pérdidas por radiación terrestre serían reducidas de 10 a 15%.

En resumen, el lago Titicaca, siempre, debido a su posición elevada, es el lugar de pérdidas por radiación de longitudes de onda larga de 30 a 35 % superiores a la que estaría sujeto si se encontrara al nivel del mar. Las variaciones estacionales de la radiación terrestre son bien marcadas; los valores extremos se alejan de +32% del valor medio anual. Sin embargo, estas variaciones son atenuadas por el hecho de que las diferencias de temperatura del agua y del aire son máximas cuando la tensión de vapor de agua es mínima en el invierno austral, mientras que lo contrario se produce en verano. Estas variaciones estacionales son muy inferiores a las variaciones nictemerales (que no se examinaron aquí), debido a las grandes diferencias de θ_e y sobre todo de θ_a en el transcurso de 24 h.

- El balance radiactivo expresa la energía disponible al nivel del espejo de agua. En el caso del Titicaca, se observa que a 3.800 m el aumento de las ganancias por radiación de las longitudes de onda corta (10% aproximadamente) es casi compensado por el aumento de las pérdidas por radiación de longitudes de onda larga (30 a 35% aproximadamente). Esto significa que la suma de las pérdidas por evaporación y conducción es del mismo orden de magnitud que las registradas en lagos de altitudes bajas.

- Las pérdidas por evaporación, que de 1.180 J cm^{-2} j^{-1} en promedio para un año corresponden a una tasa de evaporación igual a 1.720 mm $año^{-1}$. Este valor es del mismo orden de magnitud que aquél registrado en los otros tropicales. Recordemos que la evaporación es principalmente función del déficit de tensión de vapor de agua, $F_a - f_e$ y de la velocidad del viento $U \times F_a$. f_e es en promedio de 9,16 hPa. Es un valor relativamente elevado, aunque se trate de bajas temperaturas del aire y del agua comparadas a las que reinan a baja altitud. Este valor se explica por el débil grado higrométrico, es decir un valor débil de f_e (50% en promedio anual) y por el hecho que la temperatura del agua es siempre superior de 4 a 5°C a la del aire en promedio diario. Un simple cálculo muestra en efecto que, si la temperatura del agua fuera reducida a la

del aire, el déficit de tensión de vapor del agua, $F_a - f_e$ sería de 5,15 hPa, valor que según la fórmula (8) provocaría una disminución del índice de evaporación de 40 a 45 %. La velocidad del viento que, en promedio, no es muy elevada (1,15 m s^{-1} a 2 m del suelo) tiene, sin embargo, una acción eficaz sobre la renovación de las masas de aire que tienden a saturarse al contacto del agua, ya que la gradiente térmica en la superficie del espejo de agua es tal que induce una estratificación inestable la mayor parte del tiempo, de la capa atmosférica adyacente.

La evolución de las pérdidas por evaporación en curso del año es paralela a la del déficit higrométrico, $F_a - f_e$ las velocidades del viento jugando un rol poco importante. No obstante, los vientos que son más débiles en mayo-junio, tienen por efecto atenuar el aumento de la tasa de evaporación favorecida en esta época por un fuerte déficit higrométrico.

- Los intercambios por convección térmica corresponden todo el año a pérdidas de calor del lago, si se toma el día como unidad de tiempo. La relación de Bowen (B), es inversamente proporcional a la presión atmosférica (cf. la ecuación 4). Ahora bien, a 3.800 m, ésta es de 640 hPa, el valor de B es pues 36% inferior a lo que sería bajo la presión normal de 1.000 hPa. Pero las temperaturas del aire y del agua que son relativamente bajas, tienen un efecto contrario. Efectivamente, en el caso de un lago tropical de baja altitud que registra la misma diferencia media de temperatura entre el agua y el aire que la del Titicaca, o sea 4,5°C, pero alrededor de los valores aproximados de 26°C y a un grado higrométrico equivalente (50%), se comprueba según (4) que B disminuye de 40%. En suma, el factor altitud, por sí mismo, no favorece sistemáticamente los intercambios de calor por evaporación en detrimento de aquellos por convección térmica en la superficie de un lago.

- El último parámetro del balance energético que se debe analizar está constituido por las variaciones de la reserva calorífica del lago provocadas por la repartición desigual de la energía solar en el curso del año. Estas variaciones (631.500 J cm^{-2} a fines de marzo, contra 580.500 J cm^{-2} a fines de agosto) representan el volante térmico del lago puesto que resultan de la absorción del excedente de energía solar en verano y su restitución en período de déficit invernal, lo que atenúa así las fluctuaciones inducidas sobre los otros flujos de energía.

El volante térmico es función de la amplitud de las variaciones estacionales de la radiación solar, es decir de la latitud del lugar, pero también de la capacidad propia del lago de intercambiar energía calorífica con la atmósfera. Esta capacidad se expresa por el espesor de la capa de agua concernida por los intercambios estacionales de calor. En los lagos profundos, la propagación de calor en profundidad depende de la intensidad de las mezclas verticales, mientras que en los lagos de bajas profundidades, esta intensidad queda limitada por la profundidad del medio mismo. Así, a la misma latitud, los lagos profundos tienen un volante térmico superior. La intensidad de las mezclas verticales es función de la contaminación de un gran número de factores: morfometría del medio, velocidad y radio de acción del viento, circulación horizontal de las aguas fuerza de coriolis, resistencias a las mezclas cuando hay gradiente vertical de densidad (estratificación térmica y/o halina). No analizaremos aquí estos factores pero siempre con la finalidad de determinar la originalidad del lago Titicaca, es interesante evidenciar el hecho que, en las mismas condiciones, un lago

tropical de altura elevada tiene un volante térmico superior al de un lago tropical de baja altitud. En efecto, si se tiene en cuenta los gradientes de densidad de las aguas creados por los gradientes térmicos, se necesita dos veces más energía mecánica para mezclar dos masas de agua a 24 y 26°C (temperaturas de aguas características de medios tropicales de baja altitud) que para mezclar dos masas de agua a 11°5 y 13°5 C (temperaturas de aguas del Titicaca).

Dicho de otro modo, todos los demás factores siendo los mismos, la resistencia a la difusión térmica creada por el frente de penetración del calor mismo es dos veces menos fuerte en el Titicaca que a nivel del mar a la misma latitud; el volante térmico es así aumentado y el microclima creado por el lago es reforzado.

CONCLUSIONES

El análisis de los diferentes términos del balance energético del lago Titicaca nos permite evidenciar los siguientes puntos:

- La altitud tiene por efecto aumentar la radiación solar de 10 a 15% y provocar disminución tanto del coeficiente de perturbación atmosférica, como de la difusión molecular y del espesor de agua condensable. Por este hecho, la radiación emitida por la atmósfera se encuentra reducida, lo que aumenta las pérdidas de energía de longitudes de onda larga de 30 a 35%. En suma, debido a estos efectos opuestos, el balance radiativo del lago Titicaca, es decir la energía disponible a nivel del espejo de agua, es del mismo orden de magnitud que el de otros lagos situados bajo latitudes semejantes en baja altitud (1.400 a 1.450 J cm^{-2} j^{-1}).

- Los intercambios térmicos entre el lago y la atmósfera por convección y evaporación son a la escala anual aproximadamente iguales al balance radiativo. En consecuencia, tienen la misma importancia que aquellos registrados a nivel del mar a la misma latitud (en valor medio, 1.160 J cm^{-2} j^{-1} para la evaporación, 248 J cm^{-2} j^{-1} para la convección térmica). Dada la altitud, se debería esperar una disminución de las pérdidas por evaporación ya que para un mismo grado higrométrico, el déficit de tensión de vapor de agua, al cual la evaporación es proporcional, decrece con la temperatura del aire y del agua, así como a una disminución de las pérdidas por convección térmica puesto que ésta es directamente proporcional a la presión atmosférica. En realidad, es gracias a la importante diferencia entre la temperatura del aire y del agua (4 a 5°C), que mantiene durante una gran parte del año la circulación atmosférica local (la predominancia de vientos fríos provenientes de la cordillera Real) que existen intercambios térmicos comparables a la escala del año a los registrados a nivel del mar a la misma latitud.

- Las variaciones en el curso del año del calor almacenado por el lago Titicaca, que resultan de los desequilibrios estacionales entre los aportes y las pérdidas energéticas al nivel del espejo de agua, son muy marcadas; esto, como ya lo hemos visto, debido a la gran profundidad (100 m en promedio) y a las bajas temperaturas de las aguas para un lago tropical (11 – 14°C).

Las ganancias de calor son máximas en octubre y noviembre (respectivamente 378 y 349 cm^{-2} j^{-1}), mientras que las pérdidas son máximas en junio (-667 J cm^{-2} j^{-1}). Dado su tamaño (8.448 km^2), el lago restituye 16 ,9 x 10^{17} J en período de enfriamiento en el curso del mes de junio solo; absorbe 18,7 x 10^{17} J en período de recalentamiento entre octubre y noviembre. Estas cifras que dan cuenta del volante térmico del lago, dan una idea de la importancia del rol termoregulador que tiene el Titicaca en el medio ambiental (BOULANGE y AQUIZE). Estos autores muestran que la temperatura media anual del aire es tanto más y sus valores máximos y mínimos más fuertes cuanto más lejos de las orillas del lago. A manera de ejemplo, cabe notar que la temperatura media anual es de 8,5°C en Puno situado a orillas del lago contra 6,5°C en Chuquibambilla situado a 60 km al noreste del lago mientras que la amplitud anual es de 12°C en Puno contra 18°C en Chuquibambilla.

BIBLIOGRAFÍA

BOULANGÉ (B.) et AQUIZE (E.), 1981. Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant . Rev. Hydrobiol. Trop. 14 (4): 269-287.

CARMOUZE (J. P.) et AQUIZE (E.), 1981. La régulation hydrique du lac Titicaca. Rev. Hydrobiol. Trop. 14 (4): 311-328.

IVANNOF (A.), 1974. Introduction à l´Océanographie. Tome II. Vuibert, Paris, 340 P.

PERRIN de BRICHAMBAULT (Ch.) et LAMBOLEY (G.), 1968. Le rayonnement solaire au sol et ses mesures. Cahiers de *l´A.F.E.D.E.S.*, 111 p.

RICHERSON (P.J.), WIDMER (G.), KITTEL (T.), 1977. The limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia). A large High Altitude Tropical lake. Ints. Ecol. Publ. n° 14, Univ. Of California., Davis, 78 p.

Antecedentes del Plan Director Binacional para la conservación y preservación del Lago Titicaca

Por: *Julio Sanjines Goitia*[1]

RESUMEN

Para poder realizar el Plan Director Binacional de Conservación, Preservación y Mantenimiento del Lago Titicaca, se realizaron las siguientes gestiones a partir del año 1986:

1. Se definió la situación jurídica del Lago Titicaca y su cuenca, que incluye los tributarios bolivianos y peruanos, así como al Río Desaguadero que es el único efluente, el Lago Poopó y el Salar de Coipasa, como condominio. Ello mediante Tratados Internacionales aprobados por los Congresos del Perú y Bolivia (Perú Ley No. 26873 de 10 de noviembre de 1957 – Bolivia Ley No. 965 de 12 de diciembre de 1986).

2. En virtud a estas disposiciones legales, se efectuó en forma conjunta estudios de todos los Recursos Hídricos y de los Recursos Naturales Renovables, además del régimen de precipitaciones, evaporación y escurrimiento de toda la Cuenca que abarca 143.900 Km^2.

3. En base a estos estudios se realizó el balance hidrológico, que no significa otra cosa que determinar el flujo de agua que ingresa al Lago por los tributarios bolivianos, peruanos, precipitaciones en la cuenca, evaporación y los escurrimientos; este estudio dio origen al Plan Director Binacional de Protección, Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los recursos hídricos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema TDPS), que posteriormente se aprobó mediante Notas Reversales el 6 de Noviembre de 1995, entre Perú y Bolivia.

4. Para la ejecución de este Plan fue necesario crear una Entidad de Derecho Público Internacional, con plena autonomía de decisión y gestión en el ámbito técnico, administrativo, económico y financiero,

1 Unidad Operativa Boliviana / ALT. Edificio San José (mezanine) Av. 20 de octubre No. 2524, Zona Sopocachi, Tel.-Fax: (591 2) 2431088, E-mail: uobalt@caoba.entelnet.bo, La Paz - Bolivia.

mediante Notas Reversales de 15 de junio de 1993; cuyo Presidente Ejecutivo sea un profesional de nacionalidad peruana toda vez que la sede se encuentra en La Paz, actualmente la presidencia se encuentra bajo la responsabilidad del Ing. Amilcare Gaita Zanatti.

SUMMARY

To be able to carry out the Binational Managing Plan for the Conservation and Preservation of the Titicaca Lake, they were had to take the following determinations ahead starting from the year 1986:

1. To define the legal situation as condominium of the Titicaca Lake basin, which included the tributary rivers Bolivian and Peruvian, the only effluent, the Desaguadero River, which join the Poopó Lake and Coipasa Salar. It means sign International Treaties approved by the Congresses of the Peru and of Bolivia (Peru Law N°. 26873 of November 10, 1957. Bolivia Law N°. 965 of December 12, 1986).

2. According to these legal dispositions, we were able to make combined studies of all the hydraulic resources as well as of the renewable natural resources, the régime of evaporation and precipitation and the behavior of the whole basin which has an extension of the 143.000 Km2 approximately.

3. Based on these studies and investigations we were able to establish the hydraulic balance, which means the flow of water toward the Lake from the tributary rivers Bolivian and Peruvian, the precipitation to and evaporation from the basin; this study was the source to make make the Binational Managing Plan for protection, floods prevention of natural resources use of the Titicaca Lake, Desaguadero River, Poopó Lake and Coipasa Salar (called TDPS System), which later on approved the Managing Plan by means of Reversals Notes between Peru and Bolivia in November 6, 1995

4. For the execution of this Plan, an International Entity of Public Right, was created with full decision autonomy and for the administration of the technical, administrative, economic, environmental and functional issues, by means of Reversal Note from June 15, 1993, whose Executive President is a Peruvian professional. The headquarter is in La Paz, at the moment the Presidency is under de responsibility of the Engineer Amilcare Gaita Zanatti.

CRONOLOGÍA PARA EL MANEJO DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA

En los siguientes acápites intentaremos dar a conocer en forma clara la secuencia lógica de gestiones que se fueron realizando para el Manejo de la Cuenca del Lago Titicaca.

1956 Declaración de los Presidentes de Bolivia Paz Estensoro y Manuel Odría en la Convención Preliminar de los Ministros de Relaciones Exteriores de Bolivia y del Perú, Walter Guevara y David Aguilar, para el diagnóstico de la Cuenca del Lago Titicaca.

1957 Se establecía lo siguiente:

"ARTICULO 1°. Los Gobiernos de Bolivia y el Perú, en vista de las recomendaciones de la Comisión Mixta Boliviana - Peruana y en virtud del condominio indivisible y exclusivo que ambos países ejercen sobre las aguas del Lago Titicaca, resuelven adoptar un plan definido para el estudio económico preliminar de aprovechamiento común de dichas aguas, sin alterar fundamentalmente sus condiciones de navegabilidad, sus facilidades para la pesca, ni afectar sustancialmente el volumen de agua producto de las excedencias del Lago que anualmente escurre por el Río Desaguadero en el lugar denominado Concordia, y que además tome en consideración los índices económicos o valores intrínsecos del volumen de agua que se derive el mismo para fines industriales, de riego y otros".

NOTA: Perú a través de su Congreso convierte en Ley estas Notas Reversales, el Congreso de Bolivia las rechaza por juzgar que el Condominio interfería en la Soberanía Boliviana. (Resolución Legislativa del Congreso Peruano N° 26873 de 10 de noviembre de 1957).

1965-67 Los Presidentes de Bolivia y el Perú, Gral. Barrientos y Arq. Belaúnde respectivamente reanudaron conversaciones para el estudio de la Cuenca del Lago Titicaca, solicitando al BID recursos para dicho estudio, así como para el financiamiento de la carretera ILO – La Paz.

Dicha gestión fue encomendada por el Presidente Belaúnde al Embajador de Bolivia en Estados Unidos Ing. Julio Sanjinés Goitia quién juntamente con el Embajador Celso Pastor entregó al Presidentedel BID, Felipe Herrera, la solicitud correspondiente para el estudio y financiamiento de ambosproyectos.

1975 Siendo Presidente de Bolivia el Gral. Hugo Banzer Suárez y del Perú el Gral. Morales Bermúdez, reanudan las gestiones para el estudio del Lago Titicaca y la construcción de la carretera Ilo - La Paz, las mismas que quedaron suspendidas desde la gestión 1967, es decir durante casi de 10 años, a consecuencia del cambio de gobierno en el Perú.

1976 La Corporación Andina de Fomento (CAF) apoyó los estudios, realizados por los Servicios Hidrográficos de las Fuerzas Navales de Bolivia y el Perú, a fin de elaborar la carta batimétrica del Lago Titicaca. Asimismo, se obtuvo la cooperación de los SENAMHI´s de ambos países, dependientes de sus respectivas Fuerzas Aéreas para el intercambio de información hidrometeorológica del Lago y su cuenca.

1976 Siembra de Truchas en Jaula, financiado por la CAF, con apoyo SELA– Pesca Perú y Universidad Mayor de San Andrés.

1983 Diagnóstico de Recursos Pesqueros del Lago Titicaca, realizado por el IMARPE - Perú y Universidad Mayor de San Andrés (Institutos de Hidrología y Ciencias Químicas).

1983 Durante la segunda Presidencia del Arq. Fernando Belaúnde, se dio inició el estudio hidrometeorológico del Lago, financiado por el PNUD a objeto de acopiar información de los proyectos relacionados con el Lago en forma separada en Bolivia y en Perú (365 estudios el Perú y 78 en Bolivia) siendo Presidente el Doctor Víctor Paz Estenssoro.

1984 En base a estos estudios presentados por Naciones Unidas a Bolivia y al Perú para establecer el balance hidrológico del Lago con apoyo de la Organización Mundial de Meteorología y mediante Consultoras francesas especializadas. No obstante ser recursos no reembolsables, Bolivia no aceptó, paralizándose dicho proyecto.

1986 A raíz de las inundaciones y sequías se reanudaron las gestiones para el estudio del Lago Titicaca, aprobándose por el Congreso de Bolivia (Ley No 905 de 12 de noviembre de 1986) el Convenio de 1957, definiendo la situación jurídica del Lago y solicitando a la Unión Europea el financiamiento para los Estudios del Balance Hidrológico del lago, durante el gobierno del Doctor Paz Estenssoro y Doctor Alan García.

1986 En acta de Puno de fecha 15 de diciembre de 1987, se crea la Subcomisión Mixta del Lago Titicaca, dependiente de sus respectivos Ministerios de Relaciones, firmada por los Cancilleres Alan Wagner del Perú y Guillermo Bedregal de Bolivia.

ANTECEDENTES DEL PLAN DIRECTOR BINACIONAL DE CONSERVACIÓN Y PRESERVACIÓN DEL SISTEMA TDPS.

Para poder realizar el Plan Director Binacional de Conservación, Preservación y Mantenimiento del Sistema TDPSa, se tuvieron que llevar adelante las siguientes determinaciones a partir del año 1986:

1. Definir la situación jurídica del Lago Titicaca y su cuenca, que incluía los tributarios bolivianos y peruanos, así como al Río Desaguadero que es el único efluente, el Lago Poopó y el Salar de Coipasa, como condominio. Ello mediante Tratados Internacionales aprobados por los Congresos del Perú y Bolivia (Perú Ley No. 26873 de 10 de noviembre de 1957 – Bolivia Ley No. 965 de 12 de diciembre de 1986).

2. En virtud a estas disposiciones legales, efectuar en forma conjunta estudios de todos los recursos hídricos y de los recursos naturales renovables, del régimen de precipitaciones, de evaporación y de escurrimiento de toda la cuenca que abarca 143.900 Km^2.

3. En base a estos estudios e investigaciones que fueron el complemento a similares realizados individualmente por cada país a partir del año 1965, efectuar el balance hidrológico, es decir determinar el flujo de agua que ingresa al Lago por los tributarios bolivianos, peruanos, precipitaciones en la Cuenca, evaporación y los escurrimientos.

4. Como resultado de este Balance Hidrológico efectuar un Plan Director Binacional de Protección, Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los recursos hídricos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema TDPS).

5. Aprobar el Plan Director inicialmente, mediante las Notas Reversales entre Perú y Bolivia el 6 de Noviembre de 1995.

6. Para la ejecución de este Plan crear una Entidad de Derecho Público Internacional, con plena autonomía de decisión y gestión en el ámbito técnico, administrativo, económico y financiero dependiente funcional y políticamente de los Ministerios de Relaciones Exteriores de Bolivia y del Pérú, mediante Notas Reversales de 15 de junio de 1993, que garantice el mantenimiento del ecosistema y de la biodiversidad existente.

7. Aprobar todas las Notas Reversales a partir del año 1992, mediante Ley del Congreso No. 1972 de 30 de abril de 1999 por Bolivia y Ley del Congreso No. 26873 del Perú de fecha 10 de noviembre - 1997.

NOTA: La Subcomisión Boliviana, creada para el estudio y la ejecución del Plan Director también ha intervenido en el Proyecto de la carretera ILO – Desaguadero, así como en las zonas francas otorgadas en el Puerto de ILO.

Cabe hacer notar que el Plan Director Global Binacional, ha sido efectuado por un Consorcio de Consultoras Europeas INTECSA de España, PROGETTI de Italia y CRN de Francia, seleccionadas por la Unión Europea, mediante un concurso mundial.

Este se lo ejecutó en base a los estudios e investigaciones científicas realizadas a partir del año 1965, por investigadores y expertos bolivianos, peruanos y extranjeros en forma separada inicialmente y posteriormente en forma conjunta.

Para las diferentes instancias del Plan Director, se ha contado con la asistencia técnica y financiera de Naciones Unidas, PNUD, BID, CAF, CEPAL, Unión Europea, Comisión de Energía Atómica, OEA, Universidades de Cornell, Duke, Siracussa y otras.

El Plan Director consta de varios volúmenes que incluyen 72 estudios y diagnósticos sobre: geomorfología, climatología, precipitación, evaporación, hidrología, temperatura, modelos de simulación, diagnóstico socio-económico, hidrogeología, fluviomorfología, erosión, piscicultura, uso y manejo de bofedales, modelos matemáticos de escorrentías, obras de regulación, obras de manejo del sistema, carpetas bancables de las obras de regulación y de riego.

El Plan Director Global Binacional, no es un plan estático, sino dinámico, que podrá incluir futuras investigaciones complementarias con la finalidad de orientar para una mejor ejecución, por lo cual consideramos que el actual seminario, puede ser de señalado beneficio.

Apoyo gubernamental de ambos países durante las presidencias:

En Bolivia:
Dr. Víctor Paz Estenssoro, Gral. René Barrientos, Lic. Jaime Paz Zamora, Lic. Gonzalo Sanchez de Lozada y Gral. Hugo Banzer.

En el Perú
Gral. Manuel Odría, Gral. Juán Velasco, Gral. Francisco Morales, Arq. Fernando Belaúnde, Dr. Alan García é Ing. Alberto Fujimori.

Proyecto Binacional de Conservación de Biodiversidad

Cuyo objetivo es asegurar la sostenibilidad del ecosistema de la Cuenca TDPS:

Mediante:

1.- Fortalecimiento de las áreas protegidas.

2.- Desarrollo para el manejo sostenible de los tres hábitats clave (totora, thola y bofedales).

3.- Recuperación de las especies nativas acuáticas y terrestres (suri, pisaca, rana gigante y peces nativos).

4.- Reducción de la amenaza a la biodiversidad acuática por la contaminación del agua.

5.- Campañas informativas para la protección de la biodiversidad.

6.- Capacitación de los gobiernos locales y organización en beneficio de la biodiversidad.

7.- Implementación de una conservación comunitaria de la Biodiversidad, uso sostenible y actividades de restauración.

Actividades Complementarias

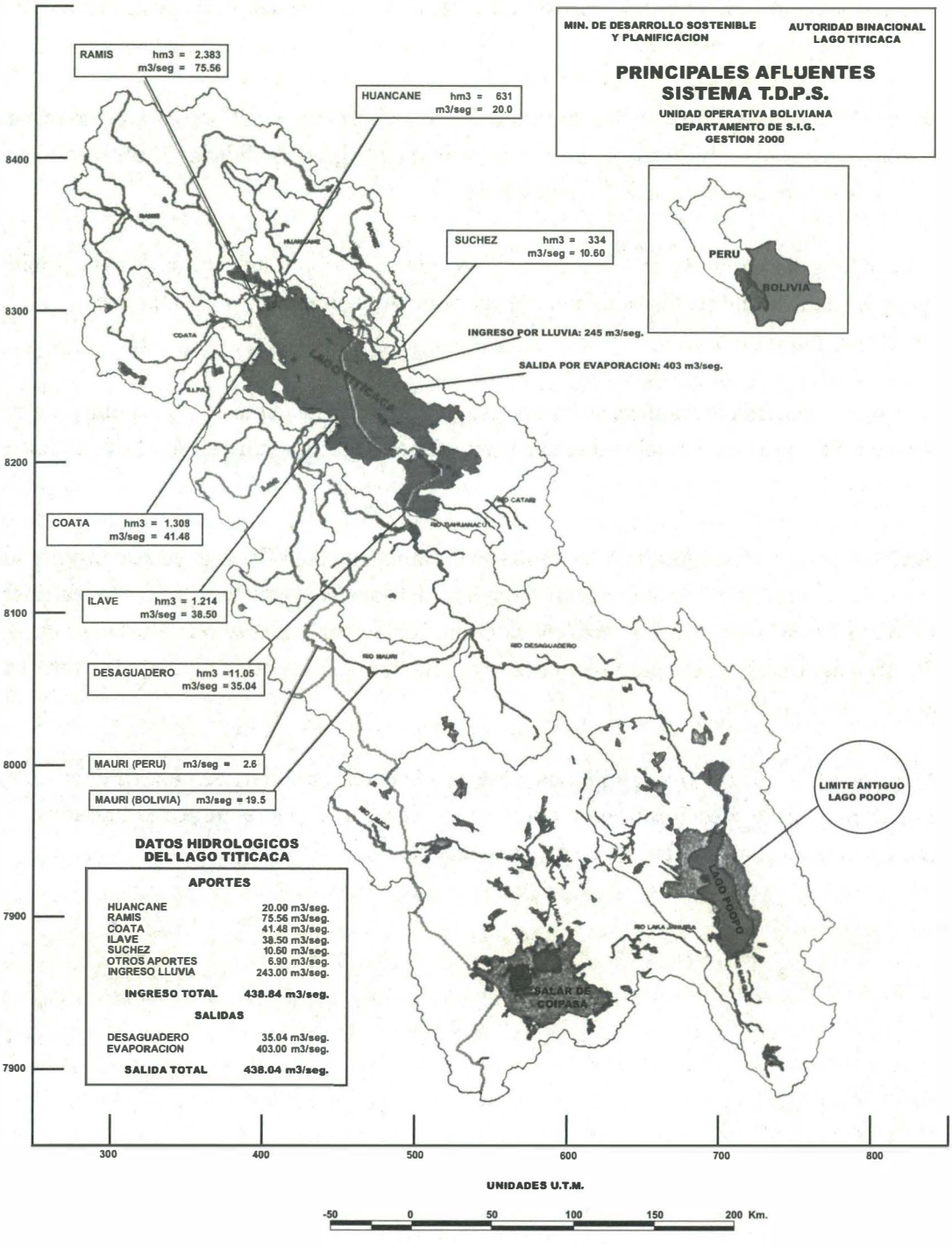
1.- Estudio de las aguas sub-superficiales a través de los Isótopos Radiactivos, a fin de densificar la cobertura hidrogeológica.

2.- Elaboración de mapas temáticos, utilizando Sistemas de Información Geográfico, Imágenes Satelitales y otros que involucra el uso de tecnología de punta en cuanto a software y hardware se refiere.

3.- Capacitación a personal de las Unidades Militares que se encuentran dentro el área del Sistema TDPS, en actividades de Agricultura y Piscicultura, mediante el proyecto CEDEFOA.

4.- Ejecución del Proyecto Sukakollus, para la optimización del uso del suelo, habiéndose logrado cosechas de papa del orden superior a las 30 toneladas por hectárea.

SISTEMA TITICACA-DESAGUADERO-POOPÓ-SALAR
(TDPS)



CONCLUSIONES

Para poder materializar el manejo de los Recursos Naturales de la Cuenca Hídrica del TDPS, se tuvieron que realizar una serie de gestiones durante aproximadamente cuatro décadas, en el que intervinieron varios gobiernos.

El Plan Director del Sistema TDPS, es un plan binacional, cuyo objetivo principal es el control, la conservación y el uso adecuado de los recursos hídricos, sin afectar negativamente las posibilidades de utilización conjunta o individual de esos recursos por parte de Bolivia y Perú.

Los estudios específicos desarrollados en el marco del Plan Director han definido únicamente la problemática hídrica del sistema, cuantificando la disponibilidad de agua que se puede extraer sin comprometer el equilibrio hidráulico y ecológico del conjunto.

Para la regulación del sistema hidráulico, se ha previsto un conjunto de obras con la finalidad de manejar estas grandes masas de agua en el intento de reducir los efectos negativos inherentes al estado natural sin proyecto.

Las obras previstas permitirán regularizar los caudales de salida del lago Titicaca, ya sea durante los años húmedos, evitando la superposición del caudal de salida del lago con aquellos de la cuenca misma del Desaguadero, como durante los períodos secos considerando el lago un embalse cerrado. Otras obras están previstas a lo largo del Desaguadero para regularizar y mantener en vida otros puntos receptores, como el lago Soledad y el lago Uru-Uru.

El manejo de los recursos que desarrollan Bolivia y Perú en la cuenca compartida del TDPS, es un ejemplo constante de entendimiento y comprensión entre dos pueblos que tienen similitudes ancestrales y que visualizan con optimismo el futuro, buscando mejores días para sus habitantes.

Ejecución del Plan Director Binacional para la conservación y preservación del sistema hídrico Titicaca - Desaguadero - Poopó - Salar de Coipasa

Por: *Amilcare Gaita Zanatti*[1]

RESUMEN

El Plan Director Global Binacional del Sistema Hídrico TDPS, es consecuencia de las solicitudes de cooperación técnica y financiera de los gobiernos del Perú y de Bolivia a la Unión Europea, guiados por el interés de definir una solución a los problemas de inundaciones presentados en 1986, así como al deseo de conocer la posibilidad de incrementar el aprovechamiento de los recursos hídricos de este sistema, como fuera convenido en 1957.

Los campos de acción propuestos en el Plan Director comprenden tres temas principales:

- Manejo de los recursos hídricos (Aprovechamiento y Control)
- Preservación del medio ambiente y de su biodiversidad
- Regulación y promoción del aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos

Para el manejo de los recursos hídricos, la ALT ha ejecutado la obra de regulación del lago Titicaca con una inversión de 7.5 millones de dólares, y está realizando el dragado del río Desaguadero en su tramo inicial habiendo invertido 2.2 millones de dólares, restando aún 9.8 millones de dólares que serán empleados en el período 2001-2005.

Además ha realizado el inventario de la utilización de los recursos hídricos del sistema en ambos países.

Para la preservación del medio ambiente, el GEF a través del PNUD, ha otorgado una cooperación de 3.1 millones de dólares para la ejecución del proyecto de Conservación de la Biodiversidad del Sistema TDPS, a

1 Autoridad Binacional del Lago Titicaca. Telfs.: (591 2) 2430398 Fax: (591 2) 2431493. Calle Campos N° 348, San Jorge. E-Mail: aalt@caoba.entelnet.bo La Paz – Bolivia.

los que se le agregan 9.9 millones de dólares aportados por los dos países, con los que se viene trabajando desde el año 2000.

La regulación y promoción del aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos, son apoyadas también por el proyecto de Conservación de la Biodiversidad, así como por las Unidades Operativas de laALT en ambos países. Se prevé armonizar la legislación sobre la materia en el corto plazo.

SUMMARY

The Binacional Managing Plan of the System TDPS, is a consequence of the compromises between the government's of Peru and Bolivia and the technical and financial cooperation of the European Union, guided by the interest of defining a solution about the problems created by the floods in 1986, as well as, to the desire of knowing the possibility to increase the use of the hydric resources of this system. This was signed on 1957.

The fields actions proposed by the Managing Plan cover three main topics:

- Management of the hydraulic resources (use and flood control)
- Preservation of the environment and biodiversity
- Regulation and promotion of the use of the hydro - biologic resources

For the management of the hydraulic resources, theALT has executed the work of Titicaca lake regulation with an investment of 7.5 million dollars. This was carrying out by dredged of the Desaguadero River Drain in its initial tract. Having invested 2.2. millions of dollars still is remaining 9.8 million dollars which will be used in the period 2001-2005. It has also carried out the inventory of the use of the hydraulic resources on the system at both countries.

For the preservation of the environment, the GEF through the PNUD has granted a cooperation found of 3.1 million dollars. This is for the execution of the project Biodiversity Conservation of the of the System TDPS. Both countries, were added the sum of 9.9 million dollars for the working projects from the year 2000.

The regulation norms and promotion of the use of the hydraulic and biotic resources is also supported by the project of Conservation of the Biodiversity, as well as, for the Operative Unit of the ALT in both countries. We hope to harmonize the legislation on the matter in the short term.

1. PLAN DIRECTOR GLOBAL BINACIONAL DEL SISTEMA HÍDRICO T.D.P.S

1.1 Antecedentes

El proyecto propuesto por los consultores de la Unión Europea en 1993, comprende un conjunto de obras y trabajos destinados al control de inundaciones y sequías en parte de la cuenca endorréica del sistema TDPS, así como los posibles aprovechamientos de sus recursos hídricos sin afectar el equilibrio del mismo.

Este Plan fue aprobado por los gobiernos del Perú y de Bolivia en 1995, disponiéndose la instalación de la ALT en mayo de 1996, creada para ejecutar dicho Plan, ratificándose su Estatuto y su Reglamento de Manejo Económico y Financiero mediante los Congresos de ambas Repúblicas.

Con la contribución económica de los dos países, la ALT ha podido llevar adelante una serie de acciones contempladas en el Plan Director incluyendo obras binacionales, estudios de preinversión para proyectos de desarrollo rural, investigaciones especiales sobre temas hidráulicos y climatológicos, acciones para la conservación de la biodiversidad, elaboración de proyectos al nivel de licitación para obras nacionales, y ejecución directa de algunas de ellas encargadas por instituciones de los gobiernos.

1.2 Concepción de los problemas en el lago Titicaca

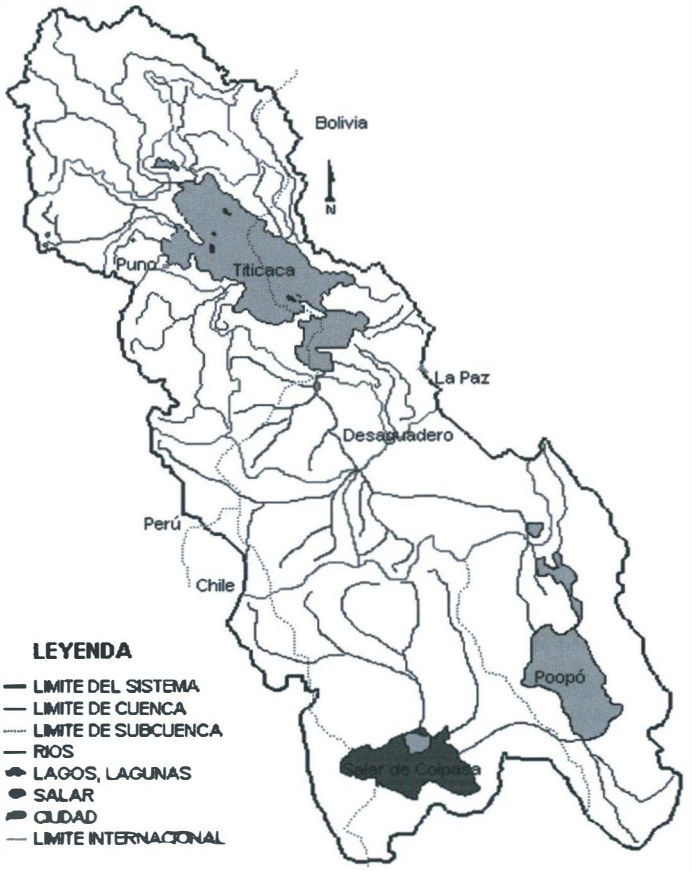
El lago Titicaca que tiene un volumen de 930,000 millones de metros cúbicos, ha registrado niveles que oscilan entre las cotas 3806.15 msnm en 1943, y 3812.57 msnm en 1986, siendo ambas sumamente inconvenientes debido a los problemas de secamiento o inundaciones de sus áreas ribereñas generados por tales variaciones, afectando las actividades económicas y sociales de las poblaciones circunlacustres estimadas en 700,000 personas.

De los estudios realizados sobre la conservación de la flora acuática así como de las especies nativas, se ha concluido en que los niveles convenientes del lago se encuentran entre las cotas 3808.5 msnm y 3810.00 msnm, puesto que son niveles que permiten la existencia y supervivencia de las mayores áreas de totorales, no causan inundaciones de infraestructura, y facilitan la actividad turística y pesquera en el área circunlacustre.

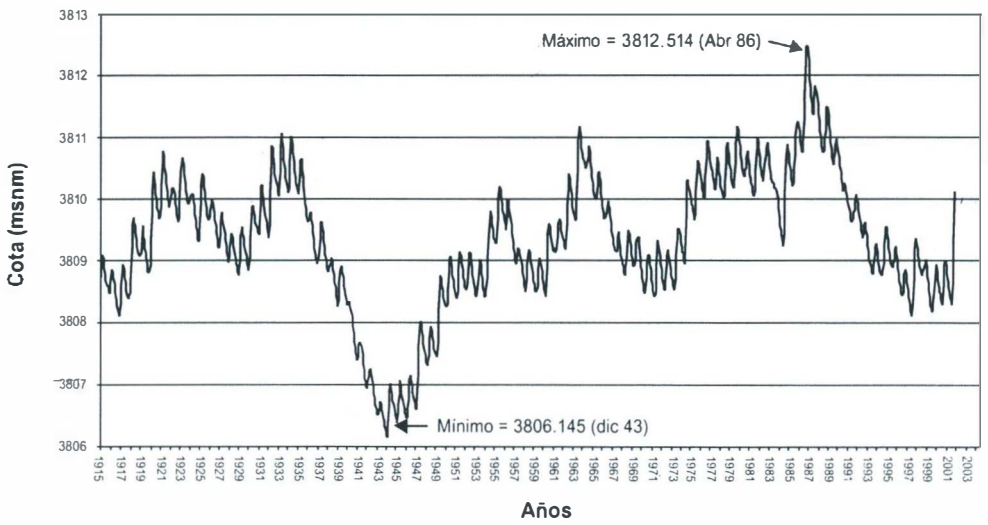
En los períodos húmedos, el lago Titicaca recibe aportes de sus tributarios que superan los 3,000m^3/s, con volúmenes anuales del orden de los 10,000 Hm^3, mientras que las salidas por el río Desaguadero están limitadas por la colmatación de su cauce, alcanzando un máximo de 200m^3/s para su nivel más alto. Por ello, la acumulación de las aguas en el lago produce elevaciones excesivas de su nivel que generan inundaciones en el área circunlacustre.

Los sectores más sensibles a las inundaciones se ubican en las cuencas bajas de los ríos Ramis e Ilave, por ser extensiones muy llanas, que ocupan deltas de formación reciente, y que formaran parte del lago durante su formación. Por las precipitaciones del período 1984-1986, estas áreas permanecieron anegadas durante meses, y en algunos casos (parte final del Ilave), la situación se prolongó varios años.

SISTEMA HÍDRICO TITICACA - DESAGUADERO - POOPÓ - SALAR DE COIPASA



NIVELES MEDIOS DEL LAGO TITICACA EN PUNO-PERÚ



Las áreas inundadas en 1986 sobre la cota media (3810 msnm) ascendieron a las 95,000ha en la región circunlacustre, siendo este el principal problema para las poblaciones asentadas en esa región, por lo que sería deseable lograr una evacuación de sus aguas en forma más rápida que la natural, para lo cual será necesario el dragado del río Desaguadero en su tramo inicial de manera que los 200m^3/s de capacidad de evacuación se produzcan aún con niveles bajos del lago.

Por otra parte, los planes de incremento de la utilización de los recursos hídricos de sus afluentes, pueden afectar el equilibrio hidrológico del mismo de no adoptarse medidas para controlar los usos de agua allí previstos, y de no efectuarse la regulación de los volúmenes aportados al lago mediante una obra de control de sus descargas, lo cual adquiere mayor importancia al considerar el incremento de sus salidas en los años húmedos.

Otro problema que afronta el lago Titicaca, aunque en magnitudes aún pequeñas, con excepción de la bahía de Puno, es el de la contaminación de sus aguas en las áreas receptoras de aguas residuales o servidas de las poblaciones asentadas en sus riveras. Así, en la bahía de Puno existe contaminación antrópica con material orgánico resultante de los efluentes domésticos de la ciudad, lo que ha producido fuerte contaminación bacteriana y eutrofización de las aguas. En la cuenca del río Coata existe puntualmente contaminación minera, y en la parte norte del río Desaguadero (Puente Internacional), existe contaminación doméstica (desechos sólidos, basura, desechos sanitarios), al igual que en Copacabana.

En cuanto a los problemas del sector pesquero, podemos citar los relativos a la introducción en forma incontrolada de especies exóticas como la trucha y el pejerrey que están depredando la biomasa de especies nativas las que han sido una importante fuente de nutrición protéica para las poblaciones circunlacustres. Así mismo, la captura excesiva de las especies nativas contribuye aún más a su exterminio, siendo necesario uniformizar la legislación vigente entre los dos países, para mejorar el control de esta actividad.

La acuicultura en el cuerpo del lago con el empleo de jaulas flotantes, es una actividad que puede constituirse en una fuente importante de ingresos para un sector de la población. De aumentar ella a niveles considerables, deberá ser regulada en sus aspectos sanitarios para evitar problemas de contaminación de aguas o de propagación de plagas entre las poblaciones piscícolas. Sin embargo, el problema más importante a superar es el de la falta de un mercado adecuado a los costos de producción que demanda la crianza de esta especie.

1.3 Concepción de los problemas en el río Desaguadero

Las características fisiográficas de la cuenca endorréica del sistema TDPS ha originado procesos de colmatación de los cauces principales en sus tramos con baja pendiente, a través de los años, habiéndose verificado que la tendencia de los niveles del lago Titicaca es ascendente (1.1m en el período 1912-2000), debido a la elevación del cauce del río Desaguadero en la laguna de Aguallamaya, cuyo origen data de 5,500 a. C., cuando el nivel del lago estaba unos cincuenta metros más bajo que los niveles actuales.

A continuación de esta laguna se presenta el trecho Aguallamaya – Nazacara de 24.15km, cuya pendiente tiene condiciones adecuadas para que una nueva zona lagunar aparezca aguas abajo del puente de Nazacara. Un obstáculo complementario está constituido por el cono de deyección del río Jacha Jahuira que avanza sensiblemente en el cauce del río Desaguadero.

Entre Nazacara y Calacoto (65.9km), el cauce del río Desaguadero es un lecho único, bien encauzado, con meandros de gran longitud de onda, características propias de cursos de aguas saturadas de sólidos. Su pendiente es de 17cm por kilómetro.

Desde Calacoto hasta Eucaliptus (148.0km), el cauce se ensancha con varios brazos en su interior, y su pendiente aumenta hasta 50cm por kilómetro, mientras que aguas debajo de Eucaliptus, hasta el puente de La Joya, la pendiente disminuye hasta 25cm por kilómetro, y el cauce se divide en dos brazos, uno que sigue hasta el lago Uru Uru antes de llegar al lago Poopó, y otro que va directamente al lago Poopó.

Toda la región entre La Joya y el lago Poopó, es una zona de depósitos de sedimentos procedentes de aguas arriba, haciendo el escenario hidrográfico particularmente inestable, y la morfología de los cauces muy poco definida.

Así, recién en 1955 aparece el lago Uru Uru, mientras que en 1978 se crea un segundo brazo a partir de La Joya, siguiendo directamente al lago Poopó, siendo de tal importancia que es posible que en un futuro próximo sea el único que alimente a dicho lago, en detrimento del brazo izquierdo y del lago Uru Uru, los que desaparecerían si no se toman medidas adecuadas.

Esta configuración morfológica y topográfica origina que para caudales grandes en el río Desaguadero (sobre los 600m^3/s), se produzcan importantes inundaciones en su tramo inferior, superando las 25,000ha de las cuales cerca de 12,000ha son áreas agrícolas, y poniendo en peligro de inundación a la zona sur de la ciudad de Oruro así como a las lagunas de tratamiento de aguas servidas de esta ciudad.

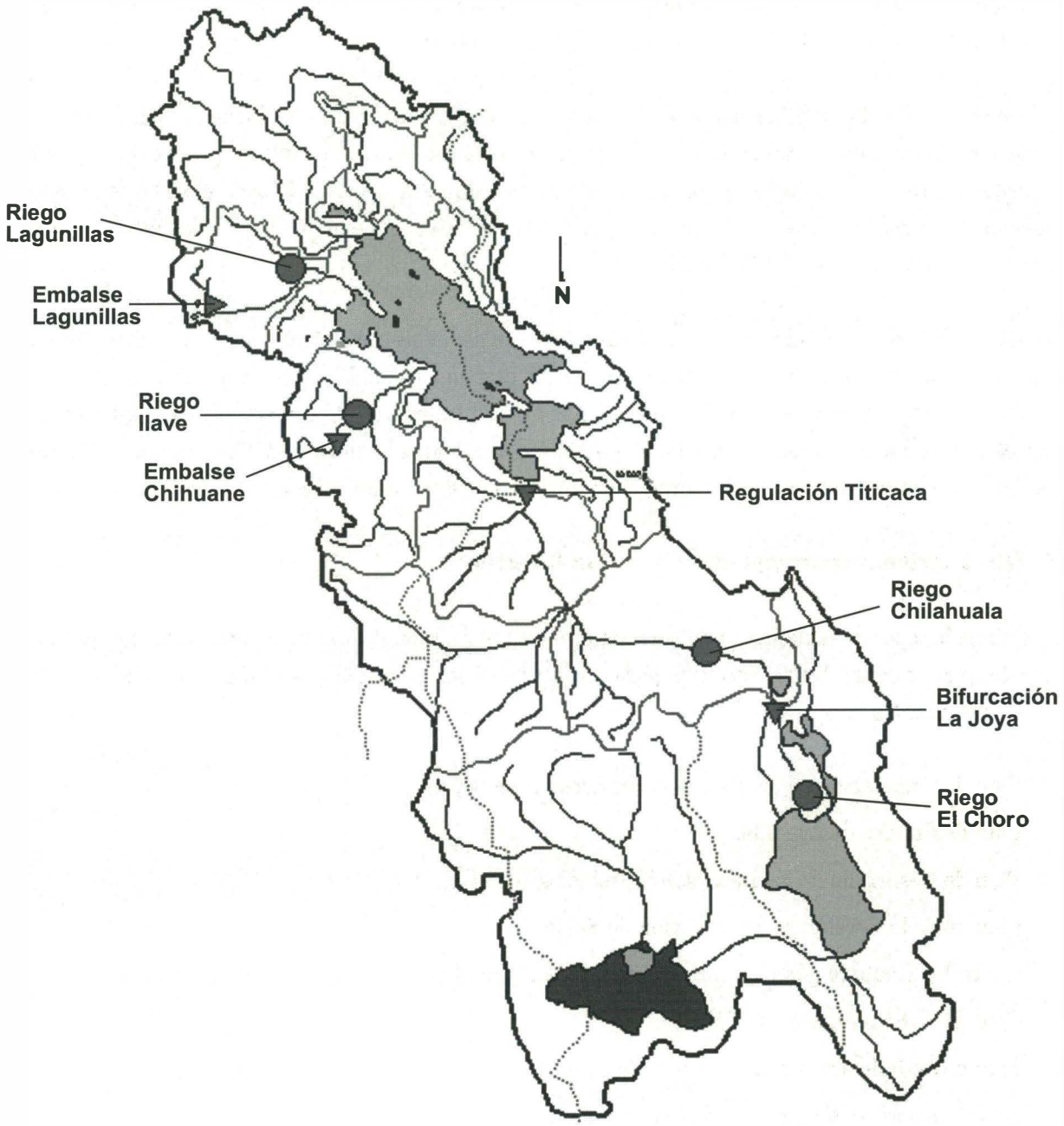
En cuanto a los problemas de contaminación, encontramos que en las zonas de Aguallamaya, Nazacara, Calacoto, Ulloma y Puente Japonés, hay poca actividad humanay predomina la contaminación por salinización natural, con escasa contaminación antrópica. A partir de Eucaliptus, en Chuquiña y los lagos Uru Uru y Poopó, predomina la contaminación por actividad minera, seguida de contaminación doméstica e industrial.

1.4 Obras propuestas para el manejo de los recursos hídricos

Para mejorar las condiciones en el manejo de los recursos hídricos del sistema TDPS, el Plan Director propone las siguientes obras que son necesarias para la regulación básica del sistema hidráulico de la región.

- Una sección de control en el Puente Internacional Desaguadero, que comprende cuatro compuertas de 9.00m x 5.50m tipo vagón de doble tablero, dos diques de encauzamiento de 300m de longitud cada uno, y dos diques de protección de las poblaciones de Desaguadero con 1,320m de longitud total.

PLAN DIRECTOR
PRINCIPALES PROYECTOS



- Trabajos de dragado del río Desaguadero en su tramo inicial entre el Puente Internacional y la población de Nazacara, en una longitud de 65km, configurando un canal de 20m de base y taludes 5/1 en sus primeros 40km, y de 40m de base y taludes 2/1 en los 25km siguientes.

- Una sección de control en Aguallamaya que comprende cuatro compuertas (3 de 12.00m x 5.00m, y 1 de 2.00m x 5.00m), y 2,100m de dique que tendrá la doble función de represar las aguas y servir de base a la carretera Jesús de Machaca – San Andrés de Machaca.

Estas obras han sido caracterizadas como binacionales en función de su ubicación y del servicio que brindarán directa o indirectamente a ambos países. El costo de la inversión global propuesta, excluidos los impuestos sobre las facturaciones de las valorizaciones de obra, alcanza US$27'496,812 para las obras binacionales en caso que fueran financiadas por convenios de cooperación no reembolsables. De otro modo este costo se elevará a los US$32'446,238.

En cuanto a los beneficios que producirán estas obras, son de índole socio económico y de carácter estratégico como protección del sistema. El cálculo de los méritos económicos del Plan indica que las obras tienen una rentabilidad satisfactoria a precios de mercado. Así, la Tasa Interna de Retorno resulta de 18.3% superior al costo de oportunidad del capital, mientras que el valor presente neto es de US$40'696,000 y la relación beneficio/costo es de 2.31 calculados ambos con una tasa de descuento del 8%.

1.5 Otras acciones contempladas en el Plan Director

En el plano binacional se definen una serie de programas y acciones a desarrollar en todo el sistema y que darán las pautas generales de actuación para un desarrollo sostenido del mismo. Los principales programas serán los siguientes:

- Plan de Ordenación de los Recursos Hídricos del sistema
- Plan de Control de Avenidas
- Plan de Desarrollo de los Recursos Hidrobiológicos
- Control de la Erosión y Conservación de Suelos
- Control y Combate a la Contaminación del Agua y del Suelo
- Control de Sedimentos Fluviales
- Plan de Actualización y Mejora de la Información
- Conservación de la Biodiversidad del Sistema TDPS

En el plano nacional se realizarán y operarán las obras de aprovechamiento que resulten de una planificación global y no tengan carácter binacional. En el esquema organizativo en el ámbito nacional, se deberá programar las interrelaciones existentes con el nivel binacional, para un funcionamiento coherente del sistema.

2. MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

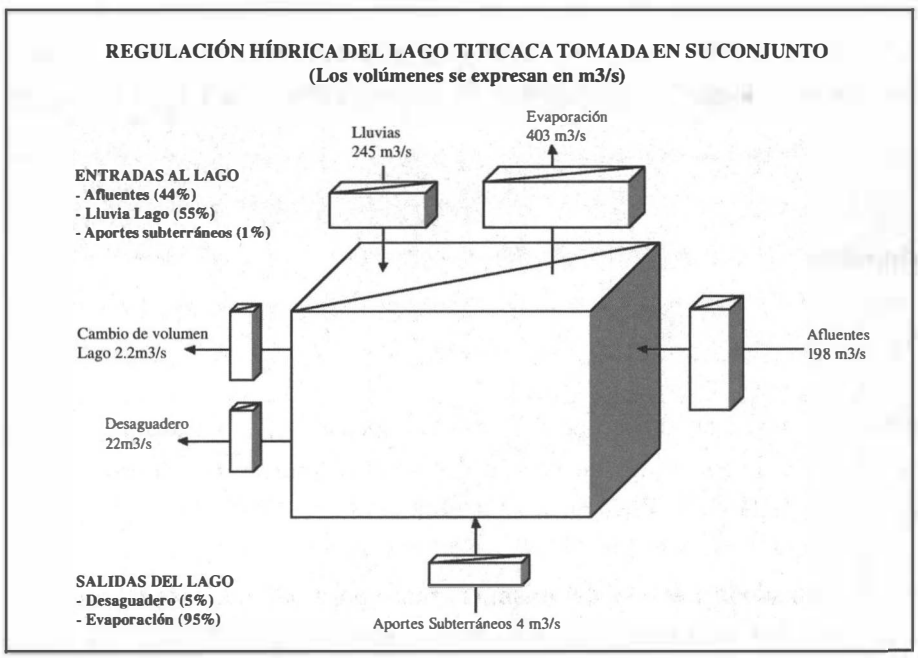
2.1 Obras Binacionales

Desde la instalación de la ALT en junio de 1996, se inició la búsqueda de financiamiento para la ejecución de las obras de regulación recurriendo inicialmente a la Unión Europea por haber sido el organismo cooperante del Plan Director, entidad que desistió de continuar apoyando al altiplano, por lo que fue necesario efectuar gestiones al más alto nivel de los gobiernos del Perú y de Bolivia, lográndose la aprobación del financiamiento con recursos del Tesoro Público de ambos países en partes iguales mediante intercambio de Notas Reversales de sus Cancillerías.

De acuerdo a las recomendaciones del Plan Director, a las condiciones existentes sobre usos de agua de la cuenca del lago Titicaca, y considerando el descenso de sus niveles en los últimos 10 años, se decidió ejecutar en primer lugar la obra de regulación del lago para lo cual fue necesario efectuar el diseño al nivel de licitación y luego, la licitación pública internacional en el primer semestre de 1997. Esta obra ha sido recientemente concluida con un costo de US$7.5 millones de dólares y se encuentra operativa desde mediados del año 2000.

La obra de regulación puede descomponerse en tres componentes principales:

- Estructuras de concreto armado (600 pilotes de 0.45cm x 0.45cm, losa de cimentación, pilares de soporte de las compuertas y del puente de maniobras, puente vehicular de doble vía para 60 ton, y edificaciones para sala de mandos y viviendas), con un volumen total de 9,000m^3.
- Compuertas de regulación (8 compuertas de 9.00m x 3.00m c/u, 8 ataguías de 9.00m x 1.5m c/u), sistema de izaje eléctrico, puente de maniobras de fierro, y línea de transmisión de 300m.
- Diques de encauzamiento y de protección con 1,920m de longitud total y 140,000m^3 de materiales compactados.



En cuanto al dragado del río Desaguadero en su tramo inicial, se elaboró el Expediente Técnico correspondiente en 1997 gestionándose su financiamiento a través de ambos gobiernos, lográndose el acuerdo respectivo en 1998 mediante intercambio de Notas Reversales de las Cancillerías, definiéndose su financiación en partes iguales.

Entre 1998 y 1999 se efectuaron adquisiciones de maquinaria especializadas conformadas por: 2 Retroexcavadoras de brazo largo (18m), 1 Tractor bulldozer de orugas, 2 Camiones Volquetes de doble tracción, y 2 Camionetas Pick Up de doble tracción, iniciándose los trabajos de dragado en setiembre de 1999.

Hasta diciembre de 2000 se logró un avance de 330,000m^3 de dragado con una inversión total de 2.0 millones de dólares incluyendo la maquinaria adquirida la que será amortizada con el avance de los trabajos. Para el presente año y los siguientes, se prevén avances en función de los recursos presupuestales que asignen los gobiernos.

Año	Volumen a dragar M^3	Inversión necesaria US$
1998/2000	330,000	2'200,000
2001	1'800,000	4'400,000
2002	1'100,000	3'300,000
2003	525,000	1'575,000
2004	525,000	1'575,000
2005	525,000	1'575,000
Total	4'775,000	14'625,000

En cuanto a la obra de regulación de la laguna Aguallamaya será analizada en el futuro en función del avance en el desarrollo de los proyectos de irrigación de ambos países, para determinar la oportunidad de su ejecución.

2.2 Obras Nacionales

2.2.1 En el Perú

La Unidad Operativa de la ALT en el Perú es el Proyecto Especial Lago Titicaca dependiente del Instituto Nacional de Desarrollo, y es la encargada de ejecutar los proyectos de irrigación previstos en el Plan Director como Lagunillas para 18,000ha e Ilave para 12,000ha.

En Lagunillas se ha realizado la Represa del mismo nombre para 500 millones de metros cúbicos, y se ha ejecutado parte de la obra de conducción a los sectores de Cabana, Vilque y Mañazo, incluyendo la captación

del río Cabanillas. Con la obra de regulación se ha logrado asegurar la satisfacción de las necesidades de riego de los sectores ya desarrollados en el pasado de Huataquita, Cabanillas, Cantería, Yanarico y Yocará, que suman unas 5,000ha.

En el proyecto Ilave, se han instalado dos estaciones de bombeo en los sectores de Pilcuyo y Camicachi para el riego de 3,500ha encontrándose ellas en proceso de desarrollo agrícola. Así mismo, se ha iniciado el canal de conducción de Totorani hacia Ilave, el que presenta un avance de 1.5km.

En la población de Desaguadero se está ejecutando el Encauzamiento de la Quebrada Huancuri-Huantijahuira para evitar inundaciones en sectores de la población, e impedir que siga siendo utilizada como botadero de aguas servidas y desechos sólidos, los que contaminan su cauce y el del río Desaguadero en su naciente. Esta obra se efectúa en Convenio con el Municipio de Desaguadero con un costo total de US$427,770 en un plazo de 2 años, estando próxima su conclusión.

2.2.2 En Bolivia

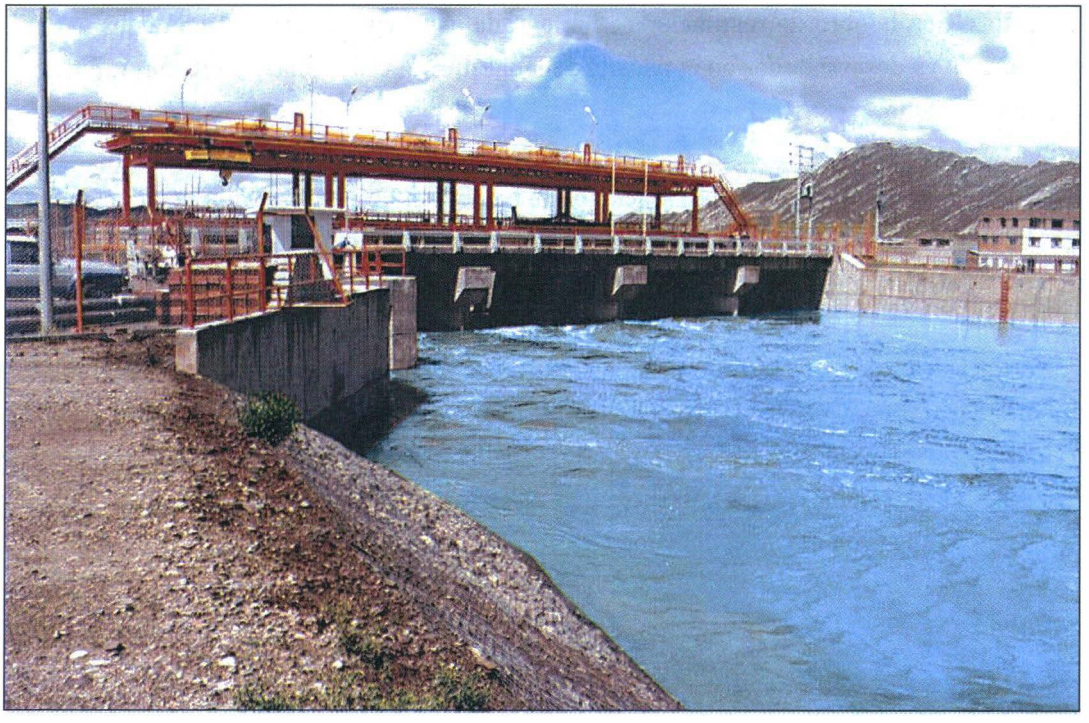
Con el apoyo de la cooperación del Gobierno del Japón, la Prefectura del Departamento de La Paz está ejecutando el proyecto de desarrollo rural de Escoma y Achacachi con una proyección de 18,000ha a ser beneficiadas.

Además, en la década de los años 90, con la ayuda de la Unión Europea, se ejecutaron canales de riego en la zona denominada Chilahuala, para beneficiar a más de 5,000ha las que se encuentran en proceso de incorporación.

Por otra parte, la ALT ha elaborado el proyecto de la Obra de Bifurcación de La Joya que regulará la distribución del río Desaguadero en sus dos brazos, suministrando agua permanente a la zona de riego de El Choro que cuenta con canales de distribución para unas 2,000ha. La Prefectura del Departamento de Oruro tiene previsto ejecutar esta obra con una inversión de 4.0 millones de dólares licitándola en el presente año.

La ALT realizará la adecuación de los proyectos de riego de Chilahuala y El Choro, previstos en el Plan Director con un total de 25,000ha, para reducir los costos de inversión allí contemplados, de manera de hacer viable su ejecución.

En la población de Desaguadero se lleva a cabo la obra de Alcantarillado Sanitario para dicha población, la cual carecía de este servicio, con un costo total de US$348,711 en Convenio con la Municipalidad respectiva. Esta obra permitirá el manejo ambiental adecuado de las aguas servidas de la población, las que actualmente son dispersadas en toda su extensión, eliminando otra fuente de contaminación del río Desaguadero en su naciente.



Obra de regulación del Lago Titicaca.

Dragado del Río Desaguadero en su tramo inicial. (Puente Internacional - Nazacara).

2.3 Inventario de Usos Actuales y Potenciales de Agua en el sistema TDPS

La ALT, en cumplimiento de sus funciones establecidas en su Estatuto, ha realizado el inventario actualizado de los usos de agua en el sistema TDPS, habiendo encontrado que tales usos se mantienen aún en equilibrio con el balance hidrológico del sistema aunque, en épocas secas, se producen desabastecimientos hídricos especialmente a los usuarios de riego, por lo que no es posible incrementar dichos usos sin efectuar obras de regulación en el sistema.

Cabe señalar que estos usos están descontados en las mediciones hechas en los ríos del sistema, por lo que no influyen en el aprovechamiento futuro o proyectado de los recursos a regular de la cuenca del lago Titicaca.

El volumen promedio anual de agua del sistema hídrico TDPS utilizada en el presente es de 717Hm^3 incluyendo los usos de los afluentes del lago Titicaca, del río Desaguadero, del lago Poopó y del Salar de Coipasa. Sólo el 13.5% se emplea para consumo humano, mientras que el 86.5% restante se emplea en el riego complementario de los campos agrícolas cultivados en todo el ámbito del sistema.

La regulación de los recursos del lago Titicaca y de sus afluentes, permitirá disponer de un volumen adicional de 630Hm^3 sin afectar al sistema, a ser utilizado en partes iguales por los dos países, con una garantía del 82%, cuya distribución interna es potestativa de las decisiones de cada gobierno.

2.4 Manejo del agua y del suelo con aguas salinas y con metales pesados

Las aguas del río Desaguadero constituyen en algunos sectores de la llanura altiplánica, una de las pocas fuentes de agua disponibles no sólo para riego (4400ha) y consumo animal, sino también para consumo humano. Sin embargo, esta agua contienen importantes concentraciones de cloruros, sulfatos, bicarbonatos de Calcio, Magnesio y Sodio, boratos y metales pesados comoArsénico, Cobalto, Antimonio, Níquel, Plomo y Cromo, que van aumentando hacia el sur de la cuenca, superando en varios casos los límites permisibles y, por consiguiente, limitando su uso.

Si bien estas aguas se mezclarán en el futuro con las aguas reguladas del lago Titicaca que son más puras, diluyendo las concentraciones de los elementos químicos existentes, es importante conocer el impacto de ellas sobre los suelos sometidos al riego, y sobre los cultivos y animales que las consumen.

Por ello, la ALT realizó una investigación para la "Evaluación del Impacto del Riego con Aguas del Río Desaguadero sobre la Salinización, Sodificación y Acumulación de Metales Pesados en Suelos y Vegetación" entre 1999 y 2000, con la participación de tesistas de la Universidad Mayor de SanAndrés y de la Universidad Técnica de Oruro, en las áreas de cultivo de los sectores de Chilahuala y El Choro respectivamente.

Las principales conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

- Para la mayoría de las 8 áreas estudiadas en Santa Ana (Chilahuala) y Japo (El Choro), existe cierta tendencia a la acumulación de sales y/o sodio intercambiable en función del aumento de los años de riego, con excepción del área de Zambrana por la textura gruesa del suelo que permite el lavado de sales.
- Al presente, los valores de salinización y alcalinización no han alcanzado niveles críticos al no haber superado los límites permisibles, $4dsm^{-1}$ y 15% respectivamente, aunque debe tenerse en cuenta que estos procesos son acumulativos.
- Las concentraciones totales de los metales Níquel, Cromo, Plomo, Plata y Estroncio, encontradas en los suelos de las parcelas estudiadas (capa arable y subsuelo), se encuentran dentro de los valores comunes, a excepción del Cobre, Zinc y Cobalto que superan sus rangos comunes, especialmente en las parcelas con mayor cantidad de años de riego. Solo en el caso del Arsénico se supera el máximo tolerable, constituyéndose en el único elemento contaminante de riesgo.
- Las variaciones de los valores de las concentraciones de un lugar a otro, se deben a la incidencia del medio donde se desarrollan los cultivos, y, en especial, de las características del suelo, tales como textura (contenido de arcilla),pH, contenido de materia orgánica y carbonatos, riego, y otros factores que inciden sobre la fijación de los metales en el suelo, y, por ende, sobre una menor disponibilidad para las plantas.
- En cuanto al Boro, este se encuentra en mayores concentraciones en los campos de alfalfa con relación a los de chiji, debido a que los sedimentos de la llanura contienen este elemento en cantidades importantes, y a que la alfalfa se caracteriza por su alta capacidad de absorción y tolerancia a altos contenidos de este anión.

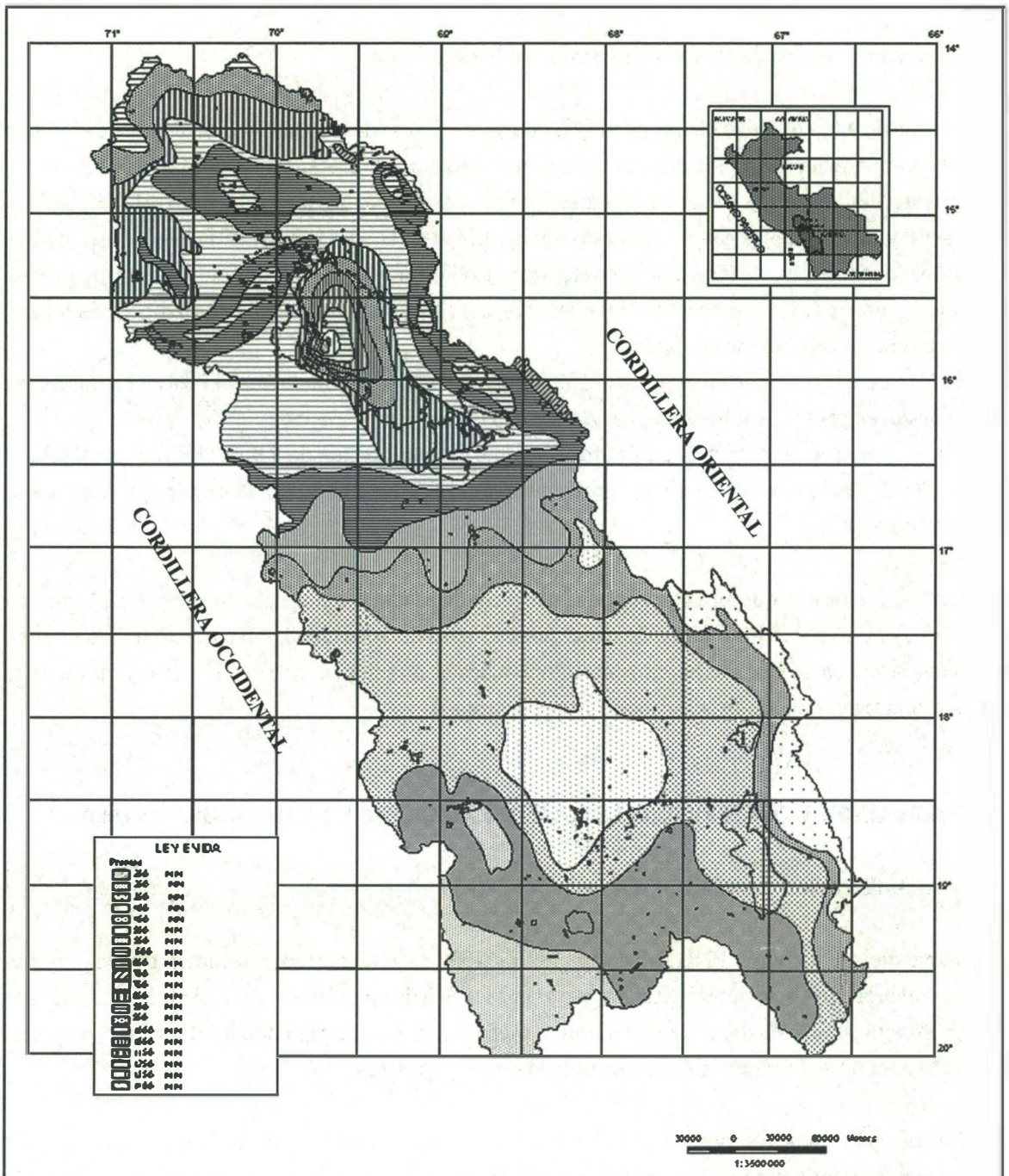
Para el período 2001-2003 se ha recibido la cooperación del OIEA mediante el proyecto "Manejo Sostenible de la Cuenca del Desaguadero" cuyos objetivos son:

- Caracterizar la calidad de las aguas superficiales y subteráneas utilizadas para el riego en la llanura fluviolacustre del Altiplano Central de Bolivia.
- Determinar el grado de acumulación de metales pesados en suelos bajo riego, en la vegetación y en tejidos de animales domésticos.
- Evaluar las características del riego en la zona y el comportamiento del agua en los suelos con ayuda de la sonda neutrónica.
- Identificar y determinar con base en los resultados y la situación socioeconómica de los agricultores, posibles soluciones de uso del suelo, del agua y de los cultivos tolerantes a estas condiciones.

2.5 Balance Hidroquímico e Isotópico del Lago Titicaca

Con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, se ha preparado un balance hidroquímico y otro isotópico de las aguas de la cuenca del lago Titicaca con el objeto de lograr una evaluación más precisa del balance hídrico en ella. Para tal fin, se llevó a cabo un plan de trabajo que comprendió muestreos sistemáticos del lago, ríos, pozos, manantiales y agua de lluvia, para su posterior análisis físico, químico, e isotópico.

PRECIPITACIONES EN EL SISTEMA



AUTORIDAD AUTONOMA DEL LAGO TITICACA ALT ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS OEA	ZONIFICACION AMBIENTAL DEL SISTEMA TITICACA-DESAGUADERO-POOPO-SALAR DE COIPASA (SISTEMA TDPS) PERU - BOLIVIA	MODELO N°
ELABORADO POR: Ing. JOSE L. ROSALES VIDAL Ing. JUN ALVAREZ TORRES	**PRECIPITACION MEDIA (mm)**	030

Además de la ALT y el OIEA, participaron el Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés, el Proyecto Especial Lago Titicaca, el Instituto Peruano de Energía Nuclear y el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear.

Los resultados principales de esta investigación son los siguientes:

- El cuerpo de agua del lago Mayor es muy homogéneo, no existiendo una variación espacial ni temporal de la concentración isotópica del Deuterio ni del Oxígeno 18, produciéndose una buena mezcla.
- Se pueden distinguir dos sectores; el lago mayor con valores medios de $d^{18}O$=-4.02+0.13, $d^{2}H$=-52.1+1.58 (n=196), y el lago menor con valores más enriquecidos $d^{18}O$=-1.34+0.44, $d^{2}H$=-37.1+3.18 (n=16).
- Los ríos muestran variaciones estacionales de períodos muy largos, en algunos casos enriquecidos, por lo que la información proveniente tiene que ser monitoreada en períodos de tiempo más largos, para determinar su concentración media.
- Considerando lo ocurrido en el período 1997-1999, se ha determinado que el 63% del volumen de agua evaporada se presenta sobre el lago mayor y el 37% en el lago menor.
- Mediante técnicas isotópicas, se ha determinado una evaporación de 9,998.71Hm^3 para el año 1997, y de 7,498.22Hm^3 para el año 1998, representando el 65.7% y el 88.9% del agua que ingresa al lago, respectivamente.

Esta investigación se enriquecerá con el nuevo proyecto de cooperación aprobado por el OIEA, denominado "Estudio de Contaminación del Lago Titicaca" para el período 2001-2003, cuyo objetivo principal es el de llevar a cabo estudios de reconocimiento detallados sobre el estado y la distribución de contaminantes en el lago Titicaca, a través de análisis hidroquímicos e isotópicos.

3. PRESERVACION Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA BIODIVERSIDAD

3.1 Macrozonificación Ambiental del Sistema TDPS

Con el apoyo de la OEA y del PNUMA, entre 1995 y 1996 se realizaron los estudios básicos orientados a efectuar la macrozonificación ambiental del sistema TDPS. Ellos permitieron preparar los mapas temáticos de interés en todo el ámbito del sistema en una manera integrada, corrigiendo los defectos que se producen usualmente cuando se trata de trabajos en una cuenca compartida.

El estudio enfocó los aspectos ambientales de la cuenca en forma desagregada a nivel temático y sintetizada a nivel espacial, enfatizando no solamente los recursos naturales, sino también los aspectos económicos, sociales, educativos, institucionales y legales que inciden en el deterioro y la conservación de la calidad ambiental del sistema TDPS. Los resultados del estudio sirvieron de base para la formulación del Plan de Gestión Ambiental del Sistema, donde se identificaron estudios, proyectos y actividades prioritarias para mejorar al corto plazo las condiciones de vida de la población, y al mismo tiempo detener los procesos de deterioro y degradación ambiental que afectan al área del Sistema TDPS.

El trabajo fue presentado en los siguientes volúmenes:

Volumen 0: Diagnóstico Ambiental del Sistema TDPS.

Volumen 1: Fomento al uso de tecnologías adecuadas para la producción agropecuaria sustentable del altiplano del Perú y de Bolivia.

Volumen 2: Plan de manejo preliminar de la Reserva Binacional. Area Natural de Manejo Integrado Titicaca-Mauri (Bolivia) y Zona Reservada Aymara Lupaka (Perú). Estrategia para el fortalecimiento de las áreas protegidas del TDPS.

Volumen 3: Recursos biológicos del TDPS: Programa de desarrollo sostenido de Totorales. Fomento de la pesca en el Titicaca. Biodiversidad en el TDPS.

Volumen 4: Control de la Contaminación en el Sistema TDPS: Diagnóstico y Propuestas de Control.

Volumen 5: Diagnóstico Socioeconómico del TDPS.

Volumen 6: Estudios y Programas Complementarios.

Volumen 7: Programa de Fortalecimiento Institucional para la gestión ambiental del TDPS.

Volumen 8: Zonificación Ambiental del Sistema TDPS (13 mapas y síntesis explicativa).

3.2 Conservación de la Biodiversidad en el Sistema Hídrico TDPS

El proyecto financiado por el GEF a través del PNUD, cubrirá los costos incrementales de conservar y utilizar la biodiversidad del Sistema TDPS, en forma sostenible, mediante el diseño e implementación de actividades en biodiversidad basadas en la participación comunitaria, uso sostenible y rehabilitación, y a través del desarrollo de un plan de manejo de la biodiversidad que aporte pautas para orientar las inversiones sectoriales futuras, así como un marco de referencia para evaluar su sostenibilidad desde una perspectiva del ecosistema.

Los objetivos inmediatos del proyecto son los siguientes:

1. Promover el uso sostenido de la biodiversidad dentro de la cuenca del Titicaca, por medio de proyectos de demostración específicos que ofrezcan fuentes alternativas y sostenibles de ingreso a las comunidades locales.
2. Fortalecer la conservación de la biodiversidad de la cuenca del Titicaca, reforzando el manejo de dos áreas protegidas existentes, ayudando en la creación de dos áreas adyacentes protegidas de frontera y promoviendo la recuperación y reintroducción de especies acuáticas nativas en peligro.
3. Fortalecer la capacidad de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, comunidades locales y ALT para planificar, implementar y monitorear los programas de manejo y conservación de la biodiversidad dentro del contexto del desarrollo económico de la región.

El costo total del proyecto es de US$5'000,000 de los cuales el GEF aporta US$3'110,000, otras entidades cooperantes aportan US$890,000 y los gobiernos del Perú y de Bolivia aportan US$1'000,000 en especies. Su ejecución está programada en 5 años, habiéndose iniciado en 1999 con la implementación de las Gerencias Nacionales en los dos países.

Los avances logrados hasta el presente muestran que la ejecución del proyecto está dentro de lo programado, habiéndose empleado US$1'000,000 del GEF y US$400,000 de los gobiernos del Perú y de Bolivia en los dos años de trabajo.

3.3 Convención RAMSAR y el lago Titicaca

La Convención sobre los Humedales aprobada en 1971 en la ciudad iraní de Ramsar, conocida comúnmente como Convención RAMSAR, ha incorporado los dos sectores del lago Titicaca, peruano y boliviano, dentro de su lista de humedales de importancia internacional, habiendo otorgado pequeñas subvenciones a ambos países para la conservación y uso racional de algunos sectores del lago Titicaca a través de los organismos gubernamentales nacionales que realizan las tareas encomendadas por la Convención.

La creación e implementación de la ALT, así como su actuación en cuanto a los aspectos de manejo de los recursos hídricos y de conservación de la biodiversidad, son acciones que se enmarcan dentro de los lineamientos de la Convención, encontrándose este caso, en una etapa superior a todos los demás casos que comprende la Covención.

4. PLAN DE DESARROLLO FRONTERIZO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAURE (MAURI)

4.1 Antecedentes

Después de haber convenido los gobiernos del Perú y de Bolivia llevar a cabo la ejecución de un programa de desarrollo fronterizo de la cuenca alta del río Maure (Mauri), por tratarse de una cuenca con recursos hídricos compartidos y en situación de extrema pobreza, las Cancillerías de ambos países le encomendaron a la ALT la realización de las actividades necesarias para la identificación e implementación de las acciones conformantes de dicho plan.

Entre 1998 y 2000 se preparó el Plan de Desarrollo Fronterizo constituído por las siguientes actividades y proyectos:

- Mejoramiento de riego en bofedales para 3,500ha mediante la construcción de 51 bocatomas con un costo de US$264,575.

- Cultivo de ajo y pastos, crianza de truchas y mejoramiento de camélidos con una inversión de US$1'030,782.

- Construcción de infraestructura física y equipamiento para Centro de Mejoramiento Genético, incluyendo compra de reproductores con una inversión de US$689,370.

- Inversiones en siembra y mejoramiento de pastizales para el mejoramiento genético con una inversión de US$130,112.

4.2. Acciones Realizadas

a) Elaboración de 51 proyectos de mejoramiento de riego de bofedales al nivel constructivo, incluyendo trabajos de topografía y de diseño hidráulico.
b) Preparación del Estudio Definitivo y Ejecución de Obra de Perforación de un Pozo de Exploración – Explotación de 60m de profundidad y 17.5" de diámetro para abastecimiento de agua potable a la localidad de Charaña.
c) Ejecución e implementación de 33 Pozos Someros de 5m a 15m de profundidad instalando 33 Bombas Manuales en los 6 Ayllus conformantes de la V Sección de Charaña.
d) Estudio Definitivo de Electrificación El Ayro-Tripartito para abastecer de energía a las localidades rurales de Chapi, Rosaspta y Tripartito en el Perú, y Tripartito y Charaña en Bolivia.

Investigaciones sobre las Condiciones Físicas y Ambientales

Estudios físicos y fotobiológicos en la banda ultravioleta en el lago Titicaca

Por: *Francesco Zaratti* [1]

RESUMEN

Las dosis de radiación ultravioleta (RUV) que se reciben en el Lago Titicaca están entre las más altas del planeta. Por otro lado desde hace miles de años organismos animales y vegetales viven en el Lago Titicaca, habiendo alcanzado a desarrollar mecanismos de adaptación a la RUV. Es lícito entonces preguntarse: ¿Cuál es la naturaleza y alcance de esos mecanismos?

Para responder a esa interrogante, entre los años 1997 y 1999 se realizaron tres campañas en las cuales se estudió los efectos de la RUV sobre el plancton del Lago Titicaca, a cargo de investigadores argentinos –Fotobiólogos de la Estación de Fotobiología Playa Unión (EFPU-Chubut)– y bolivianos –Físicos del Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA-UMSA).

En el primer trabajo (septiembre de 1997) se estudió la inhibición de la fotosíntesis del fitoplancton del Lago, llegándose a la conclusión que las especies del Lago están más adaptadas a las elevadas dosis de RUV que sus similares de altas latitudes. Sin embargo, el mecanismo de defensa parece no pasar por la concentración en el fitoplancton de compuestos que absorben la RUV, como los MAAs, al igual que en otras regiones. No obstante, esa clase de compuestos podría ser transferida a organismos superiores de la cadena trófica por bioacumulación, a través de la dieta, como sucede en el zooplancton.

En la segunda campaña (octubre de 1998) se analizó, además, el daño alADN inducido por la RUV solar en el fitoplancton. Se demostró que el daño, medido por la formación de CPD (cyclobutane pyrimidine dimers), estaba ligado a exposición a radiación UV-B más que a UV-A, pero los niveles absolutos del daño no parecen significativos con respecto a otras regiones marinas.

1 Laboratorio de Física de la Atmósfera, Instituto de Investigacioes Físicas – UMSA Campus Universitario Calle 28Cota Cota-Edificio Facultativo Piso 2Teléfono k Fax (591 2) 2799155 P.O. Box 3164 E—mail:ozono@mail.megalink.com - *www.megalink.com/ozono*La Paz,Bolivia.

En la tercera campaña (octubre de 1999) se estudió más específicamente los efectos de la RUV sobre una típica especie de zooplancton del Lago, *Boeckella titicacae*, poniéndose en evidencia el papel protector de los MAAs (Microsporine Like Aminoacids) y su dependencia del espectro de la RUV.

SUMMARY

The ultraviolet radiation(RUV) doses that are received at the Titicaca Lake is among the highest in the planet. On the other hand, for thousands of years animal and vegetables organisms had been living at the Titicaca Lake, all of them had been reached to develop mechanisms for the RUV adaptation.Then I wonder: which is the nature and how they reach those adaptation mechanisms?

To respond to that question, betweenthe years 1997 and 1999, Argentinean investigators –Photobiologists of the Photobiologic Station of Beach Union (EFPU-Chubut)– and Bolivian –Physicist of the Laboratory of Physics of the Atmosphere (LFA-UMSA), were carried out three campaigns in which they had been studied the effects of the RUV on the plankton at the Lake Titicaca.

In the first campaign (September, 1997) the photosynthesis inhibition of the phytoplankton of the Lake was studied, being reached to the conclusion that the species at the Lake are more adapted to the high doses of RUV that their similar of high latitudes.However, the defense mechanism seems not to be by concentration of compounds that absorbs RUV in the phytoplankton, as the MAAs, as the same in other regions. Nevertheless, that kind of compounds could be transferred to superior organisms of trophic chain by bioacumulation, through the diet, like it happens in the zooplancton.

In the second campaign (October, 1998) the damage to the DNA induced by the solar RUV in phytoplankton was analyzed.It was demonstrated that the damage, measured by the formation of CPD (cyclobutane pyrimidine dimers),was bound to exposition to radiation UV-B more than to UV-TO, but the absolute levels of the damage don't seem significant with regard to other marine regions.

In the third campaign (October, 1999) the effects of the RUV more specifically on a typical species of zooplancton of the Lake was studies, *Boeckella titicacae*, putting on in evidence the protective role of the MAAs (Microsporine Like Aminoacids) and their dependence of RUV spectrum.

INTRODUCCIÓN

La presente ponencia es un resumen de tres artículos científicos publicados, o en vía de publicación, en revistas especializadas de fotobiología (*Villafañe et al., 1999; Helbling et al., 2001a; Helbling et al., 2001b*) que muestran los resultados de las campañas de investigación llevadas a cabo en el Lago Titicaca, en la región del estrecho de Tiquina, los años 1997, 1998 y 1999, bajo un proyecto financiado parcialmente por el Fondo Argentino de Cooperación Horizontal (FO-AR) y el Fondo Nacional para el Medio Ambiente (EIA-FONAMA). El objetivo general de las campañas era estudiar los efectos de la radiación ultravioleta solar sobre los microorganismos del Lago Titicaca.

La justificación de un tal estudio viene de las elevadas dosis de radiación ultravioleta que se reciben en general en el Altiplano Boliviano, debido a la ubicación tropical (16°S), a la elevada altura (3.800 msnm) y las condiciones climáticas y topográficas de la región que refuerzan los valores de la RUV. La Figura 1 muestra una serie temporal anual de la radiación UV-B en La Paz.

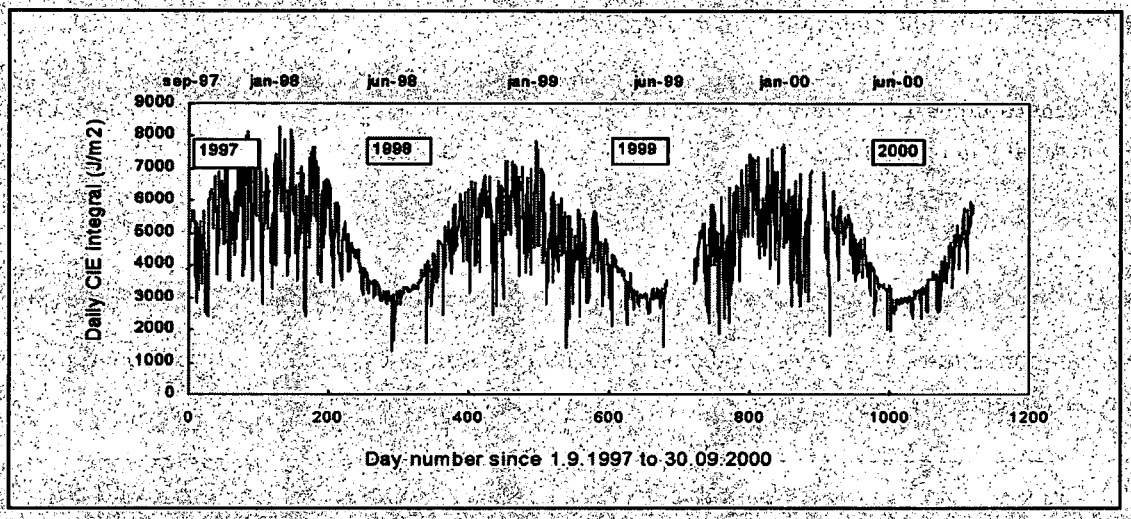


Figura 1

Serie temporal de la irradiancia "eritémica" en La Paz (1996-2000): datos del Brewer 110 en operación al LFA en Cota Cota.

Ahora bien esas elevada dosis de UV-B han impactado durante miles de años en los microorganismos del Lago Titicaca, posibilitando el desarrollo de sistemas de defensas que han llevado a la adaptación o aclimatación de las funciones biológicas de esos organismos al peculiar medioambiente del Altiplano Boliviano.

El interés de esos estudios radica en dos aspectos:

1. Se sabe que, por el agotamiento crítico de la capa de ozono en las regiones de altas latitudes, se han incrementado las dosis de UV-B provocando una sensible inhibición de la fotosíntesis y, por ende, una disminución de plancton en esas regiones, con influencias inmediatas en la cadena alimenticia de los océanos. Por tanto la identificación y el estudio de mecanismos químicos o genéticos de defensa a elevadas dosis de UV-B podría ayudar a mitigar ese problema que se prolongará por lo menos durante los siguientes 50 años. En nuestros estudios se midió niveles de UV-B en el Lago Titicaca hasta tres veces superiores a los normales de la región antártica.
2. Las sustancias químico-biológicas producidas por el plancton del Lago Titicaca, en defensa de las elevadas dosis de UVB, podrían servir de base para bloqueadores y protectores solares más eficientes y menos dañinos de los que se hallan actualmente en el comercio, aunque este aspecto requiere de otros niveles de interacción entre investigación y desarrollo, que desafortunadamente no se dan en nuestro medio.

De los daños que la UVR provoca en el plancton (con sus respectivos mecanismos de defensa), dos han merecido particular atención, tanto por su importancia relativa como por su presencia en los sistemas del Lago Titicaca: la inhibición de la fotosíntesis, debida a la energía de la UVR, principalmente en el fotosistema II, y el daño al ADN, vía formación de productos diméricos entre piramidinas adyacentes, compensado por mecanismos celulares de reparación. En las campañas se buscó determinar el alcance en el plancton del Lago Titicaca de cada uno de los mecanismos descritos.

Finalmente los estudios fueron llevados a cabo en una perfecta simbiosis entre físicos y fotobiólogos, mostrando todo el potencial y la necesidad de proyectos multidisciplinarios y, como en este caso, multinacionales.

MÉTODOS E INSTRUMENTOS

Las tres campañas fueron llevadas a cabo en la bahía de Chua, muy cerca al estrecho de Tiquina, en el llamado Lago Menor (Fig. 2).

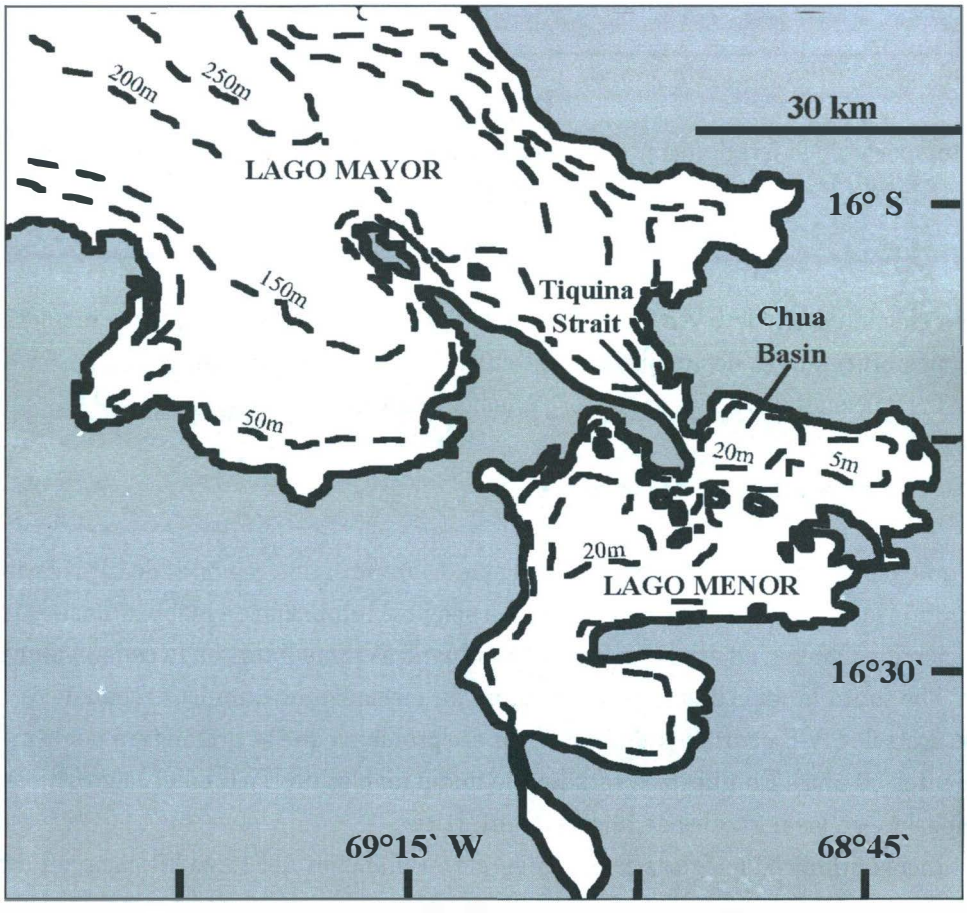


Figura 2
Mapa de la región del Lago donde se llevaron a cabo los experimentos.
(de Helbling et al., Figure 1, *Eur. J. Phycol.*)

La técnica de investigación en los tres casos es similar y consiste en analizar el desarrollo del plancton y de sus propiedades, cuando muestras similares de agua del Lago eran expuestas a diferentes bandas del espectro de la ra iación solar. En la Figura 3 se muestra un típico espectro de la radiación solar.

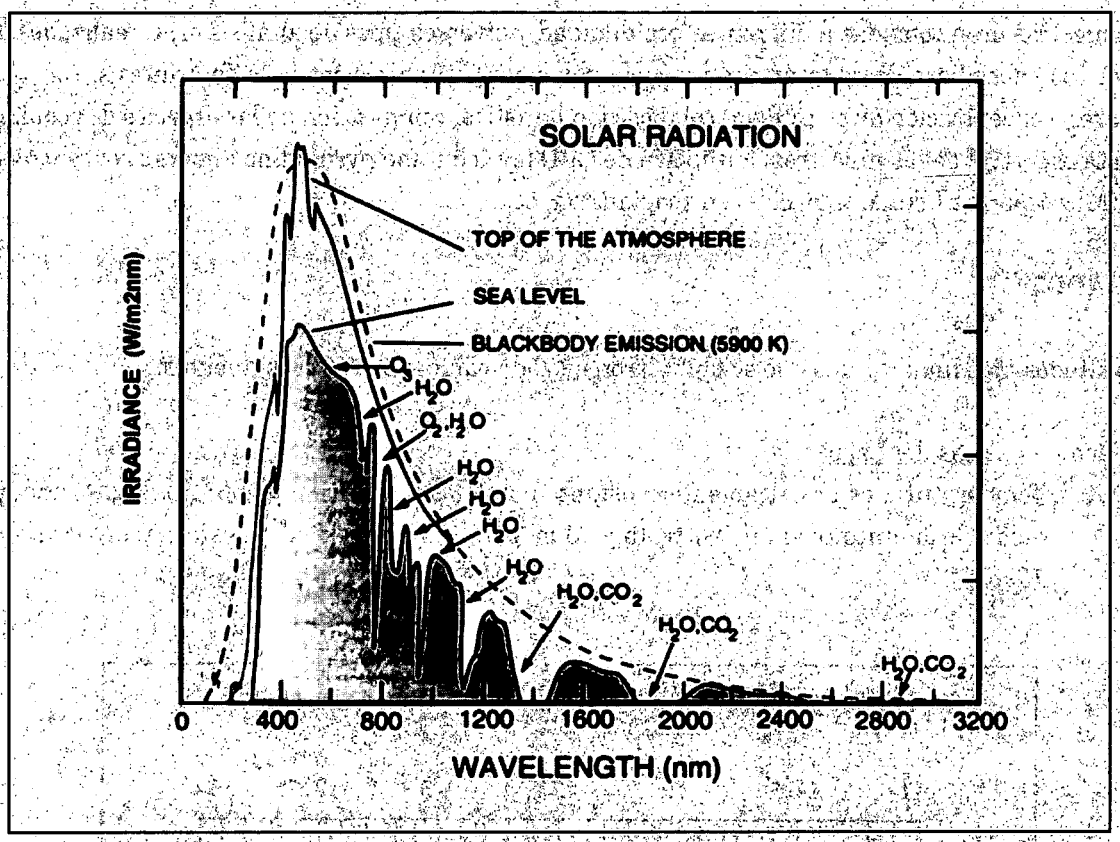


Figura 3

Típico espectro de la radiación solar, teórico y real.

Las muestras de agua recogidas del lago a una profundidad de 0.5 m eran expuestas a la radiación solar de tres maneras diferentes, con el fin de separar los efectos de la radiación según las bandas espectrales, definidas como *visible (400-700 nm), o PAR* (Photosynthetic Available Radiation), *UV-A (320-400 nm)* y *UV-B (280-320 nm)*:

a) muestras que recibían libremente PAR+UV-A+UV-B solar.
b) muestras recubiertas de un filtro de Mylar-D, capaz de detener el paso de la UV-B
c) muestras cubiertas con filtro de Plexigas UF-3 que sólo permite el paso de PAR

Esa clase de exposición a la radiación se la realiza mediante dos tipos de condiciones: incubaciones *"in situ"* (con la exposición natural a diferentes profundidades del Lago) y experimentos *"in situ simulados"*, donde se controla la radiación y la temperatura de las muestras fuera de su hábitat, básicamente para explorar la reacción de la muestra en condiciones extremas.

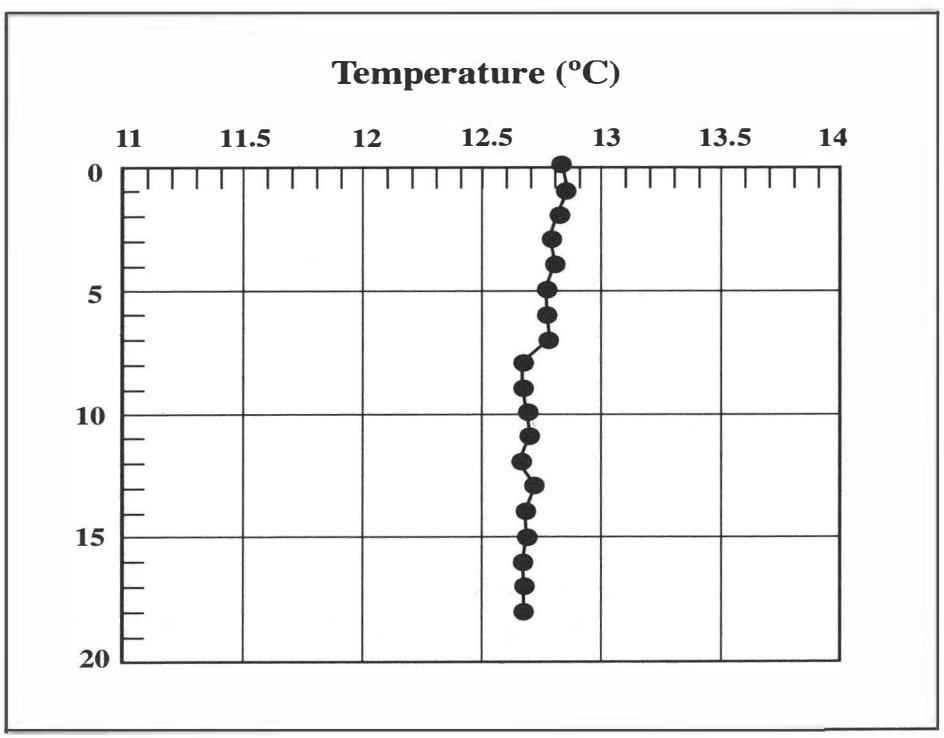
Al mismo tiempo, la intensidad de la radiación era monitoreada continuamente con radiómetros como el IL-1700 y YES UVB-1 y otras medidas físicas, mediante sus respectivos instrumentos, eran realizadas (temperatura del agua, capa de ozono, etc.).

Otras muestras eran tomadas a diferentes profundidad y diversos tipos de análisis eran realizados, según los objetivos específicos de cada campaña, como por ejemplo: inhibición de la fotosíntesis, con técnicas estándares; concentración de clorofila-*a*; composición florística; composición de las especies de zooplancton; respuesta espectral de las muestras; formación de CPD (cyclobutane pyrimidine dimers); concentración de MAAs (Microsporine Like Aminoacids) en zooplancton, etc.

RESULTADOS

Los resultados más importantes que se obtuvieron en cada campaña son los siguientes:

1. Medidas físicas del Lago:
   1.1 Temperatura: es prácticamente constante hasta los 18 m (epilimnion Z_{ep}). Fig. 4, aunque ese valor varía durante el año entre 15 y 25 m, debido a los gradientes estacionales (*Maldonado, 1996*).



(de Helbling et al., Figure 2, *Eur. J.) Phycol.*

Figura 4
Variación de la temperatura con la profundidad en el Lago Titicaca.

1.2 Coeficientes l de atenuación de la irradiancia (Fig 5), definido mediante la relación:

$$I(z) = I(0)\, e^{(-lz)}$$

* UVB: 0.66m^{-1} * UVA:0.24 m^{-1} * PAR:0.22 m^{-1}

El último valor es un indicador de la transparencia de las aguas del Lago en comparación a lagos de Norteamérica y de la región de Bariloche (Argentina), aunque es susceptible de variaciones debido a diferencias estacionales en el material particulado y orgánico disuelto en el Lago.

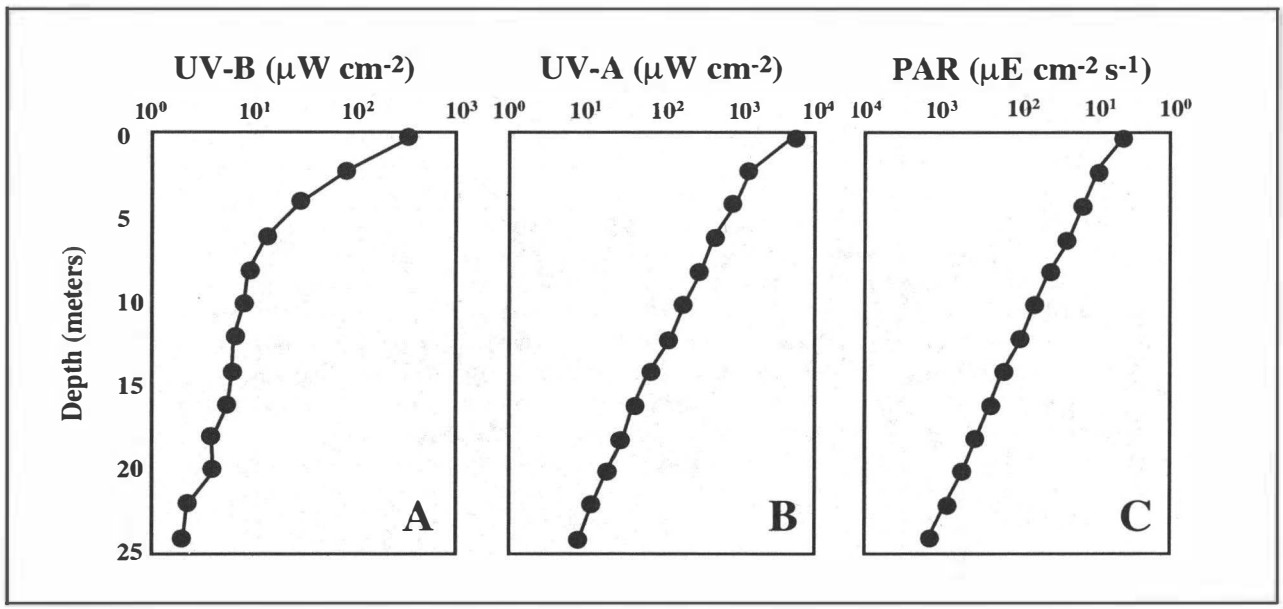


Figura 5
Perfiles de irradiancia bajo el agua para cada banda del espectro.

1.3 Profundidad de la "zona eufótica": Z_{eu} = 20 m [cuando $I(Z_{eu})/ I(0)$= 1%]

1.4 Dosis de radiación solar: si bien esas medidas dependen fuertemente de las condiciones climáticas, se puede afirmar que las dosis diarias variaron, para la UV-B, entre 30 y 75 $Kjm^{-2}y$, para la UV-A, entre 500 y 1300 Kjm^{-2}. En cuanto a la irradiancia media diaria en el mes de observaciones (septiembre) se tienen valores del orden de 3 Wm^{-2} y 40 Wm^{-2}, respectivamente para UV-B y UV-A. En la Fig. 6 se presentan los valores medios diarios de la RUV, junto a la variación de la columna de ozono para octubre de 1998. Además la razón entre UVB y UVA a mediodía resulta ser 0.065 en el Lago, frente a los 0.05 del Antártica, mostrando una mayor presencia de radiación de longitud de onda corta, más efectiva para fines biológicos (*Quezada et al., 1995*).

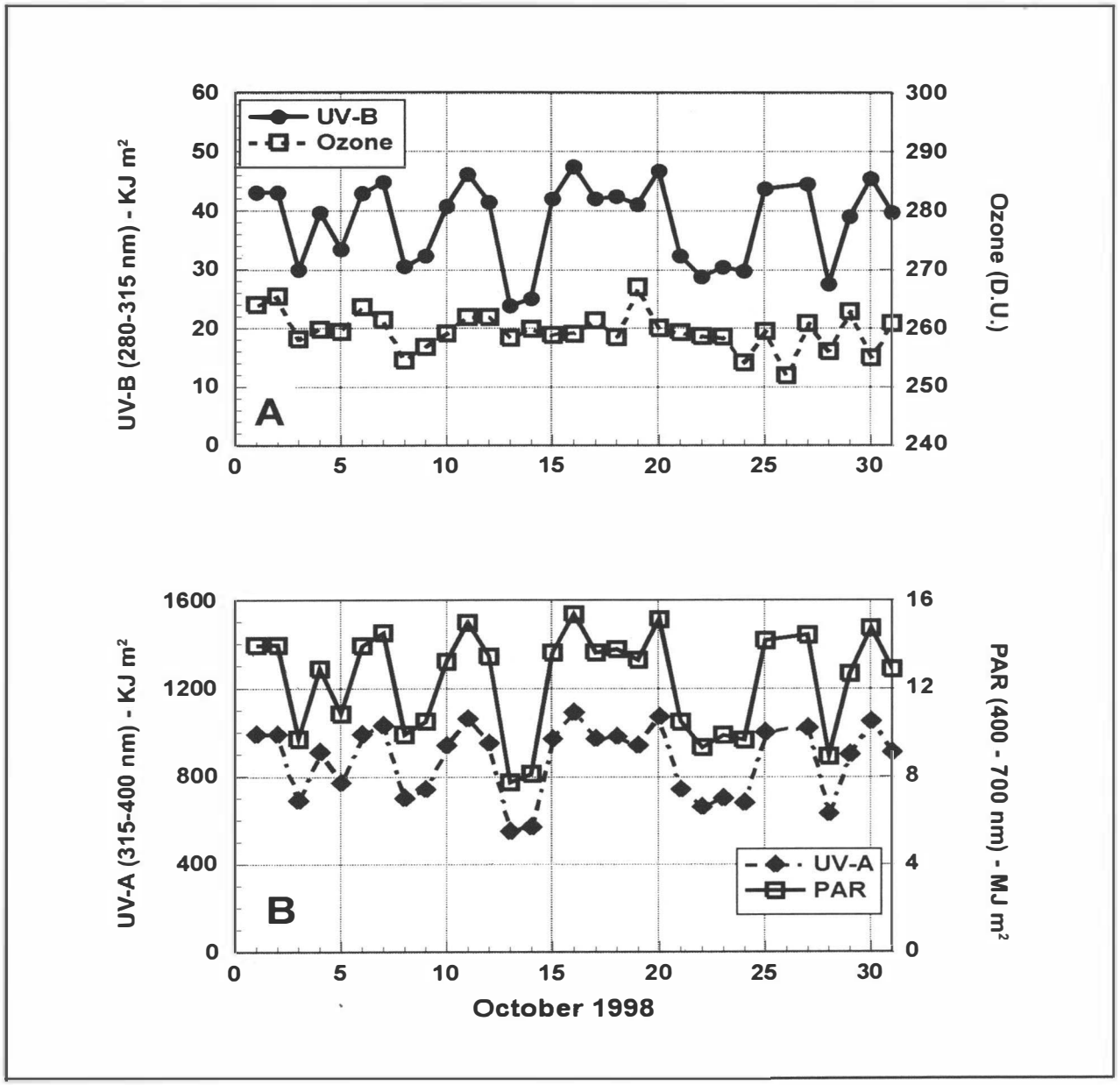


Figura 6
Serie mensual (octubre de 1998) de ozono, UV-B y UV-A según el Brewer 110 que opera en el LFA en Cota Cota.

2. Asimilación de carbono (como indicador de la eficiencia fotosintética): la máxima asimilación se dio a 8.5 m, debido a que la UVR tiene un efecto inhibidor a poca profundidad y a más profundidad la PAR es muy atenuada. (Fig. 7)

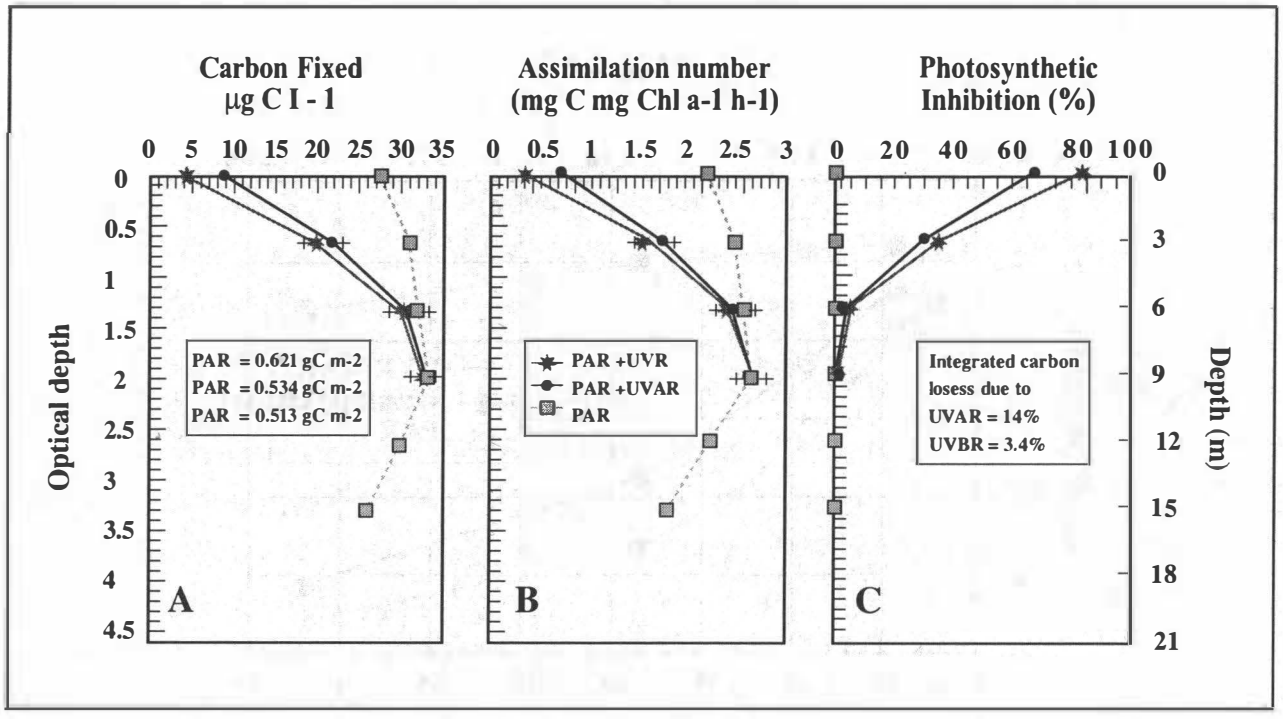


Figura 7

Datos de la fotosíntesis del fitoplancton en función de la profundidad, para diferentes tratamientos radiativos, después de 6 horas de incubación "in situ".
(De Helbling et al., Figure 4, *Eur. J. Phycol.*)

3. Inhibición de la fotosíntesis del fitoplancton: la UVR inhibe la fotosíntesis en el fitoplancton y una defensa es producir sustancias conocidas como *microsporine like aminoacids* (MAA's). Resumiendo los resultados obtenidos en el Lago sobre este tema:

   - La inhibición es proporcional a la irradiancia,: es mayor en superficie y mayor a mediodía.
   - En el Lago Titicaca la inhibición llega a sentirse hasta los 6 m de profundidad (1.2 espesores ópticos).
   - La inhibición es debida principalmente a la banda UVA (Fig. 8). De hecho la sensibilidad del fitoplancton en el Lago declina para longitudes de ondas inferiores a 315 nm.
   - Existe un umbral de irradiancia para la inhibición: en el Lago ese umbral es menor (1/3)que en la Antártica, pero mayor (3 veces) que en Ártico, aunque esos valores dependen de la distribución vertical del fitoplancton, de la historia lumínica y de la especie considerada.

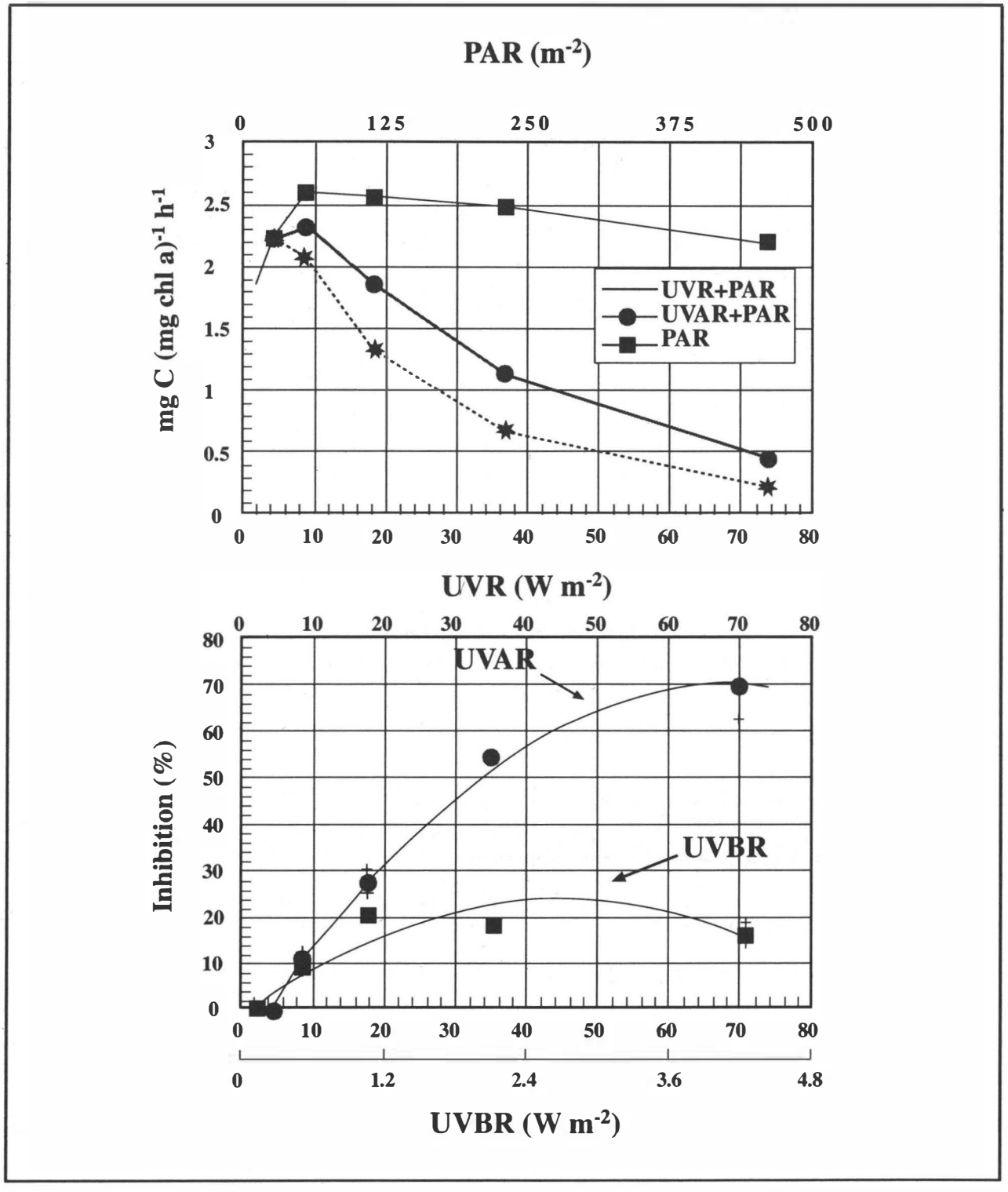


Figura 8

Comportamiento de la inhibición de la fotosíntesis en fitoplancton para RUV y UV-A: se observa que la UV-A es la banda responsablede la inhibición.

(De Helbling et al., Figure 5, *Eur. J. Phycol.*)

Todo esto demuestra que existe adaptación y aclimatación del fitoplancton en el Lago Titicaca a la UVB. En efecto la banda responsable de la inhibición es prevalentemente la UV-A, tanto en el Lago Titicaca como en la Antártica (*Cullen et al., 1992*).

4. Presencia de compuestos que absorben la RUV (Fig. 9):
   - En fitoplancton: pequeños picos de absorbancia entre 310-330 nm.
   - En zooplancton: se nota un pico agudo de absorbancia a 310 nm.

   Parece entonces lógico suponer que la protección al fitoplancton ante la UVB viene vía otros mecanismos (¿genéticos?) diferentes de los MAA's que suelen absorber UVB, mientras la concentración elevada de esos compuestos en el zooplancton hace prever su transferencia a organismos superiores de la cadena trófica vía bioacumulación. De hecho estas interrogantes motivaron la segunda campaña.

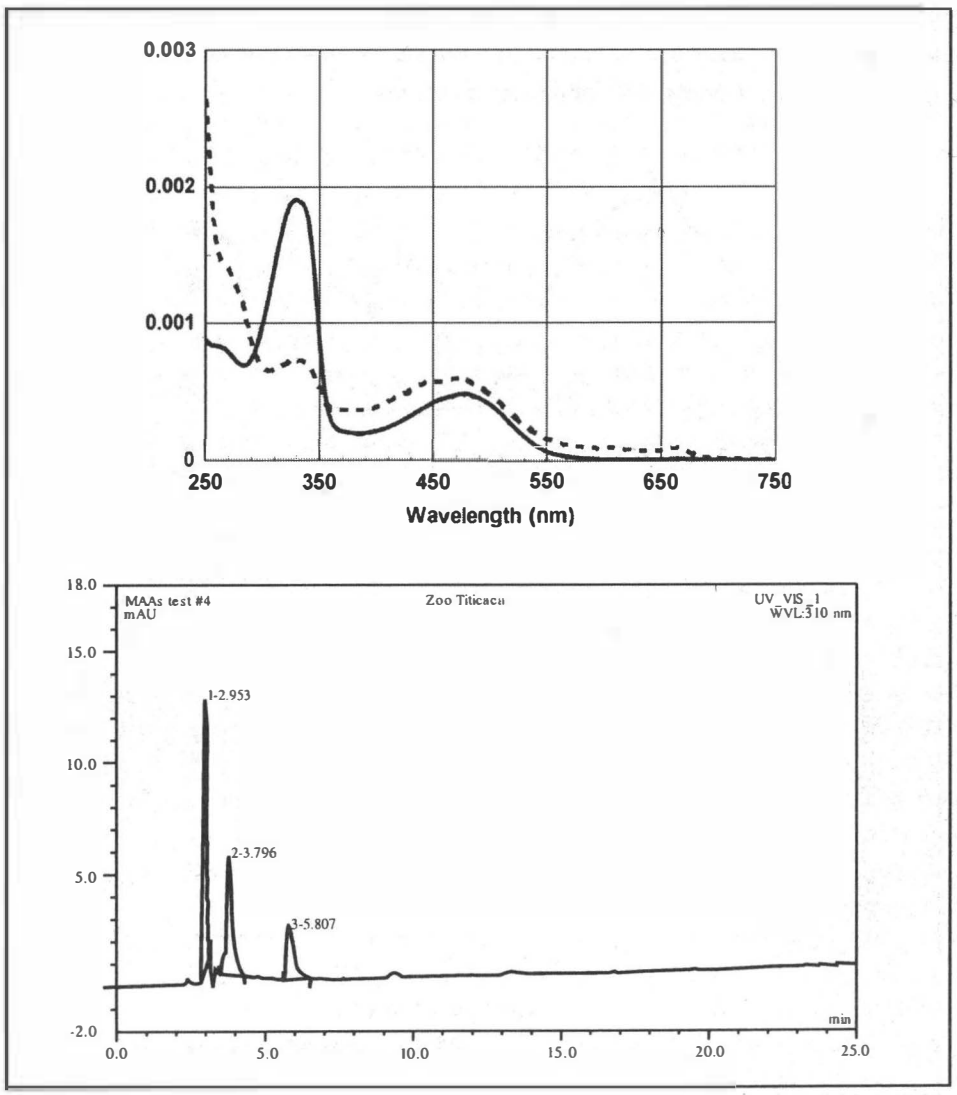


Figura 9

Espesor Optico (O.D.) espectral para muestras de fitoplancton recolectadas en superficie.
(De Helbling et al., Fig.3 *Aquat. Microb. Ecol.*)

5. Composición florística: las especies más abundantes de fitoplancton halladas fueron: *Fragilaria Lingbye* (diatomeas); *Anabaena Bory de St. Vincent* (cianofitas); *closterium Nitzsch; Pediastrum Meyen* y *Spirogyra Link (chlorofite).* En cuanto al zooplancton, éste estuvo representado por Rotiferas, especialmente *Asplachna Gosse* y *Keratella Bory de St. Vincent.*

6. En cuanto al daño al ADN y a los relativos mecanismos de reparación:
   - Se ha hallado una significativa formación de CPDs (cyclobutane pyrimidine dimers).
   - La vulnerabilidad al daño es menor que en mares tropicales, a pesar de la mayor cantidad de UVB en el Lago.
   - La diferencia no se debe a una mayor capacidad de reparar el daño al ADN. De hecho la cantidad de CPDs se mantiene inalterada durante la noche (Fig. 10).
   - Es posible que un factor dominante en el proceso sea el tamaño de las células de fitoplancton en el Lago, ya que en promedio son un poco más grandes que sus equivalentes de los mares tropicales.

   Por tanto es posible concluir que el fitoplancton del Lago puede resistir dosis de UVB más elevadas que las que recibe actualmente sin daños significativos.

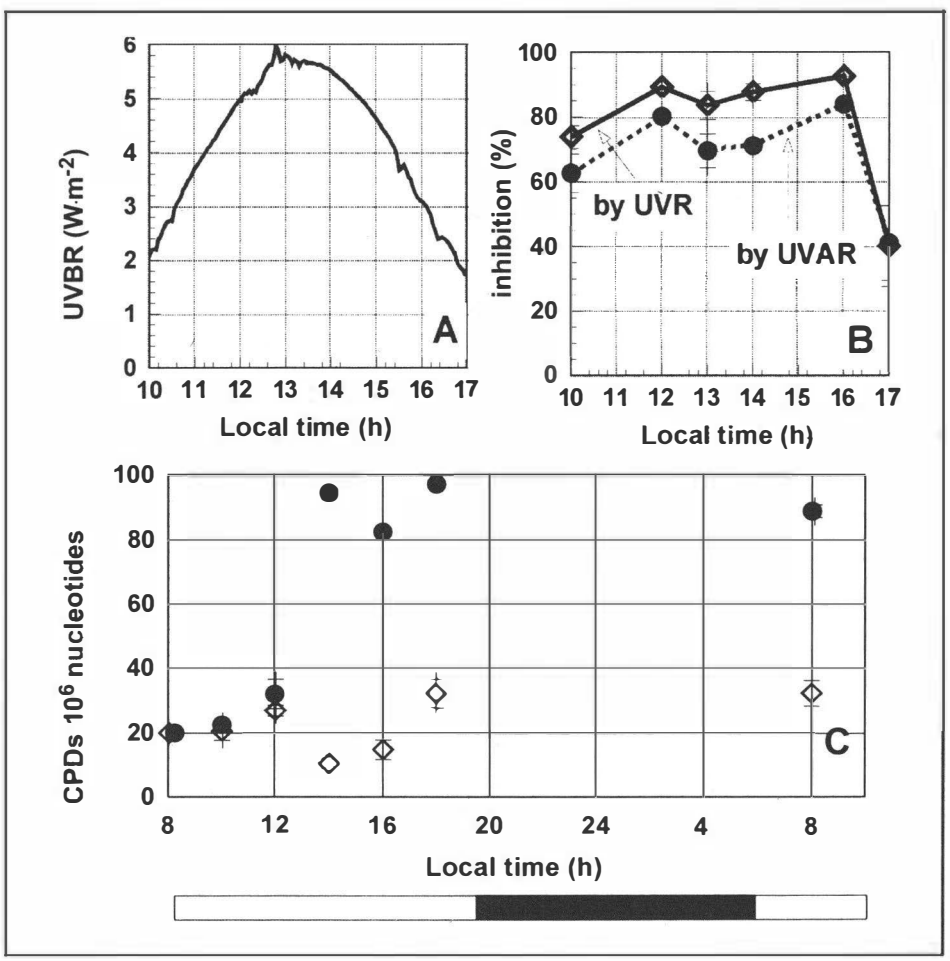


Figura 10

Evolución de los CPDs en 24 horas: nótese que no hay una significativa reparación del daño genético durante la noche (De Helbling et al., Figure 6, *Eur. J. Phycol.*)

7. El contenido de MAAs en el zooplancton. Se estudió la variedad más común de la especie copépodos "*Boeckella titicacae* (Harding)" con el fin de establecer la importancia de los compuestos que absorben UV en los mecanismos de defensa ante los elevados niveles de UVR. El resultado del estudio muestra una relación directa entre concentración de MAAs e intensidad de la radiación UVB. Este hecho, unido a la existencia de un umbral de las dosis de RUV que producen mortalidad (del orden de 300 Kjm^{-2}), muestra claramente que esa especie ha encontrado evolucionariamente su defensa a la UVB en la bioacumulación de MAAs a través de la dieta, de acuerdo a las condiciones de irradiancia, más que en otros mecanismos conocidos, como el desplazamiento vertical o la fotoreparación del daño.

CONCLUSIONES

De los estudios llevados a cabo en las tres campañas se puede concluir que el fitoplancton del Lago Titicaca posee una excelente aclimatación a la radiación UV-B, sin necesidad de recurrir a la formación de compuestos fotoprotectores; que el daño al ADN por RUV es mínimo y que no intervienen significativamente mecanismos de reparación. Por tanto los mecanismos de defensa del fitoplancton deben buscarse en otros factores, como el tamaño de las células, en promedio mayores que sus equivalentes de mares tropicales.

En cuanto al zooplancton, se ha hallado que, por lo menos para la especie "*Boeckella titicacae*" la protección fotobiológica se la realiza mediante compuestos que absorben la RUV como los MAAs, los cuales son bioacumulados mediante la dieta y son transmitidos a niveles más elevados de la cadena alimenticia.

En todo caso es posible concluir que el plancton del Lago Titicaca puede resistir un estrés por RUV aún mayor que el actual, como el debido a episodios eventuales de cambios climáticos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Walter Helbing y Virginia Villafañe, autores principales de los artículos que han servido de base al presente trabajo, por revisar y corregir el manuscrito. Se renueva también el agradecimiento al Centro de Investigaciones y Desarrollo Piscícola del Altiplano (CIDPA) por su apoyo invalorable a las campañas y al Fondo Argentino de Cooperación Horizontal (FO-AR) por financiar parcialmente las investigaciones realizadas.

BIBLIOGRAFÍA

Cullen J.J., Neale P.J. & Lesser M.P. (1992), Biological Weighting Function for the inhibition of phytoplankton phtosynthesis by ultraviolet radiation", *Science*, 258, 646-650.

Helbling E.W., Villafañe V.E., Buma A. G. J., Andrade M. & Zaratti F. (2001a), DNA damage and photosynthetic inhibition induced bay solar UVR in tropical phytoplankton, *European Journal of Phycology* (in press).

Helbling E.W., Zaratti F. , Salas L.O., Palenque E., Menchi C.F. & Villafañe V.E. (2001b), Mycosporine LikeAminoacids In The Copepod *Boeckella Titicacae* (Harding) Protect Organisms Against High Levels Of Solar UVR, *Aquatic Microbial Ecology* (submited).

Maldonado S.M. (1996), Control de claidad de agua en: Lagunas Minas Kkota, Lago Menor, Lagunas de altura, sistema de jaulas y agua residual, *Informe Técnico III (CIPDA).*

Quezada A., Mouget J.L. & Vincent W.F. (1995), Growth of Antartic cyanobacteria under ultraviolet radiation. UVA counteracts UVB inhibition, *Journal of Phycology*, 31, 242-248.

Villafañe V.E., Andrade M., Lairana V., Zaratti F., & Helbling E.W. Inhibition of phytoplankton photosyntesis by solar ultraviolet radiation: studies in Lake Titicaca, Bolivia (1999). *Freshwater Biology*, 42, 215-224.

Climatología del Sistema T.D.P.S.

Por: *Carlos Herbas C.*[1]

RESUMEN

En este reporte, se presentan las características climáticas del sistema formado por las cuencas hidrográficas del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa, lo que se denomina Sistema T.D.P.S. Para este fin se comienza con un análisis general de la circulación atmosférica zonal, para luego continuar con la descripción de las variables climáticas, precipitación, temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial, para terminar con una clasificación climática del sistema, según la metodología propuesta por Thornthwaite.

SUMMARY

In this report, we present the climatic characteristics of the system, formed by the hydrographic basins of Titicaca Lake, Desaguadero River, Poopó Lake and Coipasa Salar, which are called T.D.P.S. System. In this sense, the present paper begins with a very general analysis of the atmospheric circulation, then it continue with the descriptive result of the different climatic variables: precipitation, temperature, relative humidity, to finish with a climatic classification of the system, according to the Thonrthwaite methodology.

INTRODUCCION

El conocimiento del clima de la región resulta de importancia para su planificación adecuada y uso racional de sus recursos naturales, ya que la vegetación, los suelos y el régimen hidrológico están condicionados de manera significativa por sus factores climáticos. Es en este sentido, que el objetivo del presente artículo, es el de presentar los resultados de las características climáticas del Sistema TDPS.

1 Instituto de Hidráulica e Hidrología – UMSA. E-mail: ihh@mail.megalink.com Telf.: (591 2) 2795724 La Paz - Bolivia.

En lo relativo al propio estudio, esta presentación es una síntesis del Estudio de Climatología que forma partedel *Plan Director Global Binacional de protección-prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos delLago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema TDPS) que fue* realizado por INTECSA-AIC-CNR.

Ámbito territorial

El área de estudio está representada por el sistema formado por las cuencas hidrográficas del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa, lo que se ha convenido denominar Sistema T.D.P.S.

El sistema T.D.P.S. es una cuenca endorreica, cuya área se encuentra ubicada entre Perú, Bolivia y Chile, y está delimitada geográficamente (en forma aproximada) entre las coordenadas 14° 03', y 20° 00' de latitud Sur y entre 66° 21' y 71° 07' de longitud Oeste.

La superficie del Sistema T.D.P.S. es de 143.900 km^2, y comprende la parte altiplánica del Departamento de Puno (en el Perú) y de los Departamentos de La Paz y Oruro (en Bolivia).

La densidad de la población rural en la parte norte de la región, es relativamente alta, sobre todo en las orillas del Lago Titicaca (llegando hasta 190 hab/km^2) así como también en las cercanías del curso de agua del eje norte-sur, constituido por el río Desaguadero.

Ámbito climático general

El clima de la región está determinado por una combinación de factores, entre los más importantes se tiene a los siguientes:

- Por la circulación de las masas de aire por encima de la región, la cual determina en gran medida la distribución espacial y temporal de la precipitación.

- La inclinación de la superficie de la tierra en relación al sol, determina el ángulo de incidencia de los rayos solares. En el presente caso, la zona de estudio se extiende entre los 14 y 20° de latitud sur, lo que hace que sus condiciones climáticas sean tropicales.

- Por la localización de las estaciones de observación, es decir en función de las condiciones geográficas afines: altitud, topografía y orientación, cercanías al lago, etc. La región tiene como principal característica su elevada altitud, en general superior a los 3.800m., lo que hace que su clima sea frío, inclusive durante el verano. Respecto a la orientación del relieve (altas cordilleras longitudinales) a lo largo del altiplano hace que estas actúen como barreras para los vientos húmedos provenientes del oriente. No obstante al interior del altiplano, la presencia del lago Titicaca constituye una importante fuente de humedad y un elemento moderador del clima.

CIRCULACIÓN DE LAS MASAS DE AIRE SOBRE AMÉRICA DEL SUR

Normalmente el continente suramericano, está bajo la influencia de tres sistemas semipermanentes de alta presión y uno de baja presión. Los sistemas de alta presión son los anticiclones del Atlántico, Pacífico Sur y del Caribe, los cuales bordean aproximadamente el continente. El sistema de baja presión corresponde a la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la cual se mueve entre los mencionados núcleos de alta presión. La ZCIT se desplaza durante el año, colocándose más o menos en el lugar que recibe más radiación solar.

La diferencia de presión entre los sistemas de alta presión y la ZCIT, produce un movimiento superficial de aire desde los trópicos hacia el Ecuador. Estos son desviados hacia la izquierda por el movimiento de rotación de la tierra, y da origen a los vientos alisios del sureste.

Durante los meses de verano (Fig. 1), los anticiclones oceánicos canalizan la circulación de masas de aire al centro del continente, mientras que el extremo sur es influenciado por la zona de baja presión circumpolar. Paralelamente, debido al fuerte calentamiento terrestre, se produce una depresión térmica, que obliga a la ZCIT a descender aproximadamente hasta el paralelo 15°. Esta situación provoca fuertes movimientos convectivos y, añadiendo la fuerte humedad producida por la evaporación del lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes cúmulus y cumulonimbos sobre el sistema. Como resultado llueve en toda la región.

Durante el invierno (Fig. 2), la ZCIT se desplaza hacia el norte y los anticiclones penetran más en el continente, dando lugar a la estación seca en la mayor parte del Perú y Bolivia.

El anterior es el sistema "normal" de circulación. No obstante, puede sufrir oscilaciones o variaciones más o menos marcadas, de las cuales la más importante es causada por la corriente marina conocida bajo el nombre "El Niño".

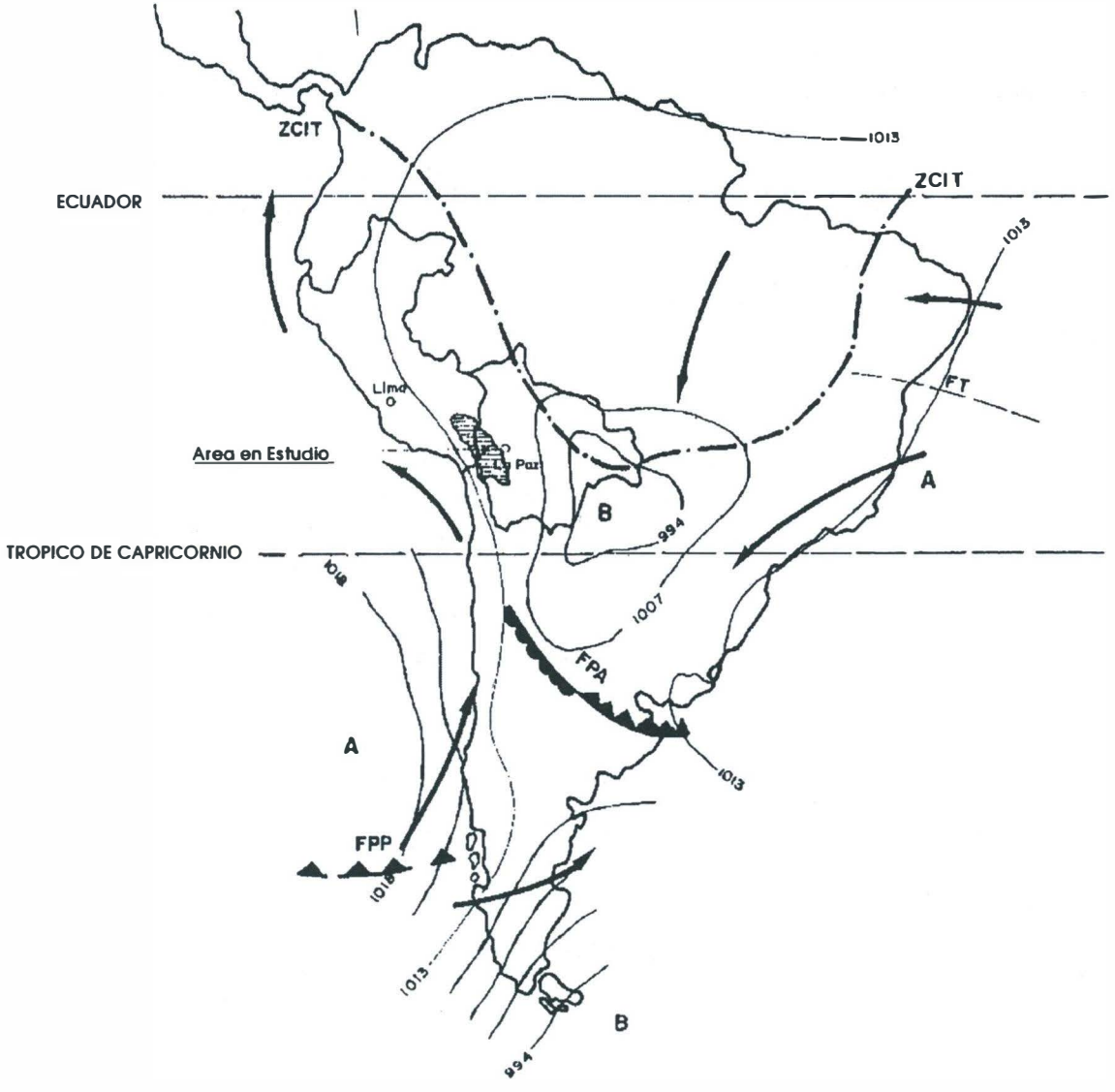
COMPORTAMIENTO METEOROLÓGICO

Precipitación

Distribución espacial

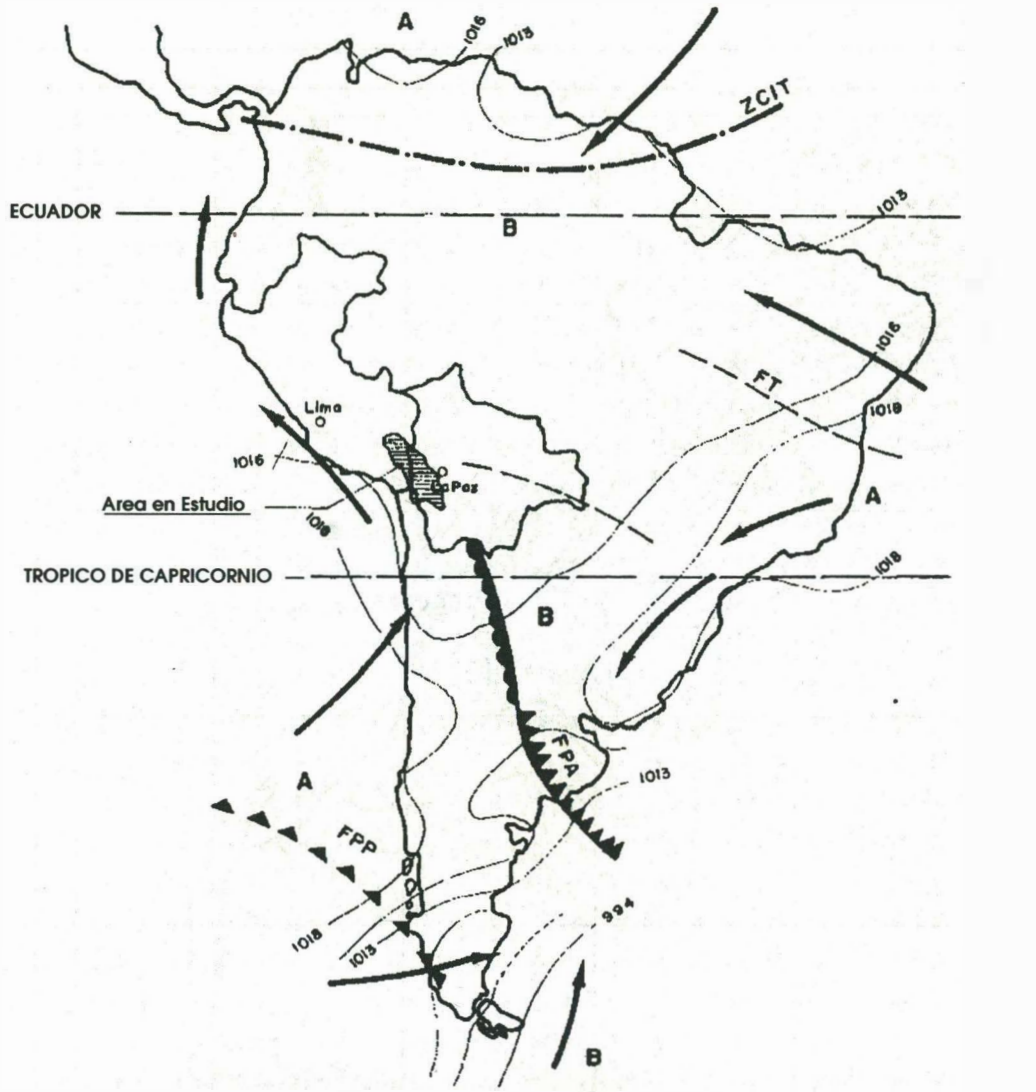
La figura 3 muestra las isolineas de la precipitación media anual, la cual se realizó tomando en cuenta 114 estaciones meteorológicas, 52 estaciones en territorio peruano y 62 estaciones en territorio boliviano, para el período 1960-1990. Geográficamente la distribución de la precipitación dentro del sistema TDPS está afectada por factores como la altitud, relieve, latitud, longitud y proximidad al lago Titicaca, influyendo generalmente en forma simultánea.

La figura muestra que, los valores de precipitación en el sistema tiene un patrón decreciente de norte a sur. En general, varía de 1400 a 200 mm. Los valores más altos se registran sobre el lago Titicaca, debido a la



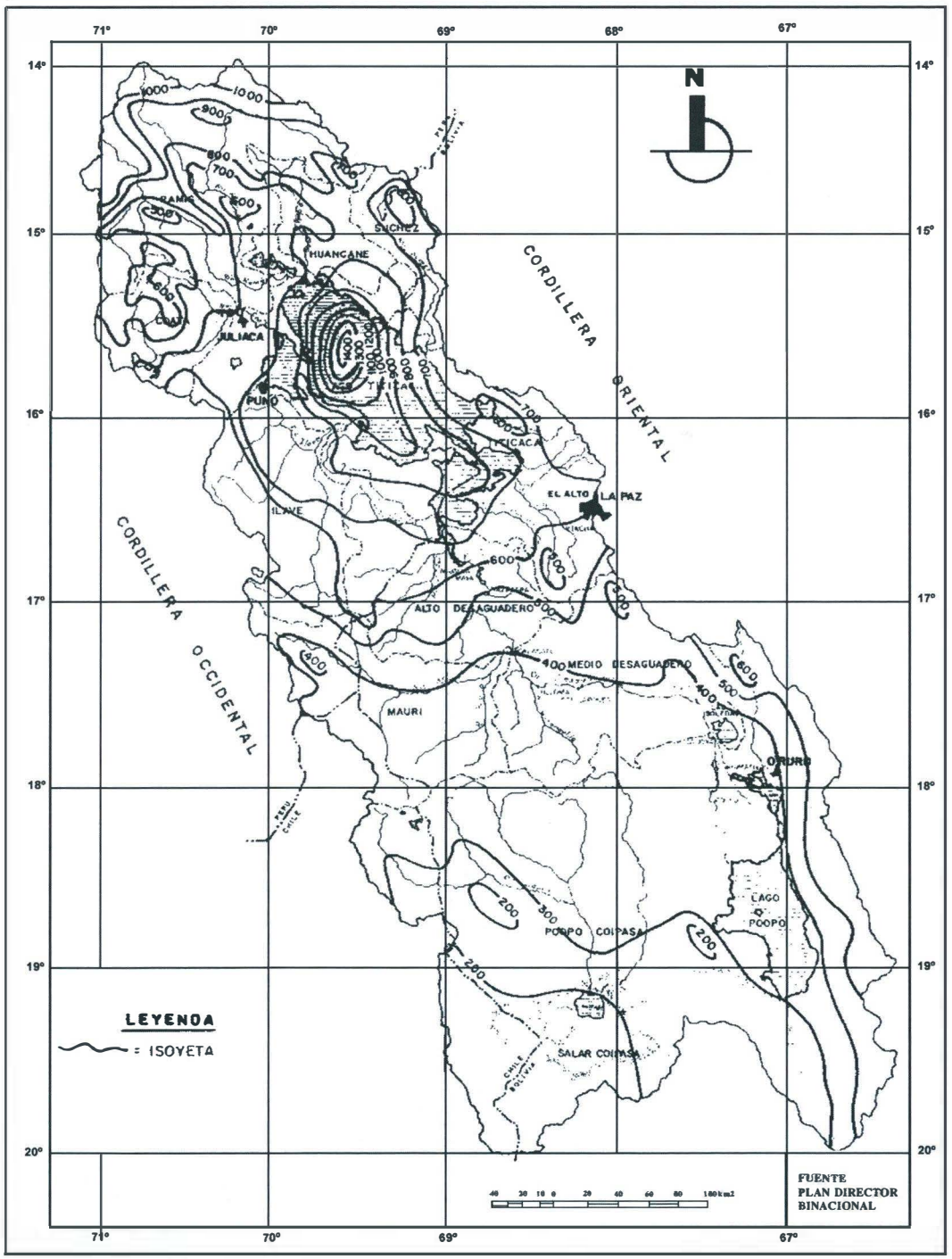
Fuente: PLAN DIRECTOR BINACIONAL.

Figura 1
Circulación general de las masas de aire en América del Sur.
(Situación atmosférica en verano)



Fuente: PLAN DIRECTOR BINACIONAL.

Figura 2
Circulación general de las masas de aire en América del Sur.
(Situación atmosférica en invierno)



Fuente: PLAN DIRECTOR BINACIONAL.

Figura 3
Precipitación anual (mm).

influencia propia de la gran masa de agua lacustre sobre la humedad atmosférica, con valores que varían de 800 a 1400 mm. En el noreste del sistema (cabeceras de los ríos Ramis y Coata), se registran valores entre 800 a 1000 mm. (En la zona al este del lago, la cordillera oriental presenta, desde el nevado del Illampu hasta el nevado del Sunchulli en el extremo del nudo de Apolobamba, una pronunciada disminución en su altura que permite un mayor pasaje de masas tropicales portadoras de más humedad hacia el noroeste cuando su desplazamiento es desde el este o sureste). Conforme nos alejamos del Lago Titicaca, los volúmenes de precipitación van disminuyendo progresivamente hasta alcanzar 400 mm en el sector del río Mauri. Al sur de dicho río la precipitación continua disminuyendo hasta alcanzar valores próximos a los 200 mm en la zona del Salar de Coipasa.

Régimen de precipitación

La figura 4 muestra los hietogramas de precipitación de 6 estaciones representativas del sistema. Fácil es apreciar un régimen típicamente monomodal, ya que se presentan dos períodos, uno más lluvioso localizado en el verano, y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la ZCIT ocasiona un movimiento de aire muy seco).

En toda la región y tal como se ha dicho, la concentración de las lluvias se produce de diciembre a marzo (máximo en enero) y el período seco de mayo a agosto (mínimo en julio), siendo los meses restantes de transición. Asi, los cuatro meses lluviosos llegan a concentrar en promedio el 73%, en cambio, el cuatrimestre más seco representa en promedio tan solo el 4% de la lluvia total.

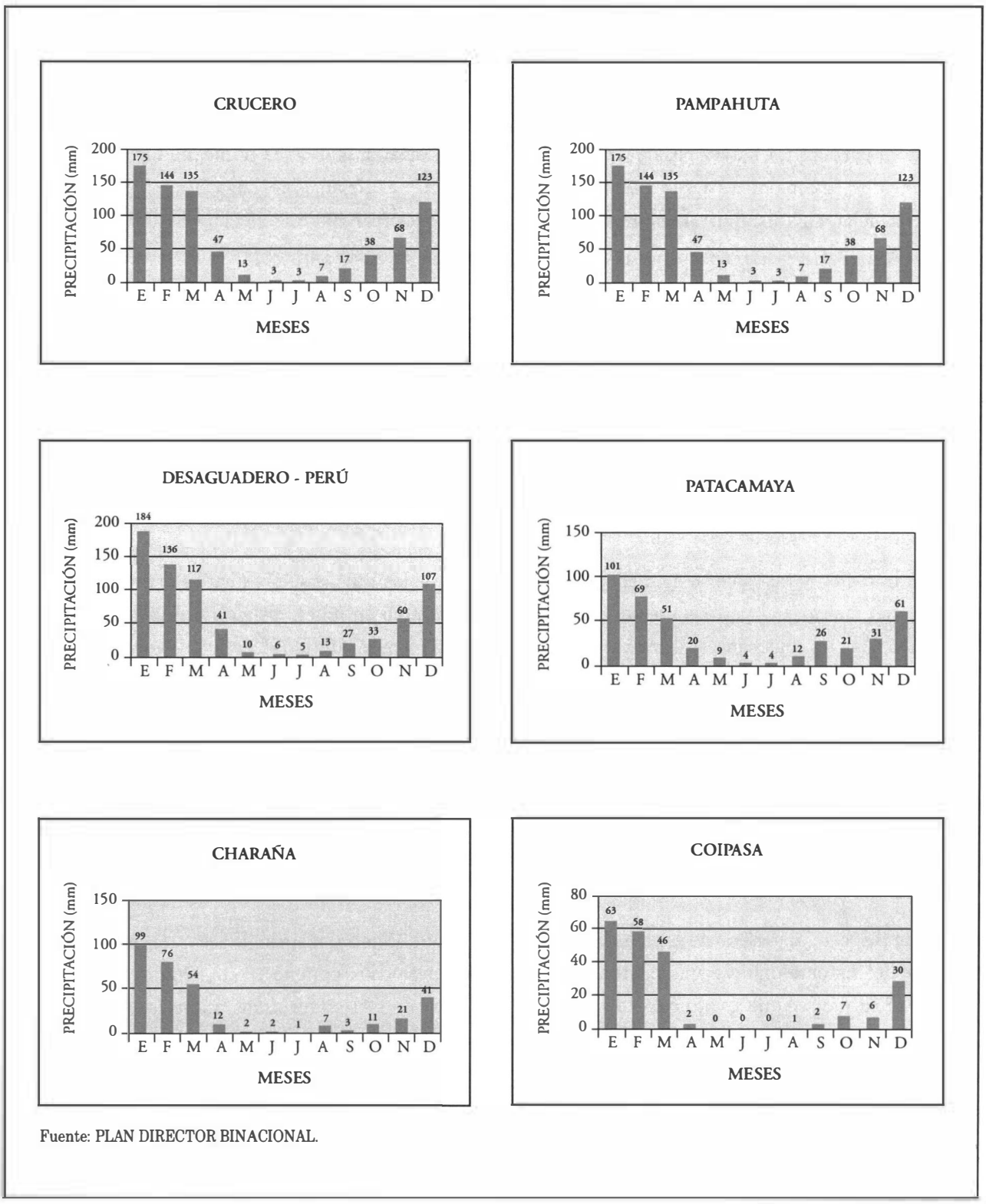
Años Húmedos y Secos

Los años más lluviosos en el período 1960-1990 fueron 1984, 1985 y 1986, ocasionando consecuentemente el aumento del nivel del espejo de agua del Lago Titicaca y por ende se produjeron inundaciones que afectaron las poblaciones ribereñas.

En lo que respecta al período de estiaje, el año 1983 se presenta como el menos lluvioso, registrándose en el conjunto del sistema una precipitación inferior al 50% del promedio (período 1960-1990), la cual dio como consecuencia una sequía que afectó toda la actividad agrícola. Al analizar los antecedentes históricos disponibles, el año 1983 resultó ser uno de los más críticos, provocando pérdidas económicas muy fuertes.

Temperatura del aire

Las principales variables que determinan el régimen térmico son: la longitud (más frío al oeste que al este por la influencia de las masas de aire húmedo de la Amazonia); la altitud (la temperatura disminuye con la altitud), y el efecto termoregulador del lago Titicaca (la influencia de la extensa masa de agua se hace sentir por una reducción de las amplitudes de temperaturas y, en menor medida, sobre los valores de las temperaturas medias).



Fuente: PLAN DIRECTOR BINACIONAL.

Figura 4
Régimen de distribución mensual de las precipitaciones.
(Período: 1960 - 1990)

Distribución espacial

Debido a las variables ya mencionadas, como ser, diferencias de latitud, longitud, altitud, exposición a los vientos y al sol e influencia del lago, existen fuertes variaciones en la distribución de la temperatura del aire en la región Las isotermas medias anuales (Fig. 5), indican que la región más fría es el sector suroeste (zona de Sajama) con valores que alcanzan a -8 °C . Siguen en orden de regiones frías, los sectores oeste y noroeste (cabeceras de los ríos Ilave, Coata y Ramis). En las zonas de la subcuenca del Alto Desaguadero y parte meridional de la cuenca, los valores de temperatura varían entre 6 y 8°c, abarcando prácticamente cerca del 50% del área total de la cuenca.

Por el contrario las regiones más cálidas del sistema se encuentran en el sector este (zona de Eucaliptus - Chuquiña) y alrededor del lago Titicaca, con temperaturas promedio en torno a 9°C, lo que muestra en este último caso la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal. Se aprecia, igualmente la mayor influencia del Lago en el sector peruano respecto al boliviano, esto probablemente debido a la influencia del recorrido del viento prevaleciente por encima del Lago (el Lago modera las temperaturas del aire, por su capacidad de añadir o disipar grandes masas de calor del aire que los cruza), en la figura 5 se destaca la prolongación de esta influencia a lo largo del río Azángaro hasta el sector de Progreso.

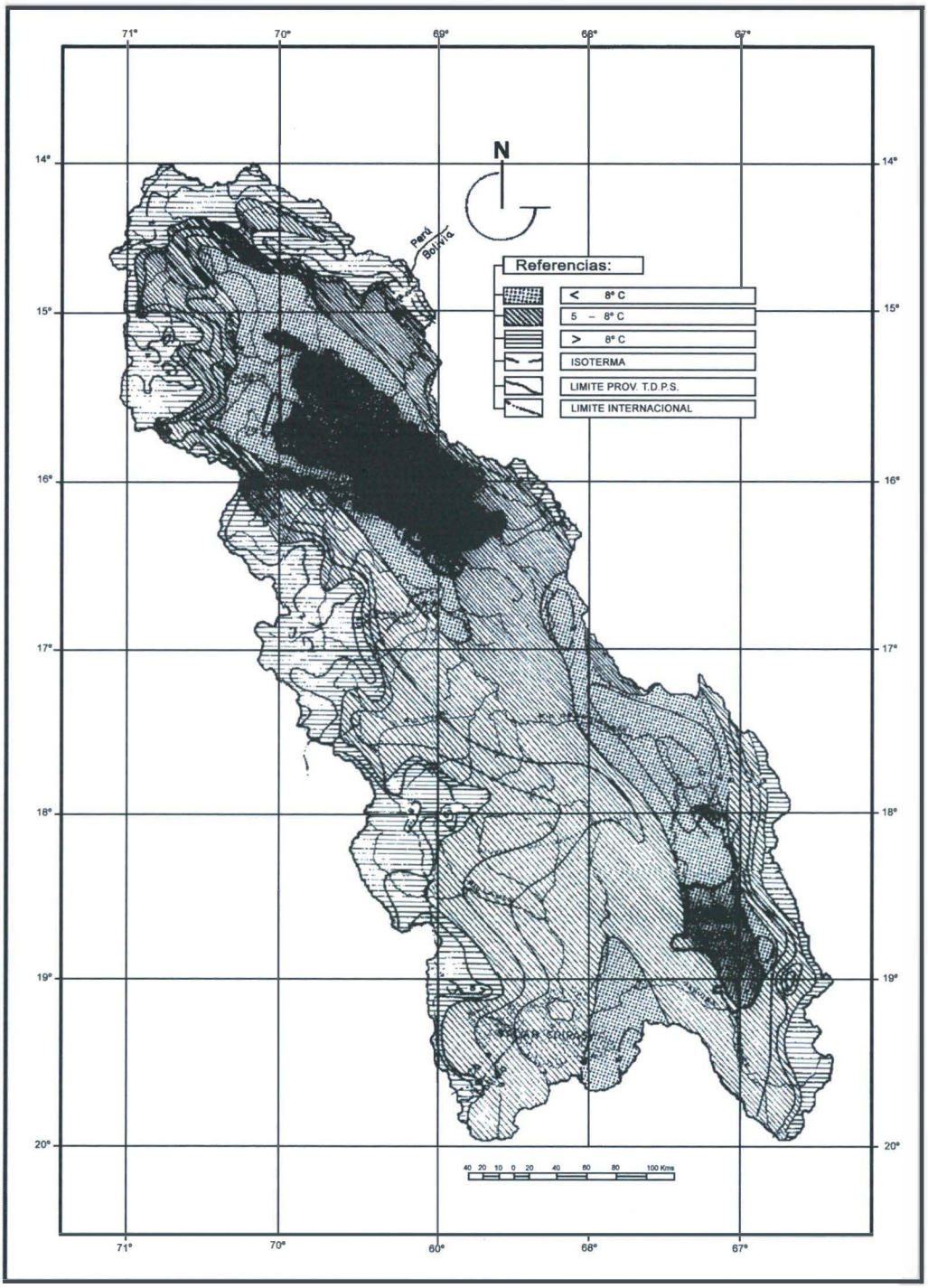
Oscilación Térmica

En el párrafo anterior se analizó la distribución de la temperatura media anual en la cuenca, pero en muchos casos, esta temperatura no es tan significativa y puede inducir a error al comparar dos regiones, especialmente en la clasificación de climas. En consecuencia, parece razonable utilizar además los valores de oscilación de temperatura, que suministran información adicional. Sirvan como ejemplo los casos de Copacabana (cerca del Lago) y Patacamaya (sector SE); en ambas localidades la temperatura media es igual a 9,4 °C, pero existen diferencias sustanciales en su régimen climático que se reflejan en sus respectivas oscilaciones térmicas, ya que Copacabana tiene una oscilación anual de solo 9,8 °C, mientras que la de Patacamaya es de 18,1 °C . Esto indica que en esta última localidad se presentan temperaturas máximas mayores y mínimas menores, por lo que los riesgos de helada para esta zona son superiores a los de Copacabana.

La oscilación térmica media anual en el sistema varía entre 17 y 19 °C en el norte y entre 19 y 21 °C en el sur, y en las cercanías del lago Titicaca, y como era de esperar, la oscilación es menor, alrededor de 10 °C y dentro del mismo lago la oscilación térmica es aun menor, debido al efecto termorregulador de ese gran volumen de agua.

Días con heladas

Es ampliamente conocida, que la sequía junto con la ocurrencia de temperaturas de congelación (heladas), especialmente si se prolongan en el tiempo, constituyen los principales factores limitativos de la agricultura en el sistema.



Fuente: PLAN DIRECTOR BINACIONAL.

Figura 5
Temperatura media.

La helada es un fenómeno físico-meteorológico que consiste en el descenso de la temperatura, hasta producirse un enfriamiento atmosférico y congelación del agua y la humedad. Este fenómeno en la agricultura provoca una destrucción de los tejidos de las plantas en las diferentes fases de desarrollo (germinación, floración, fructificación y maduración).

Existen varias posibilidades para una descripción de las heladas en la región, se escogió la que es compatible con los registros disponibles (número de días con temperaturas iguales o inferiores a 0°C), es decir que se desarrolló un análisis de la frecuencia de días con helada y se trazó isolíneas de igual número de días de heladas en el año (Fig. 6), sin pretender que este trazo sea definitivo, porque sabemos que existen microclimas que debido a otros factores y falta de datos, pueden no estar dentro de los límites señalados.

La mayoría de los estudios agroclimáticos consideran al "día de helada" como día en que la temperatura mínima al abrigo meteorológico, es igual o inferior a 0 °C, teniendo en cuenta que este dato es relativo pero muy útil para fines prácticos.

La distribución espacial de días de heladas se encuentran en la figura 6, donde se puede observar que en las zonas cercanas al lago, por su efecto termorregulador, los días con heladas son inferiores a 100.

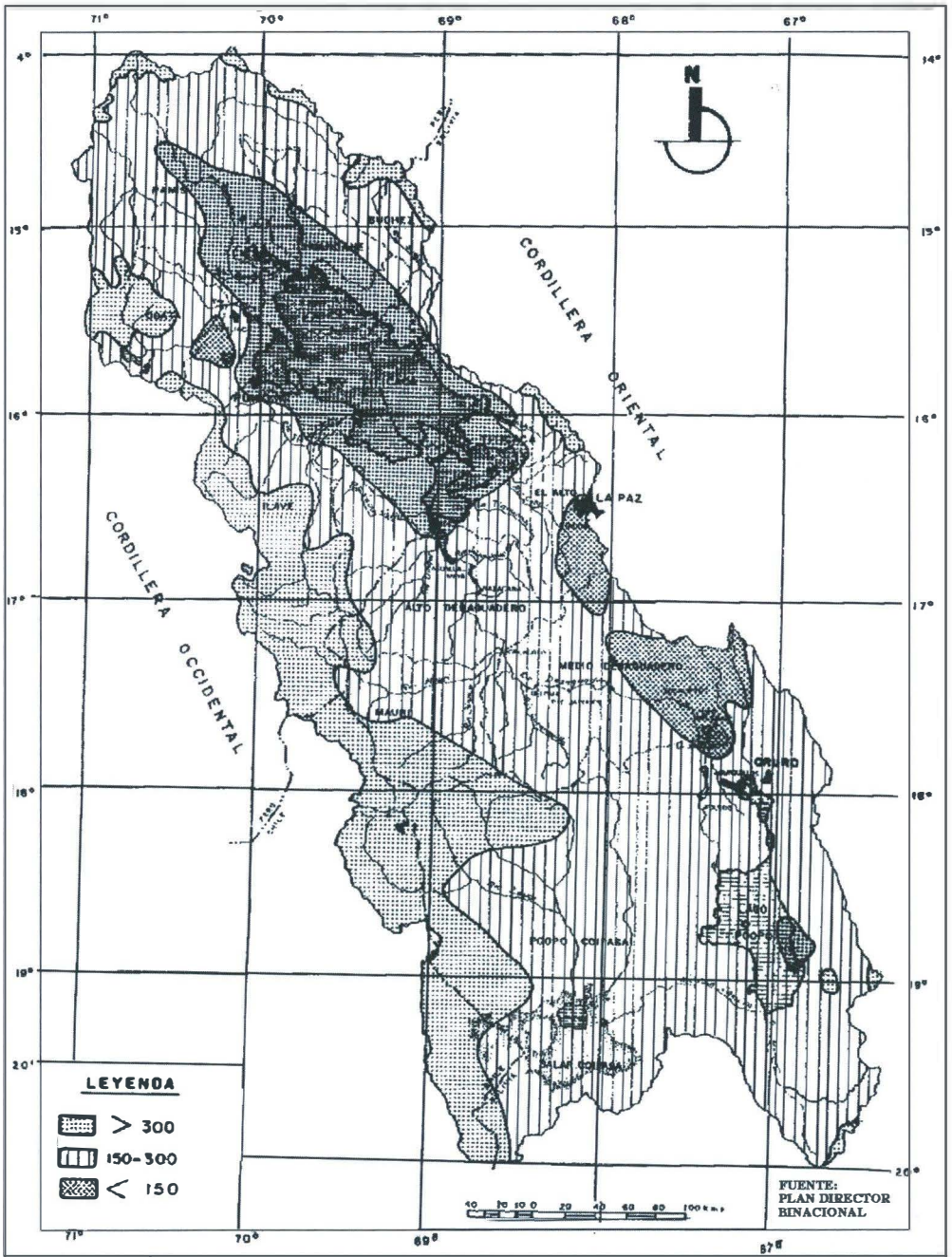
En la faja ribereña del río Azángaro y en sector Sud Este (entre Patacamaya y Eucaliptus), los días medios con heladas se incrementa en relación al lago (isolínea de 150 días). Esta isolínea es un índice agroclimático de gran importancia, debido a que aproximadamente marca el límite por encima del cual la agricultura se ve afectada por las primeras y últimas heladas.

Con el alejamiento del lago y/o aumento de la altitud, el incremento de días de helada es notable, principalmente en dirección suroeste. La ocurrencia de heladas en estas zonas prácticamente dura todo el año (frecuencia por encima de 300 días), por lo tanto las practicas agrícolas casi son imposibles excepto en condiciones muy protegidas.

Humedad relativa

En el sistema, se dispone de 47 estaciones que registran esta variable meteorológica. De la información disponible se observa que la humedad ambiental es relativamente elevada en las cercanías al lago Titicaca, debido a la extensa superficie de agua, y luego disminuye rápidamente hacia al sur hasta alcanzar valores bajos característicos de climas áridos.

El valor promedio anual de la humedad relativa para el conjunto de las estaciones es de 54%, los datos muestran que los meses de junio a octubre la humedad del aire es por lo general muy baja (menos o igual a 50 %), mientras que en la época de lluvias (diciembre a marzo) puede alcanzar hasta 70%.



Fuente: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL SISTEMA.

Figura 6
Días con heladas.

Evapotranspiración potencial (ETP)

Se sabe que la ETP depende de la radiación neta, temperatura del aire, déficit de saturación y velocidad del viento, como estos factores experimentan una variación espacial menor que el de la lluvia, la variación de la ETP, también será menor.

La evapotranspiración (ETP) constituye una de las componentes principales del ciclo hidrológico, pero a la escala de la cuenca, ella es frecuentemente mal conocida.

Aunque existen diversos procedimientos para medir y calcular la ETP, en el presente estudio se hará referencia a los resultados obtenidos mediante la formula de Penman.

Estos resultados indican que la ETP varía en el sistema entre 1000 y 1800 mm. y como era de esperarse estos valores aumentan conforme aumenta la aridez de la región, es decir con un gradiente norte a sur y de oeste a este.

La evolución de la ETP durante el año es similar en la región, el máximo se presenta en verano (diciembre-marzo), y el mínimo en invierno (mayo-agosto), siguiendo principalmente la evolución de la radiación neta.

La amplitud estacional es reducida, ya que existe un equilibrio entre el período cálido (mayor duración de insolación, pero a la vez época lluviosa), y el período frío (menor duración de insolación, pero cielos descubiertos). Las diferencias no exceden de 20 mm/mes, o sea un máximo de 15 % .

CLASIFICACION CLIMATICA

La clasificación climática en el sistema, se realizó según la metodología propuesta por Thornthwaite, se considera este método útil e interesante desde el punto de vista de la favorabilidad del clima para la vida vegetal y puede servir de base, o al menos de orientación, en la delimitación de zonas aptas para la agricultura en lo que a limitaciones climáticas se refiere. Son evidentes las restricciones impuestas por el corto número de estaciones utilizadas (56 observatorios), y en la representación cartográfica de los distintos tipos climáticos, se recurrió a interpolaciones excesivas, por lo que los límites o bordes de las zonas climáticas pueden, en algunos casos apartarse de la realidad.

Thornthwaite determina los tipos climáticos mediante fórmulas, de índices climáticos referidos al grado de beneficio o eficiencia de la precipitación y la temperatura sobre el crecimiento de la vegetación. Estos índices, se comparan luego con rangos de valores en tablas jerárquicas de precipitación y temperatura que presentan características definidas para cada una de ellas.

Para la clasificación, se han tenido en cuenta los valores medios de precipitación estimados y completados para el período 1960-1990, y los valores de temperaturas medias mensuales se han determinado a partir de las series disponibles en cada estación.

Descripción de los tipos de clima

La figura 7 muestra la distribución de los diferentes tipos climáticos que se presentan en el sistema. Así tenemos:

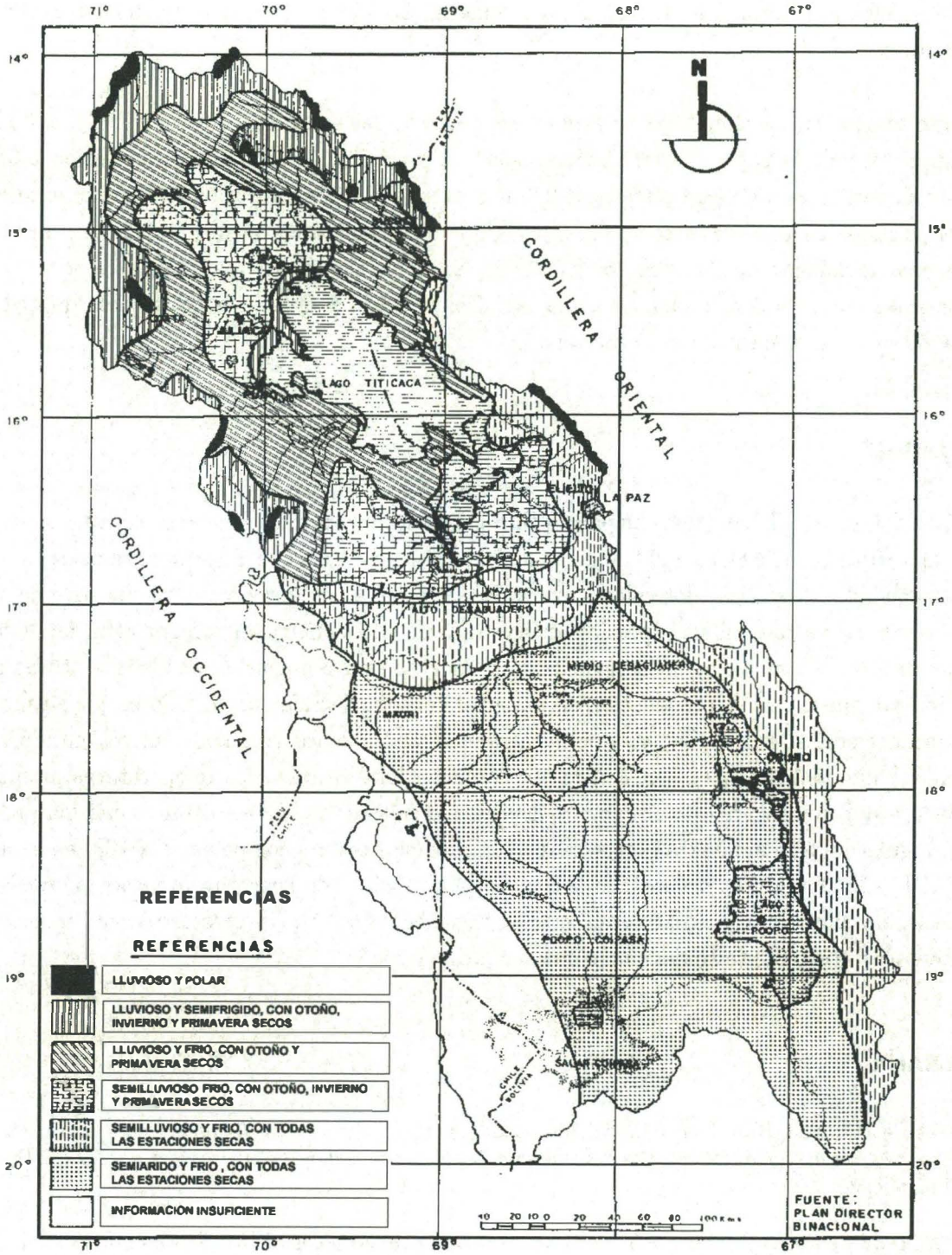
El tipo climático lluvioso y Polar (BF'), que se manifiesta a alturas mayores a los 5000 metros y corresponde a todas las áreas cubiertas con nieve y hielo durante gran parte del año. La temperatura media anual, es inferior a 0°C. La precipitación total anual, ya sea en forma líquida o sólida, está por encima de los 600 mm. Debido a estas condiciones climáticas el área es agrícolamente improductiva.

El tipo climático lluvioso y semifrígido con Otoño, Invierno y Primavera secos (B(o,i,p)D'), ocurre en las cabeceras de las cuencas del río Suchez, río Ramis y Cuenca del río Coata, a altitudes entre 4400 y los 5000 metros. La temperatura media anual, varía entre 5 y 2°C y las mínimas medias son inferiores a - 4°C. Los días de heladas son superiores a los 150 días. Si bien la precipitación tiene un carácter lluvioso, precipita entre 700 y 1000 mm, las características térmicas determinan una restricción en la utilización de la tierra con fines agrícolas.

El área circunlacustre, cuenca del río Suchez, parte media de la cuenca del río Ramis (aproximadamente hasta los 4200 mm); cuenca del río Coata y cuenca del río Ilave (también hasta los 4200 metros), quedan incluidos dentro del tipo climático lluvioso y frío, con Otoño, Invierno y Primavera Secos (B (o,i,p) C'). Su carácter lluvioso está dado por la ocurrencia de precipitaciones totales anuales entre 700 y 1000 mm. Durante los meses de abril a noviembre, la evapotranspiración potencial (ETP) supera a la precipitación, condición por la cual Otoño, Invierno y Primavera son secos. Los promedios de temperatura anual varían de 8°C en las cercanías al lago Titicaca, hasta los límites superiores, en donde se estiman valores próximos a 6°C. Las mínimas medias anuales, son superiores a 0°C y las heladas son inferiores a 150 días y sólo se presentan durante los meses de Otoño e Invierno.

El tipo climático semilluvioso y frío con Otoño, Invierno y Primavera Secos (C (o,i,p,) C') corresponde a la parte baja de la cuenca del río Ramis y gran parte de la cuenca del río Huancané, y al Sur del Lago, hasta las zonas de Pizacoma en el Perú, Irpa Chico en Bolivia (Ver Fig. 7). En esta sub-zona, la precipitación disminuye y varía entre 600 y 800 mm. La ETP es superior a la precipitación durante los meses de abril a diciembre, condición por la cual el otoño, invierno y primavera son secos. La temperatura media ambiente en esta zona se encuentra entre 7 y 8°C y la temperatura mínima media anual es superior a 0°C, ya que todavía se deja sentir la influencia del lago. El número de días de helada es inferior a los 150 días y se puede decir que las condiciones para las actividades agrícolas son buenas.

Una estrecha franja en la parte meridional del sistema, como una especie de transición entre el tipo de clima semilluvioso y clima árido, tenemos el tipo climático semilluvioso y frío, con todas las estaciones secas (C (d) C').En esta zona la precipitación sigue disminuyendo y varía entre 600 y 400 mm al año. La ETP es superior a la precipitación a lo largo de todo el año, por lo que todas las estaciones se las considera como secas. Las temperaturas medias anuales se estiman entre 5 y 8°C. Las mínimas medias anuales están por



Fuente: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL SISTEMA.

Figura 7
Clasificación climática.

debajo de 0°C, pudiendo alcanzar a -4°C. Esto hace que las heladas se manifiesten casi durante todo el año (entre 180 y 300 días al año). Las actividades agrícolas en este tipo climático son mucho mas restringidas que la anterior.

Finalmente se tiene el tipo climático semiárido y frío con todas las estaciones secas (D (d) C'). Este tipo de clima impera en toda la parte sur del Sistema, donde la precipitación total anual es inferior a 400 mm, llegando inclusive en la zona Sud oeste a los 200 mm al año. La temperatura media anual es similar al anterior tipo climático, es decir entre 5 y 8°C y las temperaturas mínimas medias anuales son inferiores a 0°C. Los días de heladas varían entre 150 y 300 días al año, lo que indica que las heladas son intensas y muy frecuentes durante todo el año. Debido a estas condiciones, el área es agrícolamente improductiva, prosperando sólo la ganadería de tipo autóctono.

CONCLUSIONES

La precipitaciones en el sistema tiene un patrón decreciente de norte a sur, los valores más altos se registran sobre el lago Titicaca entre 800 a 1400 mm, debido a la influencia propia de la gran masa de agua lacustre sobre la humedad atmosférica y los valores más bajos se registran en la zona austral del sistema con 200 mm. La distribución estacional de la precipitación es típicamente monomodal, con una estación lluviosa en el verano (diciembre a marzo) y un período seco en invierno (mayo a agosto). Las temperaturas medias anuales indican que la región más fría es el sector suroeste (zona de Sajama) con valores que alcanzan a -8 °C. La subcuenca del Alto Desaguadero y parte meridional de la cuenca, registran valores entre 6 y 8°C, y la zona más cálida del sistema se encuentra alrededor del lago Titicaca, con temperaturas promedio en torno a 9 °C, lo que muestra en este último caso la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal de este cuerpo de agua. La evapotranspiración potencial (ETP) en el sistema, varia de 1000 a 1500 mm. Según el método de clasificación climática de Thornthwaite, poco más de la mitad del sistema, particularmente la situada en el sector septentrional y oriental, se caracteriza por climas lluviosos y semilluviosos y fríos, y el resto tiene un clima semiárido y frío.

BIBLIOGRAFÍA

INTECSA-AIC-CNR. 1993. *Plan Director Global Binacional de protección-prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema TDPS).* Estudio de Climatología.

OEA, 1996. *Diagnóstico ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia – Perú.*

Mecanismo de formación de las precipitaciones sobre el Lago Titicaca

Por: *Guillermina Miranda* [1] *Felix Trujillo* [2]
Fernando Figueroa [3] *Rimort Chávez* [4]

RESUMEN

En esta investigación se demuestra preliminarmente el mecanismo de formación de precipitaciones sobre el lago Titicaca, para lo cual se ha utilizado información de lanzamientos de globos piloto y se interrelacionó con la información meteorológica de superficie, situaciones sinópticas, imágenes de satélite GOES, información PACS - SONET e información de vientos en altura de modelos de los centros meteorológicos regionales y mundiales.

Los resultados muestran que el mecanismo de formación de las precipitaciones está dado por condiciones sinópticas y por condiciones locales; para la primera se registró una circulación anticiclónica en 200 milibares ubicada cerca de las coordenadas 18° S, 058° W y en 500 milibares ubicándose en coordenadas 18°S, 070° W, lo que originó advección de masa de aire húmedo en niveles altos y medios de la troposfera; en superficie se observó una depresión débil ubicada sobre los llanos orientales y tierras bajas del sur, que posteriormente fue profundizándose. Y la corriente en chorro subtropical se posesionó en las periferias sur de la Alta de Bolivia, todos estos factores arriba mencionados, determinaron las condiciones meteorológicas predominantes sobre la región de estudio y confirmaron la advección del aire húmedo tropical proveniente de la región amazónica; lo que originó actividad convectiva y condiciones de tiempo nuboso a cubierto en la región del Altiplano. La influencia local, estuvo determinado por nueve eventos de brisa, de los cuales seis provenían del Lago y tres de Tierra; las brisas del lago se presentaron entre hrs. 12:00 a 15:00 con una profundidad de ingreso desde la superficie que varía entre 250 a 500 m, el retorno de las brisas se observan entre los 200 a 400 m y con una profundidad hasta de 800 m y las brisas de tierra, se presentaron a hrs. 21:00. En la mayoría de los casos la

1 Instituto de Ecología, CAE-UMSA, Casilla 11152, E-mail: cicg@yupimail.com• Telf. (591-2) 2792582 - 2792416.
2 Instituto Nacional de Aviación Civil, E-mail: trujillo_cat@yahoo.com
3 AASANA, Telf. (591 2) 2810205, E-mail: tiomalavi@yahoo.com
4 AASANA, Telf. (591 2) 2810205, E-mail: rimort_bo@yahoo.es

intensidad de las brisas fue de 12 nudos; se presentó una excepción de 34 nudos debido a la influencia sinóptica.

SUMMARY

In this investigation, we will demonstrated the mechanism of precipitation formation on the lake Titicaca, preliminarily. For getting information, we had been launched several pilot globes. It was interrelated with the meteorological information of surface, synoptic situations, satellite images GOES, information PACS - SONET and information of winds in height of models of the regional and world meteorological centers.

The results show that the mechanism of precipitation formation is given by synoptic conditions and for local conditions; for the first one, we registered anticiclonic circulation in 200 milibars. The point was located at 18° S and 58° W. And in 500 milibars it was been located at 18°S and 70°. W, what originated advection of humid mass air at middle and high levels of the troposphere; in surface, a weak depression was observed located on the oriental plains and lowlands of the south of which later on, it was been deepened. And the subtropical jet current was appropriated to the peripheries south the High Bolivia All these factors mentioned, determined the predominant meteorological conditions on the study region and they confirmed the advection of the tropical humid air coming from the amazon region; what originated convective activity and conditions for cloudy time covering the Highlands region. The local influence was determined by nine breeze events, six came from the Lake and three from the terrestrial surface. The breezes from the lake were presented between 12:00 to 15:00 hrs. with depth entrances from the surface that varies between 250 to 500 m. The return of the breezes was observed between 200 to 400 m. and with a depth until 800 m. Terrestrial breezes were presented until 21:00 hrs.. In most of the cases the intensity of the breezes was 12 knots; an exception of 34 knots was presented due to the synoptic influence.

JUSTIFICACIÓN

En virtud de los pocos estudios relacionados sobre la dinámica atmosférica sudamericana y su interacción con los factores locales que determinan el mecanismo de precipitación, es que el presente estudio se propone aportar a esta área del conocimiento.

Es importante estudiar la dinámica atmosférica sudamericana y su interacción con los factores locales que condicionan la formación y distribución de las precipitaciones en el Lago Titicaca.

En tal sentido las hipótesis que se plantean son:

H_1: Existen condiciones sinópticas que determinan una distribución espacial de las precipitaciones en el Lago Titicaca.

H_2: Existen condiciones locales que determinan una distribución espacial de las precipitaciones en el Lago Titicaca.

H_3: Existen interrelaciones de las condiciones sinópticas y locales que determinan una distribución espacial de las precipitaciones en el Lago Titicaca.

ANTECEDENTES

El presente capítulo se divide en tres partes; en la primera parte se describen los fenómenos macroescalares que determinan las condiciones sinópticas sobre la región sudamericana, la segunda trata de la influencia de las condiciones locales en el Lago Titicaca y finalmente la tercera parte indica la interacción de lo sinóptico con lo local, que influyen sobre del mecanismo de formación y distribución de las precipitaciones en la cuenca lacustre.

- **Condiciones sinópticas sobre la región sudamericana**

El fenómeno más importante de la circulación atmosférica en las latitudes intertropicales es la Circulación de los Alisios. Son vientos lentos, húmedos y son consecuencia del gradiente de presión entre las altas presiones subtropicales y las bajas ecuatoriales continentales (García, 1994; Ronchail, 1988).

La circulación de la atmósfera está explicada de forma general por el régimen anual de las lluvias, determinado por la presencia de la Zona de Convergencia Inter Tropical-ZCIT, en este sentido la estación lluviosa se centra en verano (diciembre a marzo) en el continente americano.

También en Sudamérica la circulación atmosférica, se caracteriza por la presencia de la Alta de Bolivia que coadyuva al traslado de humedad desde la amazonía hacia el altiplano. El mecanismo básico de la formación de la Alta de Bolivia es el movimiento ascendente de escala regional debido a la actividad convectiva en el Amazonas. La convergencia de vapor de agua en los niveles bajos y la liberación de calor latente en la troposfera media ayudan a sustentar el movimiento ascendente y mantener la región relativamente caliente en la troposfera alta. La circulación anticiclónica alrededor de la Alta es bastante fuerte, con valores de vorticidad relativa que exceden los $3x10^{-5}$/s, especialmente en los bordes sur y este. La Alta de Bolivia, como otros rasgos comunes de la circulación regional, es cuasi-estacionaria y más difícil de observar en cartas diarias que en los promedios mensuales climatológicos (Montesinos, 2001).

Otro factor influyente en la dinámica atmosférica es la Corriente en Chorro que está ubicada, aprox., a 200 mb sobre 30 °S en verano y 22 °S en invierno (García, 1994). La altura a la que el Jet se ubique dependerá de cuan fría sea la masa de aire; cuánto más fría, más bajo se va a manifestar el Jet; la velocidad de la corriente es mayor a 70 nudos (Kt.), y con un núcleo o centro donde los vientos son iguales o mayores que 90 Kt (Holton, 1979; Comet, 1979).

Otro fenómeno influyente en las condiciones sinópticas regionales, es la Zona de Convergencia del Atlántico Sur-ZCAS. Baldicero (2001), indica que la mayoría de las veces está asociada con fuertes lluvias en el centro oeste brasileño y en el sur de la región amazónica, y con la disipación de frentes fríos provenientes

de latitudes altas. En niveles bajos la convección también contribuye a la intensificación de la depresión bárica en la región del chaco, que fortalece la convergencia de aire húmedo sobre la región.

Referente al efecto local de Los Andes sobre las ZCAS, Figueroa et.al. (1995) aparentemente intensifican el flujo en niveles bajos, auxiliando así la alimentación de la convergencia con el aire húmedo de la región amazónica.

El territorio boliviano se ve afectado por la incursión de los frentes fríos o surazos que producen generalmente actividad convectiva en la zona frontal, descenso de temperaturas, formación de nubosidad baja estratiforme y precipitaciones. El flujo de las principales masas de aire activas del Sur, además de las masas de aire en altura proveniente posiblemente del Pacífico que tienen influencia en invierno, se presenta en este tiempo como nevadas principalmente en el altiplano. Durante el verano el ingreso de las masas de aire del sur, previamente se manifiesta con depresiones báricas teniendo como centro el sur de Bolivia o el norte argentino; el ingreso de los frentes es débil llegando a disiparse en las tierras bajas del sur de Bolivia, por efecto de la fuerza de Coriólis (Miranda, et.al, 2000).

- **Condiciones locales que influyen en las precipitaciones**

Entre las condiciones locales que influyen en las precipitaciones sobre el Lago Titicaca tenemos a las brisas y a las ondas de montaña.

El mecanismo de la brisa se debe al desigual calentamiento de la tierra y de superficies importantes de agua. Cuando empieza a establecerse la brisa, que suele ser a media mañana, el desplazamiento del aire es perpendicular a la línea de la costa, pero a medida que aumentan las diferencias de temperaturas entre el agua y el suelo y la velocidad del viento aumenta, se va haciendo efectiva la fuerza de Coriolis y la dirección es desviada hacia la izquierda en el hemisferio sur; por la noche se invierte el sentido de la circulación, aunque la velocidad desarrollada es mucho menor por ser también menor el contraste térmico (Jansa, 1969). Al respecto Medina, 1976 indica que la brisa de mar presenta su máxima intensidad después del mediodía y la brisa de tierra, su máxima intensidad ocurre al amanecer.

Referente a la extensión en superficie de la brisa, Douglas, (2001) indica que no hay un límite definido y que depende de la intensidad del viento sinóptico. En condiciones sinópticas "calma" la brisa puede extenderse de 50-80 km lejos de la costa. El mismo autor hace referencia que hay evidencia de brisas del mar que se extendieron hasta 200 km lejos de la costa, bajo condiciones favorables. La profundidad de la brisa depende de la estabilidad de la atmósfera, y puede ser menor a 1 km y hasta más de 4 km. Por otro lado indica también que los topes de las nubes convectivas en algunos casos son parte de la celda de la brisa.

Las ondas de montaña al igual que las brisas, es un factor local que influye en la formación y distribución de las precipitaciones se producen cuando el viento se desplaza perpendicularmente a una cadena de montañas, el aire debe ascender por el lado de barlovento. A sotavento de la cadena el aire desciende y este movimiento da lugar a una onda estacionaria que persiste, con amplitud decreciente hacia el lado de sotavento de la

cordillera. Bajo ciertas circunstancias el aire llega a la saturación por la parte alta de su trayectoria formándose entonces nubes dispuestas de forma paralela en las crestas de las ondas. Según las observaciones las corrientes verticales producidas por la cordillera se manifiestan hasta mas del doble de la altura de las montañas (Longley, 1973).

- **Interrelación entre las condiciones sinópticas y locales**

Ronchail (1995) indica que: las explicaciones que dependan solamente del sistema océano atmósfera son poco apropiadas para las zonas alejadas de los océanos, donde los efectos locales y los sinópticos son probablemente muy importantes para explicar la variabilidad de las precipitaciones.

En tal sentido la información de altas precipitaciones en Sudamérica no siempre se registra en áreas costeras sino también en la región central del continente, este último se debe a la presencia de una área extensa de fuente de calor y vapor de agua como es la cuenca amazónica y la ubicación meridional de la Cordillera de los Andes. Estos sistemas territoriales, locales, interactúan con los factores macroescalares determinando una dinámica "atmosférica propia". En el caso del altiplano, el Lago Titicaca debido a su gran extensión de aguas, se constituye en una fuente de humedad, que junto con otros elementos interactúan con los factores sinópticos para determinar la distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca lacustre.

Área de estudio

El Lago Titicaca está situado al norte de la cuenca endorreica del altiplano. Se extiende entre 16° 15' a 17° 30' de latitud sur y 68° 30' y 70° de longitud oeste y a una altitud promedio de 3810 m. Con una orientación noroeste y sureste. El Lago Titicaca tiene una superficie de 8.500 Km^2, una profundidad máxima de 285 metros y su nivel está muy fuertemente influenciado por las variaciones interanuales en el régimen de las precipitaciones (Antunez de Mayolo, 1992; citado por Mourguiart, 1995).

Climatología del lago Titicaca

La distribución espacial de las precipitaciones en el altiplano varían desde 1200 mm cerca del Lago Titicaca hasta 200 mm sobre los salares (Roche 1988), esto se debe a:

- Por un lado la zona Altiplánica está protegida de los vientos húmedos de la amazonía, por la Cordillera Oriental.
- Por otro lado la capacidad higrométrica del aire frío es menor a la del aire caliente.

Las investigaciones acerca de las condiciones climáticas anuales en la cuenca del lago Titicaca, está basado en las informaciones que se registran en las estaciones meteorológicas, ubicadas en los alrededores y en el lago. La información de las precipitaciones varía de acuerdo a la ubicación geográfica de las estaciones, y estas a su vez de acuerdo a las condiciones fisiográficas del entorno de dicha estación. En este sentido las

precipitaciones anuales, con valores mas altos, se registran en las estaciones de la Isla de Taquile y Santa Rosa con 1.380 mm y 1.056 mm. Las precipitaciones mínimas se registran en la estación de El Belén, Escoma, Suches y Azángaro con 500, 546, 577 y 587 respectivamente.

El Lago Titicaca acumula del 65 al 78% de la precipitación anual durante la estación húmeda, las isoyetas son globalmente concéntricas al lago, en el centro del cual se observa precipitaciones mayores a 1200 mm/ año, las lluvias tienden a disminuir a medida que aumenta la distancia desde el centro del lago, con mínimas de 600 a 500 mm/año en las orillas. La influencia de las altas precipitaciones en el centro del lago, se debe a la basta superficie de aguas libres afirma Roche, 1993; "La convección diurna de ésta humedad, tanto en la planicie como en los Andes es responsable de gran parte de las precipitaciones, corresponde por lo tanto al reciclaje del vapor de agua transportado por los alisios, sobre todo en el sector noreste del lago" (Villanova et al., 1976, Franzel, 1979; Jordan y Jeuveldop, 1981; Salati et al.,1984).

En el Lago Titicaca la gran capacidad de absorción de la radiación solar, determina que el agua llegue a tener una temperatura que oscila entre 10 y 14 ° C favoreciendo una mayor evaporación y convección en el centro, que en las zonas periféricas, donde la temperatura es de 8 ° C (Roche, 1984).

OBJETIVOS

El objetivo principal de la presente investigación es: Evaluar el mecanismo de formación de las precipitaciones sobre el Lago Titicaca, durante tres días; el cual está apoyado por los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar las condiciones sinópticas que influyeron en la formación y distribución de las precipitaciones durante el período del 5 al 11 de diciembre de 2000.
2. Contrastar la influencia de las brisas de lago y tierra en la formación y distribución de las precipitaciones.
3. Interpretar la interacción entre las brisas de lago y tierra y las condiciones sinópticas en la formación de las precipitaciones.

METODOLOGÍA

Previo al estudio, se realizó un curso Internacional sobre Meteorología Tropical Aplicada al Pronóstico del Tiempo y del Clima, con la finalidad de capacitar a los participantes en lanzamientos de globo piloto, dicho curso se efectuó en la ciudad de La Paz, del 27 de noviembre al 15 de diciembre del 2000.

La metodología empleada está en relación a los objetivos planteados y se ha dividido en dos fases: trabajo de campo y de gabinete.

- Trabajo de campo

➢ Lanzamiento de globos piloto en las estaciones temporales de Guaqui, Huayllata, Carabuco, Puerto Pérez e Isla del Sol, del 8 al 11 de diciembre de 2000, cada 3 horas. Los globos se inflaron con gas helio con un peso de 30 g y fueron seguidos desde superficie con teodolitos. Con esta información se llegó a conocer los componentes zonales, meridionales y la magnitud de los vientos a diferentes niveles.

➢ En las estaciones temporales, se recolectaron los siguientes datos: dirección e intensidad del viento, visibilidad, nubosidad, temperaturas de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y fenómenos de tiempo presente tales como precipitación, niebla, tormentas y otros. La información registrada de las condiciones atmosféricas locales, se realizaron simultáneamente al lanzamiento de los globos piloto.

➢ Se tomaron fotografías de nubes en el lago y se las animó mediante el programa Paint, para ver el desarrollo y el movimiento de éstas. Con esta información se validó la formación de las brisas del Lago Titicaca.

- Trabajo de gabinete

➢ A la información recolectada del lanzamiento de globos piloto, se aplicó el programa CORRIGE-PACS-SONET, este programa permite hacer una corrección a la información de campo, para posteriormente obtener valores de las variables de altura, componentes, dirección y magnitud de viento.

➢ Con los resultados del programa CORRIGE-PACS-SONET se elaboraron los perfiles de viento, con los cuales se analizó y determinó la dinámica de los mismos en diferentes niveles.

➢ También con los resultados del programa CORRIGE – PACS-SONET se obtuvieron figuras que muestran las componentes zonales y meridionales, estas figuras permiten visualizar cuándo, dónde y cómo se presentaron las brisas, la influencia sinóptica y la interacción de ambas.

➢ Para conocer la resultante de los vientos por espesor, en cada estación temporal se calculó y grafico el promedio de los vientos.

➢ Recopilación, decodificación y análisis de datos meteorológicos de superficie (METAR) del 5 al 11 de diciembre de las estaciones: El Alto-La Paz, Oruro, Charaña, Potosí, Sucre, Cochabamba y Rurrenabaque (Estación estratégicamente ubicada en las estribaciones de la Cordillera Oriental). Esta información permitió conocer las condiciones sinópticas de la región del altiplano, de las estribaciones de la Cordillera Oriental y Occidental.

➢ Recuperación, animación, análisis e interpretación de imágenes del satélite meteorológico GOES-8 de alta resolución, desde el 7 al 11 de diciembre del 2000, información que validó la influencia de las condiciones sinópticas, de las influencias locales y de la interacción de ambas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Condiciones sinópticas durante el experimento

➢ Según la información de las condiciones sinópticas proporcionada por las oficinas de pronóstico de AASANA de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, antes y durante el experimento, la región Andina estuvo afectada por condiciones de tiempo nuboso a cubierto, debido a que la ZCIT descendió hacia el interior del continente y los vórtices anticilónicos se encuentran ubicados por encima de los 500 mb. El cuadro N° 1, muestra el comportamiento diario de las condiciones sinópticas predominantes en Bolivia.

Cuadro 1

Situación sinóptica en Bolivia, del 05 al 11-12-00

FECHA	SITUACION SINOPTICA
05-12-00	Frente frío Beni norte. Vaguada altiplano y cordillera oriental
06-12-00	Vaguada debilitándose altiplano y cordillera. Aire húmedo post frontal Beni y norte La Paz.
07-12-00	Inestabilidad altiplano y cordillera oriental
08-12-00	Depresión sur del país asociado a frente frío. Inestabilidad altiplano y cordillera oriental.
09-12-00	Frente frío sur del país. Vaguada altiplano y cordillera oriental
10-12-00	Frente frío sudeste del país. Inestabilidad altiplano y cordillera oriental (Alta de Bolivia ubicada al este del país advecta aire húmedo inestable a gran parte del país).
11-12-00	Depresión sur del país. Inestabilidad gran parte del territorio (Alta de Bolivia advecta aire húmedo inestable a gran parte del país).

Fuente: Elaboración propia, 2001.

Las condiciones nubosas que imperaron en el experimento probablemente afectaron las amplitudes térmicas que se registraron en las estaciones de La Paz, Oruro, Charaña, Cochabamba, Sucre, Potosí y Rurrenabaque, en el cuadro N° 2, se muestra que las amplitudes térmicas se incrementan, alcanzando el día jueves 7, la mayor amplitud y posteriormente el día viernes 8, se observa una disminución significativa en la amplitud, abarcando incluso hasta el día domingo 10, periodo en el cual las formaciones nubosas fueron muy importantes. A partir del día lunes 11, nuevamente se observa un incremento de la temperatura debido a la disminución de la nubosidad.

Cuadro 2
Temperaturas mínimas, máximas y amplitudes térmicas en la región Andina durante el 05 al 11–12-00

ESTACION		05-12-00	06-12-00	07-12-00	08-12-00	09-12-00	10-12-00	11-12-00
LA PAZ	T °C min	0.1	1.8	2.5	1.5	3.8	2.7	3.0
	T°C max	8.0	13.0	13.8	12.6	12.2	11.6	12.3
	Amplitud	7.9	11.2	11.3	11.1	8.4	8.9	9.3
ORURO	T °C min	7.4	6.3	4.0	6.4	7.3	7.2	6.4
	T°C max	17.5	16	19.4	19.2	15.8	14	17.8
	Amplitud	10.1	9.7	15.4	12.8	8.5	6.8	11.4
CHARAÑA	T °C min	2.4	3.4	-3.2	2.4	3.2	2.8	1.6
	T°C max	18.4	16.8	18.4	19.8	13.4	14.6	17.2
	Amplitud	16.0	13.4	19.6	17.4	10.2	11.8	15.6
COCHABAMBA	T °C min	11.2	11.4	10.0	12.0	12.2	12.3	13.2
	T°C max	21.3	18.6	28.2	26.4	23.2	23.7	27.8
	Amplitud	10.1	7.2	18.2	14.4	11.0	11.4	14.6
SUCRE	T °C min	9.6	9.0	8.3	10.2	10.2	9.8	9.7
	T°C max	13.2	17.0	23.8	21.7	19.0	16.3	23.0
	Amplitud	3.6	8.0	15.5	11.5	8.8	6.5	13.3
POTOSÍ	T °C min	3.0	1.0	2.5	1.0	0.1		2.5
	T°C max	15.0	15.9	19.2	15.1			15.1
	Amplitud	12.0	14.9	16.7	14.1			12.6
RURRENA-BAQUE*	T °C min	21.0	21.6	19.6	21.0	22.6	23.5	21.8
	T°C max	25.2	30.6	32.4	32.8	29.6	30.6	30.2
	Amplitud	4.2	9.0	12.8	11.8	7.0	7.1	8.4

* Estación estratégica de referencia
Fuente: Elaboración propia, 2001.

➢ De la Interpretación de imágenes de satélite GOES-8 y del análisis de los vientos en altura se infiere que los días 8, 9, 10 y 11 de diciembre todas a horas 18:00 UTC; en la alta y media troposfera, se observa una circulación anticiclónica en 200 milibares, ubicada cerca de las coordenadas 18° S, 058° W, y en 500 milibares se encontraba en las coordenadas 18°S, 070° W, lo que originó advección de masa de aire húmeda en niveles altos y medios desde la amazonía hasta la región Altiplánica. A está circulación anticiclónica se la conoce como la Alta de Bolivia, fenómeno que traslada la humedad desde la amazonía hacia el altiplano y que Influyo antes, durante y después de los días del experimento en las precipitaciones que se registraron en la zona andina.

- En los mapas de superficie, se observa una depresión débil ubicada sobre los llanos orientales y tierras bajas del sur, que posteriormente se profundizó, de tal manera que los vientos en superficie y en la baja tropósfera adquirieron componente norte.

- En los mapas de altura se observa a la corriente en Chorro Subtropical posicionada en la periferia sur de la Alta de Bolivia, tomando forma arqueada en las coordenadas 20° S 073° W y 20° S 040° W, por encima de lo que normalmente se establece (30 °S), alcanzando su mayor intensidad de 100 nudos en 30° S 065 W.

- Referente a los frentes fríos y la ZCAS, según la información de imágenes de satélite, en los días previos al experimento se observa un frente frío que llego a territorio Boliviano el cual posteriormente se desplazo hacia el noreste y contribuyo a la formación de la ZCAS quien a su vez interactúo con la ZCIT y la Alta de Bolivia para producir advección de aire húmedo del norte hacia territorio nacional y la región andina.

Condiciones locales que influyen en las precipitaciones

La influencia local en lo que concierne a la superficie del lago Titicaca y a las áreas adyacentes a este accidente geográfico, se tiene:

- De la información de superficie de las estaciones temporales de Carabuco, Puerto Pérez, Guaqui, Huayllata e Isla del Sol, se concluyo que el día sábado 091200 el cielo se presenta cubierto con presencia de precipitaciones, y los días domingo 101200 y lunes 111200 con cielos nubosos y precipitaciones.

- El comportamiento de la temperatura ambiente que oscila entre 4°C a 18 °C en las estaciones temporales ubicadas a orillas del lago Titicaca y la temperatura de la superficie del agua registrada en la bahía de Copacabana. La diferencia de temperaturas entre la tierra y el agua da lugar a la formación de brisas tanto las que se originan en el lago o en la tierra.

- El análisis de los componentes zonales y meridionales muestran la dirección y la profundidad de los vientos. Esto podría entenderse como: primero la existencia de flujo local, segundo saber si la brisa es del lago o de tierra y la profundidad que en todos los casos descritos alcanzó un promedio de 300 metros. En el cuadro N° 3, se indica la localización de la brisa, fecha, a qué hora, el tipo de brisa, dirección y comportamiento de los componentes zonal (este-oeste) y meridional (norte y sur).

Cuadro 3

Tipo de brisa y dinámica de los componentes zonal y meridional

ESTACION	FECHA	HORA UTC	TIPO DE BRISA/ Dirección	COMPONENTE ZONAL	COMPONENTE MERIDIONAL
CARABUCO	09-12-00	01:00	TIERRA **NNW**	Se observa vientos de componente este, desde superficie hasta aproximadamente 400 m, con máximo de viento hacia los 250 m con 27 nudos, el retorno en la vertical, muestra viento de componente oeste entre 480 hasta 800 m, con máximo de intensidad a una altura de 650 m con 34 nudos.	Desde superficie hasta 450 m con componente norte, con máximo de viento a 300 m con 30 nudos. El retorno se produce en la capa de 500 a 800 m con intensidad máxima de 32 nudos a una altura de 650 m.
PUERTO PEREZ	09-12-00	01:00	TIERRA **NE**	Predominancia de vientos de componente este con mínimo de viento a los 200 m con un nudo de intensidad y un máximo hacia los 650 m con 12 nudos.	El viento es de componente norte con un máximo de viento en superficie de seis nudos y un retorno de viento de componente sur desde 300 hasta 950 m, con un máximo de intensidad de 3,5 nudos a una altura de 570 m.
GUAQUI	09-12-00	16:00	LAGO **NNW**	Viento desde superficie hasta 250 m de componente oeste, con máximo en superficie de cuatro nudos y el retorno se produce de 250 a 690 m, con intensidad leve de un nudo.	Viento de componente norte desde superficie hasta 180 metros, con máximo en superficie de cuatro nudos, el retorno se produce de 190 a 600 m con vientos débiles cerca de un nudo.
GUAQUI	09-12-00	01:00	TIERRA **NNW**	En el gráfico no se muestra una identificación clara de retorno, la componente del viento muestra una dirección este, con máximo a los 300 m, con doce nudos de intensidad.	El viento muestra componente sur, con un máximo registrado en la pérdida del globo a 450 m con dos nudos de intensidad.
HUAYLLATA	10-12-00	16:00	LAGO NW	Presente viento de componente este desde superficie hasta 280 m con máximo de viento a una altura de 100 m con siete nudos de intensidad; el retorno se produce desde 280 hasta 500 m aproximadamente, donde se confunde con el viento sinóptico, con un máximo de viento hacia los 460 m con siete nudos.	No se observa cambio significativo del viento, presentando viento predominantemente del norte con una intensidad de tres nudos.
CARABUCO	10-12-00	16:00	LAGO SE	Muestra viento predominantemente de componente oeste, con viento en superficie de tres nudos, disminuye a una altura de 100 metros con intensidad de un nudo, para posteriormente incrementar su intensidad hacia los mil metros con aproximadamente nueve nudos.	Viento desde superficie hasta 500 m de componente sur, con máximo en superficie de ocho nudos y el retorno se produce por encima de 500 metros, con máximo de viento hacia los 670 metros con un nudo de intensidad.

ESTACION	FECHA	HORA UTC	TIPO DE BRISA/ Dirección	COMPONENTE ZONAL	COMPONENTE MERIDIONAL
CARABUCO	10-12-00	19:00	LAGO NW	En esta hora se define con mayor claridad la brisa del lago, se observa el viento de componente oeste, desde 100 a 400 m con máximo de viento a una altura de 200 m con cinco nudos de intensidad; el retorno se produce entre 400 a 800 m con máximo a 600 m, con intensidad de dos nudos.	Se observa viento de componente sur desde superficie hasta 240 m, con intensidad máxima de cinco nudos y un retorno de 240 a 600 m con intensidad máxima a una altura de 550 m con siete nudos.
ISLA DEL SOL	10-12-00	16:00	LAGO WNW	Se observa vientos de componente este desde superficie hasta 360 m, con máximo de viento en superficie de cinco nudos; el retorno se produce desde 360 a 750 m con intensidad máxima a una altura de 720 m con intensidad de seis nudos.	El viento es de componente norte desde superficie hasta 90 m; por encima de ello se observa el retorno con componente sur con intensidad máxima de 1,5 nudos a una altura de 440 m.
HUAYLLATA	11-12-00	16:00	LAGO NE	Muestra vientos desde 100 a 370 m de componente oeste, con máximo de viento a 100 metros de ocho nudos; el retorno de viento se produce de componente oeste de 370 a 590 m, con máximo de viento a 470 m de altura con dos nudos de intensidad.	Componente meridional.- se observa una predominancia de viento de componente norte con máximo de viento a 200 m con dieciocho nudos.

Fuente: Elaboración propia, 2001

La predominancia de la brisa de tierra del día 9, se debió a que la superficie del lago Titicaca, presentó una temperatura casi constante de 14 grados centígrados en comparación con las estaciones temporales que registraron una amplitud térmica entre 8.4 a 10.2 para la misma hora. Se muestra que la temperatura del lago es más caliente que la del aire sobre tierra, en algunas horas, lo cual origina el movimiento del aire hacia el lago. Con las imágenes de satélite se podría confirmar que se han dado las condiciones necesarias para la formación de brisas de tierra. En cuanto a las brisas de lago, las evidencias no son tan claras, puesto que la diferencia de temperaturas entre el lago y la tierra, no son lo suficientemente significativas; debido a que antes de la formación de brisa de lago, en las estaciones temporales se observó poca nubosidad. De forma general las brisas se presentaron desde muy débil hasta fuerte según la clasificación Asco y Casales.

Con la interpretación y la animación de las imágenes de satélite sobre el lago Titicaca se corroborarían los resultados del análisis de los componentes zonales y meridionales. En las horas de presencia de brisa de lago, la nubosidad disminuía considerablemente en el centro de lago y por el contrario, cuando se presentó brisa de tierra, la nubosidad aumentó en el centro del lago, aunque fue influenciada también por la circulación sinóptica. En el cuadro N° 4 se muestra un resumen de la interpretación de las imágenes de satélite GOES por día.

Cuadro 4

Interpretación de las imágenes del Satélite GOES por día,
para el área de influencia del lago Titicaca

FECHA	INTERPRETACION DE IMÁGENES
08-12-2000	En horas matinales se observa brisa de tierra, por concentración de nubosidad sobre el lago y que al pasar las horas se disipan, sin observarse desplazamiento de nubes y posteriormente en horas vespertinas se observan formaciones de nubes bajas en los alrededores del lago y escasa nubosidad sobre el mismo en capas altas. La influencia de las condiciones sinópticas es de norte a sur.
09-12-2000	Al inicio del día se observa el lago cubierto y no se ve sus contornos, posteriormente a mitad de la mañana se observa la presencia de nubosidad baja y aparición de claros en el lago. Posteriormente la disipación de nubosidad sobre el lago por efecto de la subsidencia. Después de medio día el efecto sinóptico predomina el lago y sus alrededores por el desplazamiento de nubes altas, se nota la invasión de nubosidad perdiéndose el contorno del lago hasta el final del día. El lago menor se nota menor nubosidad baja y en los alrededores, sur sudeste, se ve formación de cumulonimbus.
10-12-2000	En horas matinales el cielo está cubierto y formación de cúmulus, torre cúmulus y cumulonimbus. Después de media mañana aparecen claros de nubosidad y mucha formación de cúmulus y cumulonimbus al sur del lago. Después de medio día, nuevamente el efecto sinóptico, comienza a predominar, presentando una evolución similar al día anterior. La nubosidad baja ubicada al sur y sudoeste del lago, se desplaza hacia el lago.
11-12-2000	En las primeras horas de la mañana, se observa mucha nubosidad, no se ven los contornos del lago, después de media mañana, la masa nubosa va disminuyendo, presentándose en mayor grado sobre la cordillera. Después de medio día, la banda de nubosidad de la cordillera afecta el norte y noroeste del lago, invadiendo gradualmente al lago, de forma parecida a la evolución del día anterior pero con menor grado de nubosidad.

Fuente: Elaboración propia, 2001

➢ En el estudio de las ondas de montaña sobre la región del lago Titicaca, factor influyente en la dinámica de las lluvias locales, se tomó en cuenta la cadena de la Cordillerana oriental ubicada al noreste y este del lago, que alcanza elevaciones por encima de los seis mil metros sobre el nivel del mar, como es el caso del nevado Illampu. La dirección de los vientos predominantes a esa altura es noreste, estas condiciones hacen posible la existencia de ondas estacionarias de montañas sobre el lago Titicaca que persiste con amplitud decreciente hacia el lado de sotavento de la cordillera oriental de los Andes.
En las imágenes de satélite GOES se observaron, en determinados momentos la formación lineal de las nubes y que esta atribuido a las ondas estacionarias de montaña que se prolongan hasta el lago y en ocasiones se los ve cerca de la cordillera occidental. La formación lineal se presenta porque el viento se desplaza perpendicularmente a la cordillera Oriental.

Interrelación de las condiciones sinópticas con las influencias locales

➢ Del análisis de los perfiles de viento, de los componentes zonales y meridionales y de la interpretación y animación de las imágenes de satélite y la información METAR, se tiene, que todos los días del experimento, obedecían a un predominio de circulación sinóptica, pero, durante determinadas horas el comportamiento local (brisa de lago), se imponía con respecto a la circulación sinóptica, ver Cuadro 5.

Cuadro 5

Dirección del viento en las estaciones temporales

ESTACIÓN	FECHA	HORA UTC	DIREC-CIÓN	ESTACIÓN	FECHA	HORA UTC	DIREC-CIÓN
GUAQUI	09-12-00	01	S	HUAYLLATA	09-12-00	01	ENE
		04	SW			04	SE
		10	SW			13	N
		13	NE			19	NW
		19	N			22	NE
		22	NE		10-12-00	01	NE
		04	ENE			04	NNW
		13	WSW			07	WNW
		16	NW			13	NW
		19	N			22	WSW
	11-12-00	01	SSW		11-12-00	01	SSE
		04	SSE			04	SSW
		10	SSW			07	SSE
		13	SSE			10	S
		19	SW			13	SSW
CARABUCO	09-12-00	10	NW			19	NW
		13	NE	P. PEREZ	09-12-00	01	SW
		16	W			10	S
		19	NE			13	W
		22	NE			16	NE
	10-12-00	04	N			19	NNW
		10	ESE			22	N
		13	SW		10-12-00	04	NW
		22	WSW			13	WNW
	11-12-00	01	SW			16	NNE
		13	SW			19	WNW
		16	SW			22	WSW
		19	SW		11-12-00	01	SE
ISLA DEL SOL	10-12-00	01	NE			16	SW
		04	NNW			19	SW
		07	WNW				
		13	ESE				
		19	WNW				
		22	WSW				
	11-12-00	01	SSE				
		04	S				
		07	SSW				
		10	S				
		13	SSE				
		16	SSE				

De los resultados obtenidos en lo que respecta a la interrelación de las condiciones sinópticas con las locales y relacionando con lo que indica Rochail, se tiene que los vientos en determinadas horas presentan otra dirección distinta a la de las brisas y por lo tanto no corresponden a las condiciones locales.

- Según la interpretación y animación de las imágenes de satélite, las nubes altas se desplazan de norte a sur (predominio de condiciones sinópticas). Las nubes bajas se desplazan del noroeste a sudeste y temporalmente de dirección sudeste a noreste.

CONCLUSIONES

El territorio boliviano y en especial la zona andina, estuvo influenciado por condiciones sinópticas que produjeron tiempo nuboso a cubierto, especialmente con la presencia de actividad convectiva durante todo el período del experimento. Todo ello debido a un aporte de aire húmedo tropical que fue trasladado por la Alta de Bolivia y al posicionamiento anómalo de la Corriente en Chorro.

En los cuatro días del experimento realizado en el lago Titicaca, se han registrado nueve eventos de brisa, de los cuales seis son de lago y tres de Tierra. Las brisas de tierra, aparentemente son más altas que las brisas de lago. En la circulación de las brisas, la altura se presenta desde la superficie hasta los 250 a 500 m. y el retorno de las brisas se observan desde los 200 ó 400 m y llegando hasta los 800 m.

Las Ondas de Montaña que se producen en la cordillera Oriental tiene influencia en la formación de la nubosidad en la cubeta del lago Titicaca.
Durante el experimento se registraron influencias sinópticas y locales en el comportamiento de la troposfera inferior que esta ubicada sobre el lago Titicaca. Según la interpretación y animación de las imágenes de satélite, las nubes altas se desplazan de norte a sur (predominio de condiciones sinópticas). Y las nubes bajas se desplazan del noroeste a sudeste y temporalmente de dirección sudeste a noreste. En lo que se refiere a las brisas, durante los días del experimento, no se presentaron alrededor de todo el lago, esto se debió a que las condiciones sinópticas imperaron en determinadas horas en el área de estudio.

Las conclusiones a las que se han llegado se las debe tomar con cuidado, debido a que el presente estudio debe ser corroborado con un estudio similar en otro período de tiempo, bajo condiciones sinópticas distintas y por ciclos de varios años.

RECOMENDACIONES

En estudios que se realizan sobre caracterización climática se debe tomar en cuenta las condiciones regiones que caracterizan al clima y las condiciones locales que determinan las precipitaciones.

Para complementar el presente estudio es necesario realizar mas estudios y secuenciados, en condiciones atmosféricas distintas a las que se realizó el 8, 9, 10 y 11 de diciembre del 2000.

AGRADECIMIENTOS

- Proyecto PACS-SONET, por el financiamiento del trabajo de campo
- Dr. Michael Douglas, por el apoyo desinteresado a la investigación meteorológica en Bolivia
- A los participantes del curso "Meteorología tropical aplicada al pronóstico de tiempo y clima"
- Al Instituto Nacional de Aeronáutica Civil, por brindarnos sus instalaciones.
- AASAN, por el apoyo logístico.
- Al Instituto de Ecología – UMSA, por los medios proporcionados en la elaboración del trabajo
- Al proyecto de Dendrocronología del Instituto de Investigaciones geológicas y del Medio Ambiente - UMSA, por brindarnos los equipos computacionales.

BIBLIOGRAFIA

Baldicero, L.C. 1997. Los volcanes, afectan el clima del planeta. Ciencia Hoy. Volumen 7 Nro. 38.

COMET Forecasters Multimedia Library, Extratropical Cyclones, December 1994.

Douglas, M., 2001. Comunicación personal.

Guzmäo, A.M. y Wagner, A. 2000. Zona de Convergencia del Atlántico Sur. Convención sobre el cambio climático. C & T, Brasil.

Holton, J.R., (1979) An Introduction to Dynamic Meteorology, 2nd Edition, pp 391.

Jansa, J.M. (1969). Curso de climatología. Instituto Nacional de Meteorología, Serie B N° 19, Madrid, España.

Longley, R. (1973). Tratado Ilustrado de Meteorología. S.A. Editorial Bell. Buenos Aires, Argentina.

Miranda, G., Chávez, R., Argollo, J. Y Figueroa, F. (2000). Dinámica de las precipitaciones pluviales en el altiplano boliviano. Simposio Cambios Globales, junio 2000.

Montesinos, A.,Díaz, A. y Aceituno (2000). Seasonal Diagnostic and predictability of rainfall in subtropical south America Based in Tropical Pacific SST. J. Climate. 13, 746-758.

Roche, M.A. (1993). El Clima de Bolivia. Seminario PHICAB. ORSTOM. La Paz, Septiembre 1993.

Bourgues, J. Cortes, J., & Mattos, R. (1988). Climatology and hydrology of the Lake Titicaca basin. In: C. Dejoux & Illts (eds), Lake Tticaca. A synthesis of limnological knowledge, monogr. Bio., 68, 63-88, Kluwer Academic Publishers.

Ronchail, J. (1988). Variabilidad del tiempo en Bolivia, La anomalía climática del invierno 1988. Conferencia Academia de Ciencias- Bolivia, 14 septiembre de 1988.

Ronchail, J. (1995). Variabilidad Interanual de las precipitaciones en Bolivia. Bulletin del'Institut Francais d'Etudes Andines. ORSTOM. Tomo 24 N°. 3. Lima, Perú.

Magnitud de los componentes UVA y UVB de la radiación solar en el altiplano paceño

Por: *René Torrez* y *Luis A. Blacutt* [1]

RESUMEN

En base a datos obtenidos con un espectrómetro de radiación ultravioleta BREWER de procedencia canadiense y un sensor de radiación global del tipo LICOR se han obtenido datos diarios durante aproximadamente 7 meses de operación en la plataforma del Laboratorio de Física Atmosférica situado en el sector urbano de Cota Cota en la ciudad de La Paz. Los datos de radiación solar constituyen una serie continua a intervalos de un minuto tomados desde el mes de enero, mientras que los correspondientes a la radiación ultravioleta A y B (RUVA y RUVB) se vienen registrando desde hace algunos años con intervalos variables entre 20 minutos y varias horas.

Debido a la mayor nubosidad durante los primeros meses del año, las mediciones tanto de la radiación solar global como de sus componentes de radiación ultravioleta se presentan perturbados por diversos factores atmosféricos. El análisis estadístico de estas series no permite establecer una relación entre la radiación solar global y sus componentes ultravioletas. Sin embargo, para los días claros, que en su mayoría corresponden a los meses de mayo, junio, y julio, se observa una dependencia parabólica de las RUV's con respecto a la radiación solar. En valores medios, la radiación solar global, y las radiaciones ultravioleta A y B para el periodo considerado son respectivamente: 553.36 W/m^2, 30.06 W/m^2, y 1.63 W/m^2, determinando una proporción porcentual promedio de 5.43% y 0.29% para las componentes RUVA y RUVB respectivamente. Estas proporciones se hacen máximas alrededor del ángulo cenital alcanzando los valores de; 5.84% y 0.35% en contraste con los valores de 4.75% y 0.25% reportados en la literatura técnica.

[1] Laboratorio de Física de la Atmósfera, Instituto de Investigaciones Físicas – UMSA. Telf. & Fax (591 2) 2799155 Casilla 3164 E-mail: ozono@mail.megalink.com La Paz - Bolivia

SUMMARY

Daily data have been obtained during approximately 7 months of operation at the platform of the Atmospheric Physics Laboratory located at the Cota Cota suburb of the La Paz city. Those data were obtained with a spectrometer of ultraviolet radiation BREWER of Canadian origin and a sensor of global radiation of the type LIQUOR. The data of solar radiation constitute a continuous series to intervals of one minute taken from the month of January, while those corresponding to the ultraviolet radiation A and B (RUVA and RUVB) were have been registering for some years with variable intervals between 20 minutes and several hours.

Due to the highest cloudiness during the first months of the year, the registrations of the global solar radiation and its components of ultraviolet radiation are presented perturbed by diverse atmospheric factors. The statistical analysis of these series doesn't allow to establish a relationship between the global solar radiation and its ultraviolet components. However, for the clear days that correspond to the months of May at best, June, and July. A parabolic dependence of the RUV's is observed with regard to the solar radiation. In values means, the global solar radiation, and the ultraviolet radiation A and B for the considered period is respectively: 553.36 W/m2, 30.06 W/m2, and 1.63 W/m2, determining a proportion percentage average of 5.43% and 0.29% respectively for the component RUVA and RUVB. These proportions become maximum around the zenithal angle reaching the values 5.84% and 0.35% in contrast with the values of 4.75% and 0.25% reported in the technical literature.

INTRODUCCIÓN

Es un hecho conocido que la radiación solar global emitida por el sol esta constituida por tres bloques de radiación que conocemos como espectro infrarrojo (IR), visible (LUZ) y ultravioleta (UV), para este análisis vamos a considerar las dos primeras como una sola, y la tercera, es decir la radiación ultravioleta, mas bien dividida en tres componentes; UVA, UVB, y UVC. En términos de longitudes de onda, la radiación infrarroja mas la visible abarcan el espectro electromagnético desde 400 nm hacia adelante, mientras que la radiación ultravioleta se sitúa en la región inferior a 400 nm, especificada de la siguiente forma; RUVA de 315 a 400 nm, RUVB de 280 a 315 nm, y RUVC por debajo de 280 nm. Sin embargo, del espectro total emitido por el sol, muchas longitudes de onda son completamente absorbidas por la atmósfera, como por ejemplo la RUVC, de tal manera que la radiación ultravioleta sobre la superficie de la tierra esta constituida por RUVB y RUVA.

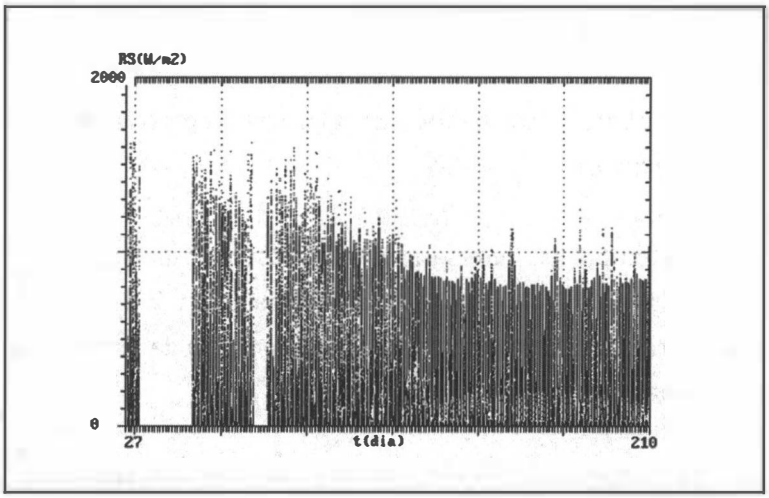


Figura 1
Serie de datos de radiación solar de enero a julio, se puede observar la gran variabilidad en los primeros meses.

Por la relación existente entre la longitud de onda y la energía de un fotón de luz, las componentes ultravioleta son mucho más energéticas que la visible e infrarroja, y entre ellas; la UVC es mayor que la UVB y ésta mayor que la UVA, afortunadamente la UVC queda completamente filtrada, mientras que la UVB es parcialmente absorbida por la capa de ozono. Desde el punto de vista biológico, la radiación UVB es letal para los microorganismos, algunas especies vegetales y críticamente peligrosa para el hombre.

La intensidad de las radiaciones UVB y UVA dependen fundamentalmente del espesor de la capa de ozono sobre un determinado lugar, y debido a que esta capa ha estado siendo atacada en los últimos años por contaminantes industriales, la vigilancia de esta capa se ha intensificado en todas partes, en especial en las regiones australes donde se ha observado un paulatino decrecimiento de sus niveles normales.

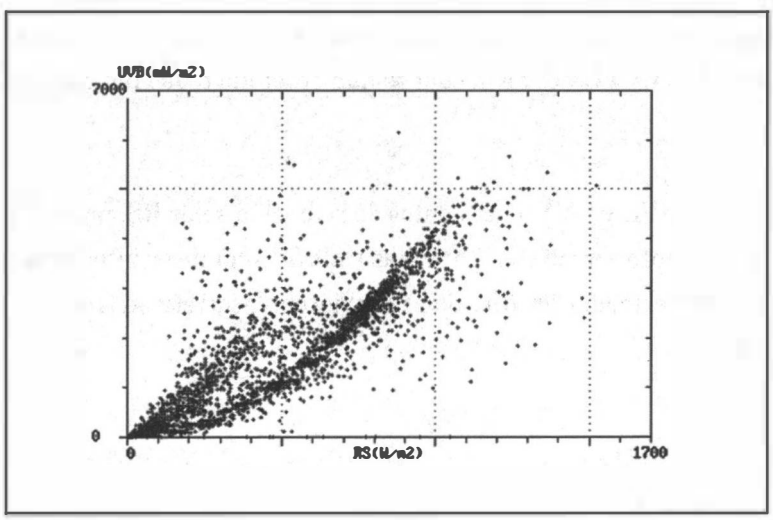


Figura 2
Gráfica de dispersión de la radiación UVA en función de la radiación solar.

El Laboratorio de Física de la Atmósfera viene registrando los niveles de la columna de ozono, la radiación UVB y la UVA incidentes sobre la ciudad de La Paz. El equipo recientemente recalibrado, es un radiofotómetro BREWER MKIV que consiste de cuatro componentes principales: un espectrómetro, una microcomputadora, su impresora y el software de control.

El espectrómetro es un sistema totalmente automatizado consistente de diafragmas, filtros, lentes, prismas, redes de difracción, lamparas de calibración, etc., mas un sistema automático de localización y seguimiento a la dirección de sol, los que permiten, entre otras varias mediciones, la determinación de la radiación UVB total, y la estimación de la radiación UVA.

Por otro lado, la radiación solar global y otros parámetros enteramente meteorológicos, vienen registrándose desde principios de año en la misma plataforma de instrumentos del laboratorio a intervalos de un minuto. El sensor de radiación solar es del tipo LICOR 200SZ recientemente calibrado y cuya respuesta abarca el espectro desde 400 hasta 1100 nm.

ANÁLISIS DE LOS REGISTROS DE DATOS

Los datos que constituyen las series de radiación ultravioleta A y B, son diarios y empiezan aproximadamente a las 6:40 de la mañana hasta alrededor de la 18:30. Como se ha indicado anteriormente, se toman a intervalos variables entre 20 minutos y algunas horas y están expresados en unidades de mW/m2.

La serie de datos de radiación solar (figura 1) se registra continuamente a intervalos de un minuto en una estación meteorológica automatizada del tipo Campbell CX10 y vienen expresados en W/m2.

Para el análisis, se ha preparado una base de datos combinada de radiación solar global y radiación ultravioleta A y B representados por RS, UVA y UVB, de la cuál se han obtenido todas las gráficas presentadas en este trabajo.

Los gráficos de dispersión de UVB y UVA contra datos de radiación solar RS, presentados en las figuras 2 y 3 permiten observar una evidente correlación para días y horas con mayor intensidad de radiación solar, es decir, los momentos alrededor del medio día, o los días de invierno, caracterizados en ésta ciudad generalmente por la claridad de su cielo.

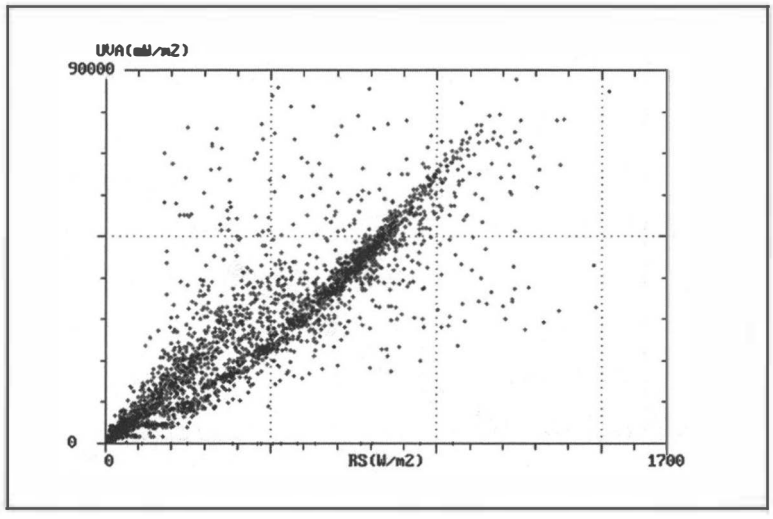


Figura 3
Dispersión de la radiación UVB en función de la radiación solar.

A valores bajos de radiación solar, como las primeras y últimas horas del día, ó en condiciones de cielo nuboso, la correlación no es lineal, y se puede observar una considerable dispersión de datos. El hecho de que a éstas horas la radiación UVA y UVB sean considerablemente más reducidas, se comprende fácilmente considerando que la masa óptica de atenuación a los rayos solares en estos momentos es mayor. Y la dispersión se debe naturalmente a la preponderancia de días perturbados en los primeros meses del año.

Por la complejidad de los fenómenos atmosféricos, que hace difícil su análisis riguroso, se ha seleccionado del total de datos, aproximadamente 160 días con las mejores condiciones atmosféricas. La mayoría de ellos corresponde a los meses de mayo, junio y julio. El nuevo conjunto de datos, cuyas gráficas de dispersión se puede ver en las figuras 4 y 5 se ajustan perfectamente a una parábola de la forma:

$$I_{uv} = a + b\, I_r^2$$

De acuerdo a consideraciones teóricas, la intensidad de radiación solar que incide sobre un punto de la superficie de la tierra es igual a la radiación solar directa trasmitida, mas la radiación captada de la bóveda celeste, denominada radiación difusa. Donde ambas, antes de llegar a los sensores ya han sido atenuados por la atmósfera.

Reducidos los datos a los días claros (figs. 4 y 5), se puede observar una nítida concentración de puntos alrededor de la parábola, especialmente a valores máximos de la radiación solar, sin embargo se nota algunos puntos dispersos, probablemente debido a días con nubosidad ocasional o la presencia de aerosoles. Es necesario remarcar que los valores, tanto de radiación ultravioleta, como de radiación visible se ven notoriamente afectados por las condiciones meteorológicas de la atmósfera, y más si el camino óptico es considerablemente mayor qué el camino óptico cenital.

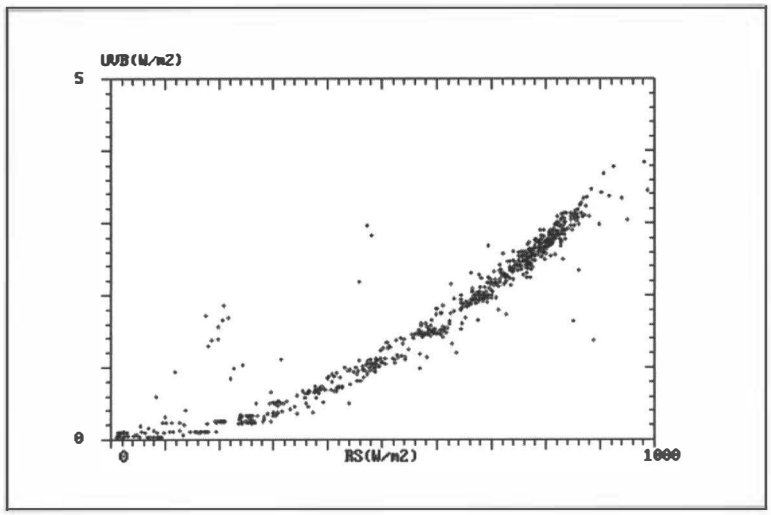


Figura 4
Gráfica de la radiación UVB en función de la radiación solar solo para días claros.

Los coeficientes de correlación para los ajustes planteados a los dos tipos de radiación ultravioleta son respectiva-mente 0.97 y 0.96.

Por consiguiente las intensidades de las radiaciones UVA y UVB pueden expresarse en términos de la radiación solar en las siguientes formas:

$$I_{UVA} = 7.1824 + 6.1689x10^{-5}\, I_{RS}^2$$

$$I_{UVB} = 0.1424 + 4.005x10^{-6}\, I_{RS}^2$$

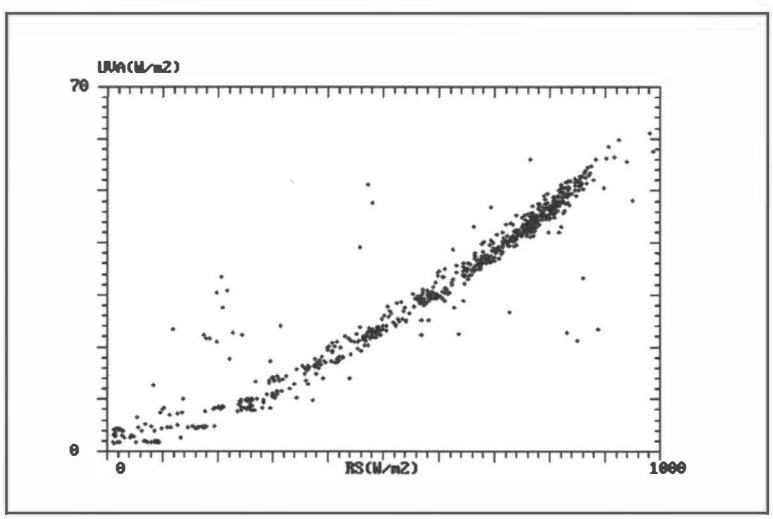


Figura 5
Gráfica de la radiación UVA en función de la radiación solar solo para días claros.

Con el objeto de modelar el comportamiento de las radiaciones UVB y UVA, que nos permitan determinar la composición porcentual de éstas en la radiación solar, asumiremos que la atmósfera es totalmente transparente a la radiación visible, mientras que para la radiación ultravioleta será un medio atenuante, de acuerdo con la ley de Bouguer.

$$I_x = I_{max}\, e^{-k_{o\lambda} mx}$$

La radiación máxima incidente registrada, decrecerá en valor conforme aumente el camino óptico como consecuencia de la rotación de la Tierra. Este a la vez, se reducirá también por la disminución del área de exposición. Con lo que tendremos:

$$I_\theta = I_{max} \cos\theta_z e^{-k_{o\lambda} mx}$$

Para la radiación solar, la reducción de su intensidad es únicamente debida a la variación del área de exposición. De esta manera, la proporción de radiación UV a la radiación solar será:

$$\frac{I_{UVB}}{I_{RS}} = \frac{I_{UVBmax}}{I_{RSmax}} exp(-k_{o\lambda} mx)$$

Donde x es el camino óptico adicional al camino óptico cenital.

Por consideraciones geométricas, el camino óptico adicional, entre la altura sobre el zenit y la longitud atmosférica en una dirección que forma q_z grados con la vertical para ángulos no muy próximos a 90° es:

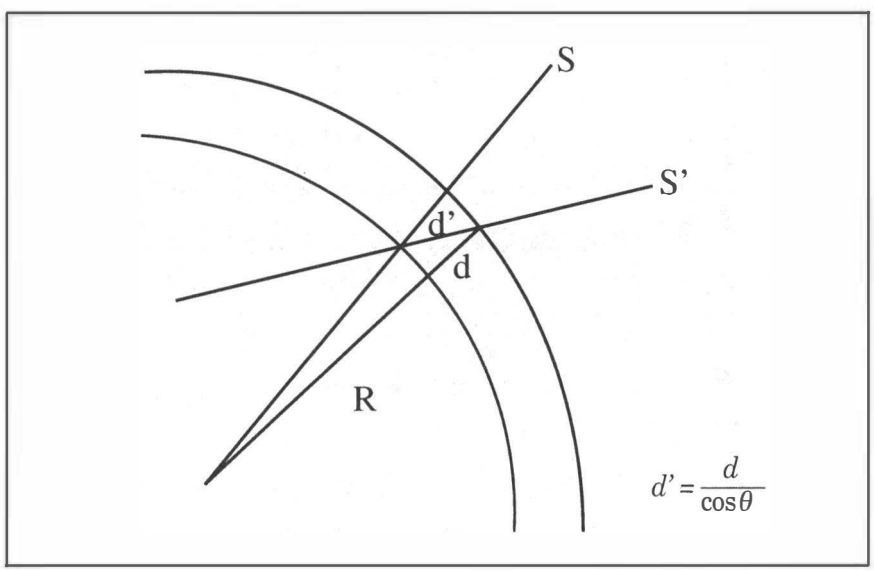


Figura 6
Incremento en el recorrido óptico como función del ángulo cenital.

De donde:

$$x = d\left(\frac{1}{\cos\theta_z} - 1\right)$$

Transformando inicialmente la expresión de I_{UVB}/I_{RS} a una relación lineal, y luego por regresión lineal se obtiene:

Para la componente UVB.

$$\frac{I_{UVB}}{I_{RS}}(\%) = 0.347\exp(-1.0488x)$$

De igual manera para la UVA:

$$\frac{I_{UVA}}{I_{RS}}(\%) = 5.841\exp(-0.469x)$$

Las figuras 7 y 8 muestran la dispersión de las proporciones porcentuales y los valores correspondientes a la función ajustada para los dos casos, como función del ángulo cenital.

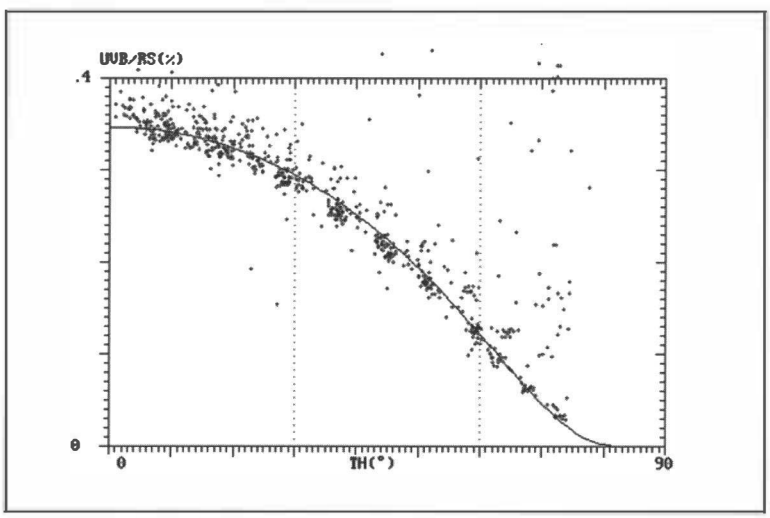


Figura 7
Comportamiento de la relación UVB/RS en función del ángulo cenital.

Ambos funciones ajustadas tienen un coeficiente de correlación superior a 0.98, sin embargo debe hacerse notar que los puntos más alejados de las gráficas de dispersión han sido descartados.

Se observa que las máximas proporciones porcentuales de UVB y UVA se presentan a ángulos alrededor de la dirección cenital, y resultan respectivamente en: 0.35% y 5.84%.

En contraste, los valores reportados por Sliney and Wolbarsht (1980), Moseley (1988), Diffey (1991), establecen un límite de 5% para la UV total, fraccionándose en 0.25% y 4.75% para la UVB y UVA respectivamente, lo que significa un exceso de 40% en el caso de la UVB y 23% en el caso de la UVA.

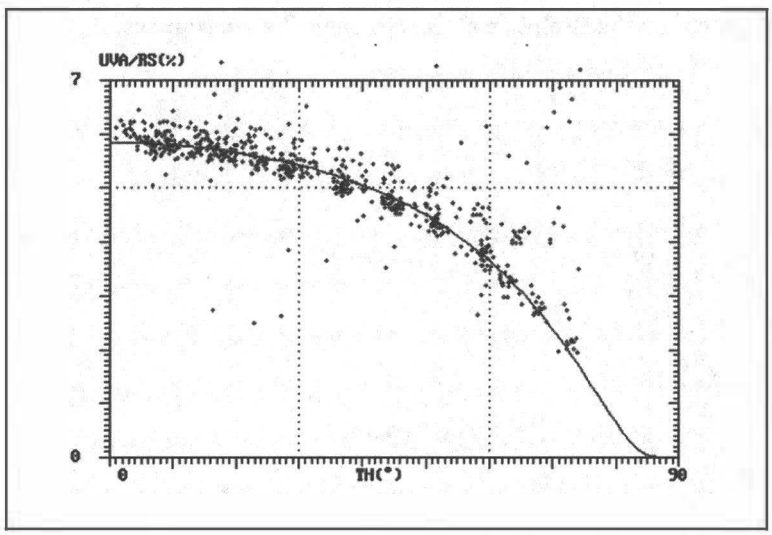


Figura 8
Comportamiento de la relación UVA/RS en función del ángulo cenital.

CONCLUSIONES

Estos resultados nos llevan a concluir que en este sitio se presenta una menor atenuación de la capa de ozono, lo que confirma los resultados ya encontrados por otros estudios. Es decir; "la capa de ozono encima de la ciudad de La Paz, es más delgada que en ciudades costeras a iguales latitudes".

Pese a las consideraciones de simplicidad que se han realizado, tales como no considerar la curvatura de la Tierra, ni los efectos de la refracción de la atmósfera, los resultados obtenidos representan satisfactoriamente los datos sobre los cuales se ha trabajado, así lo establecen los coeficientes de correlación determinados para las dos modelizaciones.

Adicionalmente se ha establecido una relación empírica entre la radiación UVB o UVA y la radiación solar, que a falta de instrumentos para determinar la intensidad de éstas componentes, permite evaluarlos en función de la intensidad de la radiación solar.

AGRADECIMIENTOS

Hacemos presente nuestro agradecimiento a todo el personal del Laboratorio de Física de la Atmósfera.

BIBLIOGRAFIA

IQBAL M., 1983. Introducción a la Radiación Solar. AP.

Monteiht, Unsworth and Arnold, 1973. Principios de Física Ambiental.

IARC, LYON, 1992. Monographs on the Evolution of Cancinogenic Risk to Humans.

Historia climática del Cuaternario Reciente del Altiplano Boliviano

Por: *Jaime Argollo*[1] y *Phillippe Mourguiart*[2]

RESUMEN

Un estudio multidisciplinario nos ha permitido poner en evidencia importantes cambios que han intervenido en los paisajes de las cuencas lacustres del altiplano durante los últimos 40.000 años.

Tres fases de niveles lacustres altos (Minchin, Tauca y la situación actual) y dos largas fases áridas (durante el Ultimo Máximo Glaciar y una gran parte del Holoceno entre 10.500 y 3.900 años BP) son las características esenciales de los paleo ambientes de esta parte de los Andes.

SUMMARY

A multidisciplinary study has showed us the important changes that have shaped the landscapes of the lacustrine basins of the highland during the last 40000 years.

Three high lacustrine levels (Minchin, Tauca and the current situation) and two long arid phases (during the Last Maximum Glacier and a big part of the Holoceno between 10.500 and 3.900 years BP) are the main characteristics of *paleo* atmospheres in this part of Andes.

INTRODUCCIÓN

El Ultimo Máximo Glaciar y el Interglaciar actual son sin duda alguna, los periodos más estudiados y mejor conocidos de la historia de nuestro planeta. Por el contrario, en América del Sur para los Andes

1 Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente – UMSA. Casilla 11152 Telf.: (591 2) 2793124 - 2793392, E-mail jaime.argollo@yahoo.es La Paz - Bolivia

2 Laboratoire d'Ecologie Moleculaire, JE 159, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Avenue de l'Université, 64000 Pau, France.

tropicales, muy pocos datos son disponibles para estos intervalos de tiempo. Para el Altiplano Boliviano, los estudios se han realizado desde hace mas de un siglo. Es posible citar los trabajos pioneros de Agassiz (1875), Musters (1877), Minchin (1882), Steinmann et al. (1906), Pompecki (1905), Bowman (1909, 1914, 1916) , Troll (1927), Moon (1939 y mas recientemente aquellos de Ahlfeld (1946), Newell (1949) y Ahlfeld y Braniza (1960). Estos autores descubrieron y describieron los depósitos sedimentarios que cubren importantes extensiones del Altiplano. Se estableció una sucesión de niveles lacustres altos y fases de avance de los glaciares andinos. Para conocer la edad aproximada de las diferentes fases lacustres, fue necesario esperar los trabajos de Servant y Fontes (1978, 1984) y Lavenu et al. (1984). Estos últimos autores establecieron particularmente el cuadro cromo-estratigráfico de los principales episodios lacustres en función de las alturas. Las tres fases lacustres más antiguas y las más elevadas (fases Mataro, Cabana y Ballivián) han sido atribuidas al cuaternario antiguo (y/o al final de Plioceno) y medio, sin argumentos estratigráficos precisos. Los episodios Minichip y Tauca han sido datados por el método del radiocarbono de más de 2.000 años BP y de 13 000- 10.500 años BP (Servant y Fontes, 1978). Más recientemente, nuevos fechados han permitido precisar la edad de estas dos fases lacustres (Bills et al. 1994, Argollo y Mourguiart, 1995 a y b, Servant et al. 1995).

En este artículo, sobre la base de nuevos datos nos proponemos precisar la paleo hidrología y paleo climatología de la región del Lago Titicaca y los salares y lagunas del Altiplano central y sur de Bolivia, desde aproximadamente 40.000 años BP. Se plantea una discusión sobre la cronología de las diferentes fases hidrológicas mayores.

CONTEXTO REGIONAL

El Altiplano está situado en el corazón de los Andes Centrales (66-71° de longitud oeste, 14-22° latitud sur) a una altura comprendida entre 3.650 y 3.900 m (Fig. 1). Tres grandes cuencas lacustres ocupan esta vasta depresión (190.000 km2 aproximadamente en vías de colmatación desde el terciario (Lavenu, 1992) al norte el Lago Titicaca con 8563 km2, al centro el Lago Poopo con 2.530 km2 y más al sur los salares de Coipasa y Uyuni son lagos estacionales hipersalinos. Esta repartición latitudinal es el reflejo del gradiente pluviométrico que existe entre el norte y el sur de la zona. Las precipitaciones medias anuales pasan de más de 800 mm/año alrededor del Lago Titicaca menos de 200 mm/año en el extremo sur de la cuenca. La evaporación media en su conjunto fue estimada en 1.500 mm/año (Roche et al 1992ª y b; Grosjean 1994). Este gradiente climático es la consecuencia del desplazamiento en latitud del ecuador meteorológico (Zona de Convergencia Inter-Tropical) que alcanza los Andes Centrales durante el verano austral, entre los meses de noviembre y abril. Los vientos del sector este y la anomalía térmica caliente que constituye el Altiplano durante los meses de verano son dos elementos meteorológicos que actúan y permiten explicar las penetraciones frecuentes de aire húmedo proveniente de la cuenca amazónica (Aravena et al. 1989; Grootes, 1993), esta ocasiona precipitaciones tormentosas cada vez menos frecuentes a medida que nos alejamos de la cuenca del norte. Al contrario, durante la estación seca (invierno austral), el Ecuador meteorológico se desplaza hacia el norte del continente sudamericano. Los vientos del oeste permiten solamente penetraciones esporádicas de aire amazónico produciendo precipitaciones aisladas y de débil

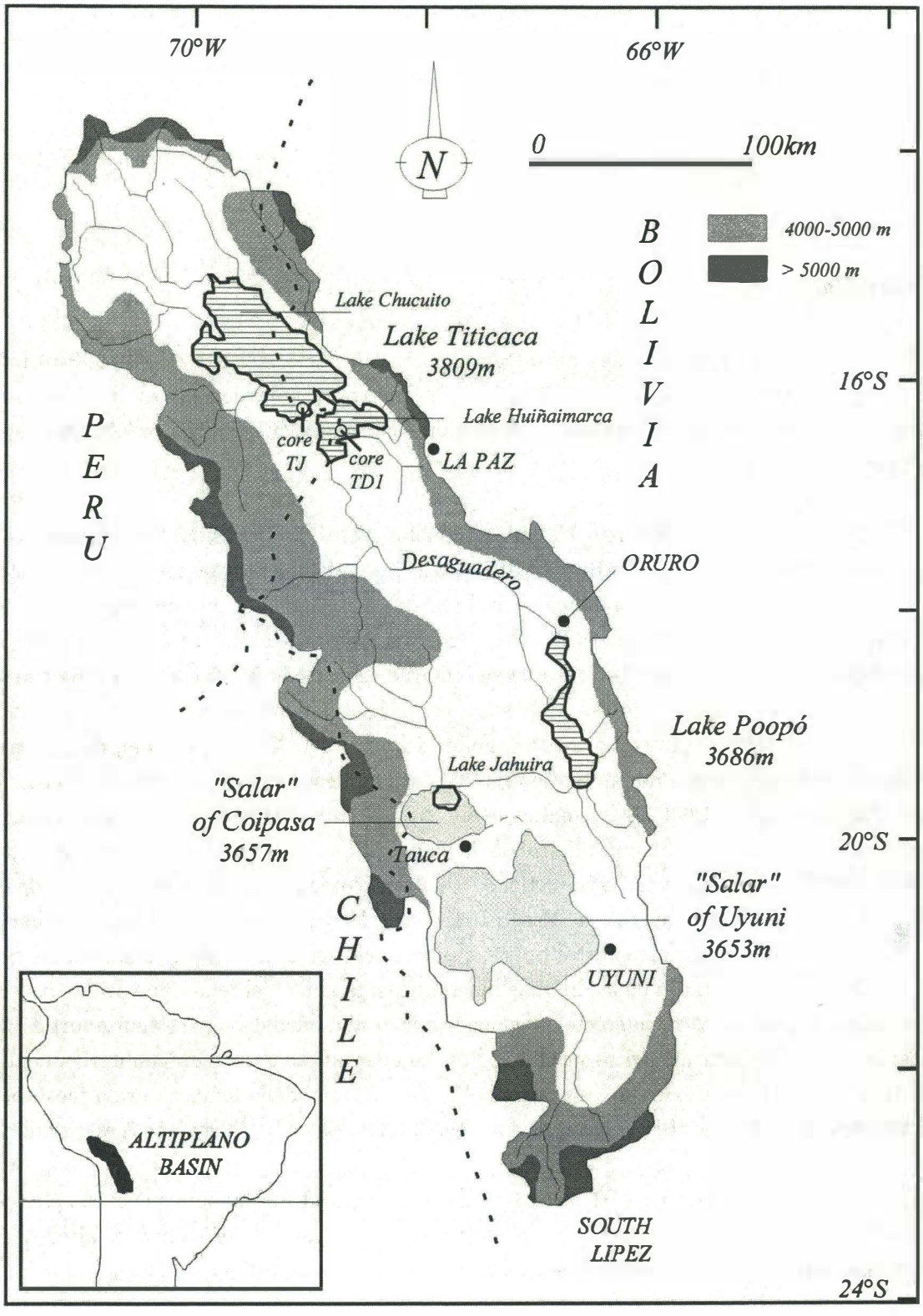


Figura 1

Mapa del área de estudio, que muestra las cuencas lacustres del altiplano.

intensidad (Taljaard, 1972). Mas localmente, la presencia de la cordillera Oriental con picos a mas de 6000 metros y la orientación de ciertos valles inducen un fenómeno de Foehn, que perturba el régimen pluvial de la región circundante.

En el pasado, los grandes hidrosistemas del Altiplano han conocido variaciones muy importantes originados principalmente por el clima.

METODOLOGÍA

A fin de determinar la historia paleo hidrológica del Cuaternario reciente (los 40.000 últimos años aproximadamente) las cuencas lacustres del Altiplano, dos tipos principales de registros han sido estudiados: (1) los testigos (cores) sedimentarios obtenidos en diferentes sectores y, (2) los depósitos lacustres hoy visibles en afloramientos.

El Lago Titicaca a proporcionado los registros más completos, 14 testigos han sido obtenidos con la ayuda de un saca testigos Machereth (Barton et Burden, 1979), 6 de los cuales fueron datados ya sea por acelerador; o de manera clásica. El core TD1 a proporcionado el registro más completo, aproximadamente 25.000 años BP (Wirrmann et al. 1992), fue obtenido a 19 m bajo agua en el centro de la cuenca de Taraco, parte oeste del lago Huiñaimarca (16°20'00") 68°57'45"; Fig.1) su longitud total es de 537,5 cm. Esta fue objeto de un estudio multidisciplinario incluyendo los estudios sedimentológicos (Wirrmann & de Oliveira Almeida, 1987), palinológicos (Ybert, 1992) y ostracológicos (Mourguiart & Roux, 1990, Mourguiart et al, 1992; Wirrmann & Mourguiart, 1995) estudios que han permitido reconstruir la paleohidrología de esta sub cuenca del lago Titicaca (Mourguiart et al., 1992). Esquemáticamente, las diferentes facies sedimentarias se reparten en el Lago Titicaca en función de la dinámica litoral, de la actividad biológica y de la altura del agua (Rodrigo y Wirrmann, 1992). Los pólenes y las esporas tienen igualmente una distribución que depende de la altura del agua pero también de la temperatura (Ybert, 1988, 1992; Mourguiart et al., 1995b). La repartición de los ostracodos, crustáceos, esencialmente bénticos, depende, en el Lago Titicaca de la naturaleza del substrato, de la dinámica, de la repartición de las hierbas macrofíticas, también del tenor en oxigeno disuelto en la Inter fase agua-sedimento, estrechamente relacionado a la profundidad del agua (Mourguiart & Carbonel, 1994) Así los estudios sedimentológicos y palinológicos han permitido reconstruir cualitativamente y semi cuantitativamente las variaciones de los niveles del Lago Titicaca y de la temperatura atmosférica desde aproximadamente 25 000 años BP (Wirrmann et al., 1992, 1995a y b, 1997; Wirrmann & Mourguiart, 1995).

Paralelamente al estudio del testigo TD1, otros cores han sido analizados de manera menos completa. Además alrededor del Lago Titicaca, terrazas lacustres, atestiguan la antigüedad de los niveles altos. Algunos de estos han sido datados por el método del radiocarbono.

Las cuencas del sur han sido esencialmente objeto de otro tipo de enfoque. Sobre decenas de kilómetros, de la periferia de las cuencas actuales, se encontró trazas de antiguas líneas de costa así como costras calcáreas algunas veces impresionantes, forman una suerte de barreras de arrecife (Rondeau, 1990; Rouchy et al.,

1996). Estos diferentes relictos del pasado han sido datados (Servant et Fontes, 1979; Bills et al, 1994; Argollo & Mourguiart, 1995[a] y b; Servant et al, 1995) y puestas en evidencia. Entonces, el Altiplano a sido ocupado por inmensos lagos de las dos últimas fases lacustres Minchin y Tauca (Servant y Fontes, 1978; Bill et al, 1994; Hastenrath & Kutzbach, 1985; Risarcher, 1992; Wirrmann & Mourguiart, 1995) este paleolago al secarse individualizó tres cuencas: Poopo, Coipasa, Uyuni (Fig.1). A fin de evitar toda ambigüedad en el futuro, proponemos nombrar a este lago POCOYU (Poopo-Coipasa-Uyuni) y considerar estas variaciones relativas en el tiempo.

En paralelo a estos estudios geomorfológicos y geocronológicos, algunas perforaciones y afloramientos han sido estudiados (Wirrmann & Mourguiart, 1995; Silvestre et al, 1996, 1997), pero no han sido datados con precisión. La más larga de estas, una perforación realizada en el salar de Uyuni 121m desafortunadamente no ha sido datada (Risarcher, 1992).

RESULTADOS

ESTRATIGRAFIA

La edad de los sedimentos perforados y aquellos visibles en los afloramientos a podido ser determinada a partir de una serie de fechados radiocarbono clásicos y AMS. De un lugar a otro y en el interior de un mismo lugar, el material fechado no siempre ha sido la misma. Se trata principalmente de organismos y de restos carbonatados (moluscos, ostracodos, charáceas, estromatolitos), de precipitación geoquímica (calcita y aragonita), de materia orgánica (algas y fibras de macrófitas). Esta gran variedad de materiales datados no facilita la correlación entre los diferentes cores. Mas aún al tratarse de un sistema lacustre; el efecto reservorio puede ser muy diferente de una cuenca a la otra y en el interior mismo de la cuenca.

En el caso de la cuenca Titicaca, diferentes autores se han interesado en este problema, fechando en particular en un mismo nivel de carbonatos lacustres (moluscos, ostracodos, charáceas) y las fibras vegetales (macrófitas). Según los autores, parece que hay que considerar un efecto reservorio de 250 años (Abbott et al., 1997a) ó 400 años (Curtis et al., 1993). Otros datos sobre el lago Titicaca indican un envejecimiento de edades carbonatadas con relación a las edades sobre materia orgánica del orden de 300 años (Wirrmann en prensa) Como todas estas estimaciones han sido obtenidas en muestras relativamente recientes, es posible que para situaciones hidrológicas diferentes (bajos niveles o al contrario, niveles lacustres muy altos), estas correcciones no sean aplicables. Por lo tanto nosotros no tendremos en cuenta en este estudio.

En el caso de las cuencas del sur (paleolago Pocoyu), la ausencia de depósitos ricos en materia orgánica no ha permitido utilizar la misma metodología. Entonces habrá que considerar las edades obtenidas con mucha reserva. Una discusión más profunda es indispensable. Dos procesos mayores son la causa de errores probables en las edades carbono 14 obtenidos sobre carbonatos de los de los paleolagos del Altiplano: Valores iniciales muy débiles de la relación C14/C en las aguas del lago se debe a la introducción de carbono moderno en los carbonatos anteriormente precipitados. En un artículo reciente, Servant et al.(1995) hablan sobre la ausencia

importante de formaciones geológicas calcáreas en el borde de las cuencas (de los salares de Coipasa y Uyuni) que permita admitir un envejecimiento aparente de sedimentos lacustres por la incorporación de carbono inorgánico antiguo, eludiendo de esta manera el problema. Por el contrario, Grosjean et al. (1995), en un contexto diferente pero geográficamente próximo al Altiplano Boliviano, ponen en evidencia los problemas de efecto reservorio considerables del orden de 8000 años sobre carbonatos y del orden de 2.000 años sobre materia orgánica. Cuál es exactamente la situación del altiplano central Boliviano entre estos dos extremos? Una secuencia de diferentes instancias correspondientes a 3 estados hidrológicos distintos nos permitirá comprender mejor las posibles fuentes de error sobre las edades carbonatadas (Fig.2).

Tomemos un estado inicial arbitrario una fase árida: el lago Pocoyu está entonces seco (estado 1). El fondo de las cuencas está recubierto de una costra de sal: las biohermas y estromatolitos son sometidos a la acción de los agentes atmosféricos. Luego una variación climática (retorno a condiciones más húmedas), las aguas de escurrimiento re-movilizará por lavado el carbono antiguo de las costras carbonatadas de las fases lacustres anteriores (estado 2). Las aguas del lago Pocoyu continúan subiendo y terminan por cubrir las formaciones de algas (estado 3). Una nueva generación va a comenzar a crecer sobre los depósitos precedentes. El lago Pocoyu es entonces un inmenso lago, su volumen considerable. En estas regiones, que son caracterizadas por una vegetación rala desde varias decenas de miles de años (Graf, 1992, 1994 Schuler et al, 1995) y, el viento es frecuentemente fuerte. El agua del lago, en la zona litoral, sin duda está bien agitado, y, entonces, posiblemente el CO2 disuelto en el agua está en equilibrio con el CO2 atmosférico. Cuando el nivel del lago Pocoyu desciende considerablemente de nuevo se descubre impresionantes campos de biohermas, las raras precipitaciones de carácter tormentoso que continúan caracterizando la región en verano, van a llevar en las aguas del borde una cantidad no despreciable, con relación al volumen del lago, de carbono inorgánico antiguo. Por otra parte, las costras expuestas serán contaminadas por CO2 atmosférico moderno, la estructura porosa de la mayoría de estas costras de algas favorecen este tipo de intercambios. En resumen, tendremos un envejecimiento aparente de los depósitos en el tope y un envejecimiento en la base. A fin de minimizar el problema de rejuvenecimiento, sólo las partes más sanas, los más compactos de los biohermas han sido datados. El problema de envejecimiento aparente es más difícil de apreciar. Algunos elementos nos permiten creer que, al menos para las fases de niveles lacustres altos, las edades son correctas. De una parte, los fechados efectuados sobre los afloramientos algunas veces distantes de más de 100 km son coherentes entre ellas. De otra parte, a sido efectuado una serie de fechados U/Th sobre algunas muestras. Los primeros resultados (Rondeau, 1990, realizados sobre muestras rutas, mostraron claramente que existe problemas de rejuvenecimiento y envejecimiento. Nuevos fechados U/Th que requieren pequeñas cantidades de carbonatos, han sido efectuados (Ghaleb et al 1991; Causse et al 1995) Para la fase de Tauca del paleolago Pocoyu y para los niveles lacustres más altos, existe una gran coherencia entre las edades calendario C14 y las edades U/Th. Para los niveles lacustres bajos, por el contrario, conviene guardar una reserva sobre todo en los casos de edades aisladas.

EL LAGO TITICACA

El testigo que ha sido objeto de un mayor número de análisis es el testigo TD1. La edad de los sedimentos ha sido determinado a partir de 7 fechados C14 (Wirrmann & Mourguiart, 1995). Entre dos niveles fechados,

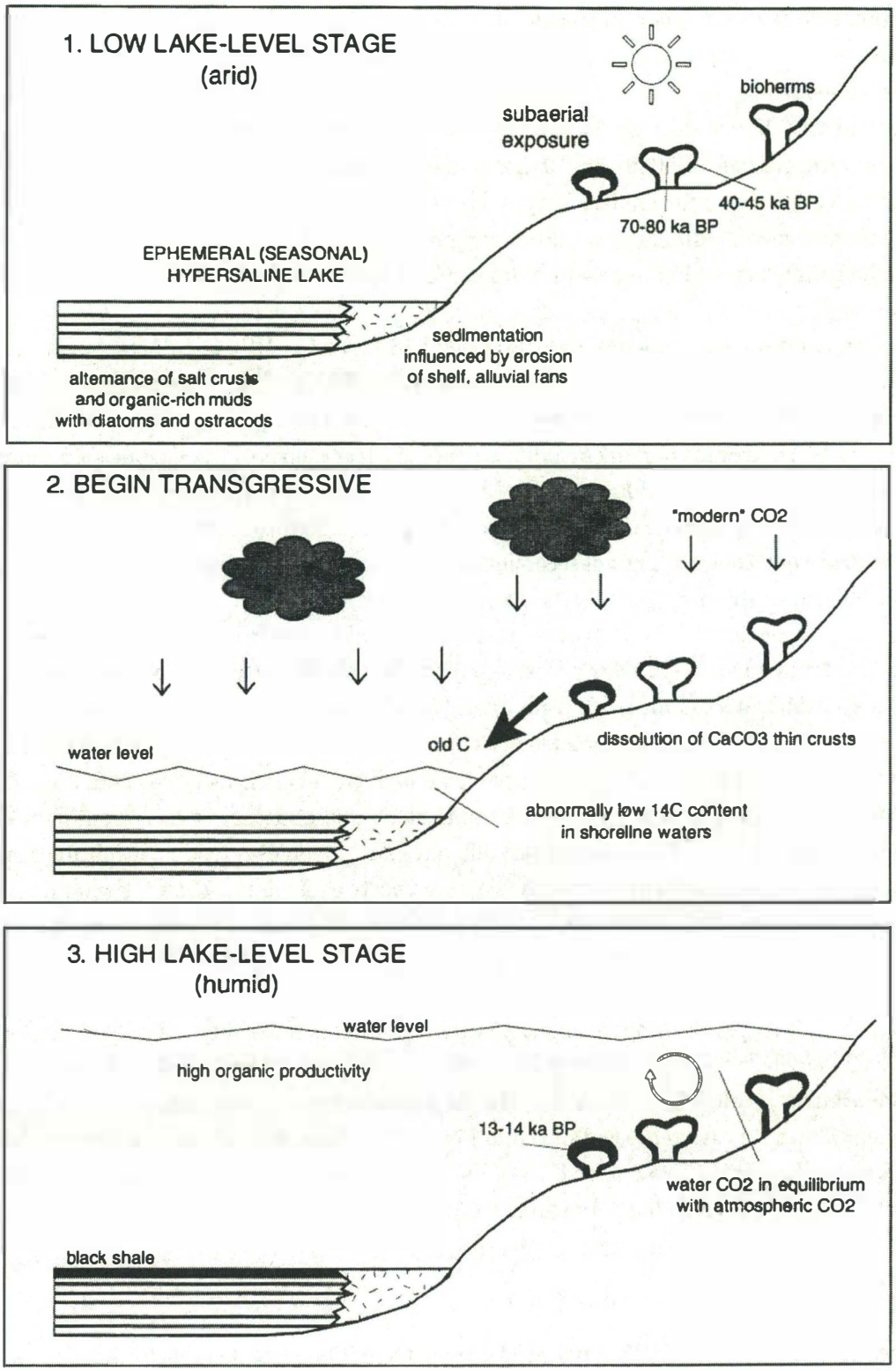


Figura 2

Modelo esquemático de los principales escenarios en carbono 14 para el sistema del Lago Pocoyu según el predominio del clima y el nivel del lago.

las edades han sido calculadas por interpolación linear, a excepción de los niveles más antiguos y los más recientes obtenidos por extrapolación linear del nivel adyacente (Mourguiart et al, 1992). Tres hiatus han sido puestos en evidencia (Mourguiart et al 1995). El más importante, entre ca 18.000 y 15.000 años BP, correspondiente probablemente a una fase de emersión asociada o no a un proceso erosivo. Los otros hiatus están situados alrededor de ca 9.000 años BP por el más antiguo y en el tope del testigo para el más reciente (los últimos siglos). Sobre este sondeo, 2 tipos de información esenciales han sido obtenidos a partir de análisis sedimentológicos, palinológicos y de macrofauna béntica (ostracodos). Las variaciones de la altura del agua y una estimación de la temperatura ambiente al momento del depósito.

La parte inferior del testigo (540-200 cm o ca 25 000-18 000 años BP) se caracteriza por bajos niveles lacustres (altura del lago Huiñaimarca comprendido entre 3790 y 3795) y las temperaturas en general inferiores de 3,5 a 4°C con relación a las medianas actuales excepto para los niveles 360-300 cm (ca 20 000 – ca 19 000 años BP) marcados por un enfriamiento intenso del orden de 6°C. Seguido a un hiatus mayor, el tardi-glacial (ca 15 000- ca 10 500 años BP) caracterizado por temperaturas que se han calentado considerablemente y los niveles de agua aumentaron progresivamente. El inicio del Holoceno esta marcado por una fase árida que conduce a un desecamiento completo del lago en lugar donde se tomó la muestra alrededor de 8000 años BP (niv.155cm). Las temperaturas serán la mayor parte del tiempo semejante a los valores actuales. Luego los niveles lacustres han sido construidos a partir de una función de transferencia ostracodos/batimetría cuyos resultados han sido publicados (Mourguiart & Roux, 1990; Mourguiart et al, 1992, 1995 a y b, 1997; Wirrmann & Mourguiart, 1995). De manera sintética el Holoceno medio (ca 8000 años BP – ca 3900 años BP) es caracterizado por bajos niveles lacustres. Una brusca subida del plano de agua continúa a este período seco. Luego, y probablemente hasta el inicio de la Pequeña Edad del Hielo, los niveles se mantienen estables a algunos metros mas abajo que el actual, a excepción de breves eventos secos, el más importante se sitúa alrededor de 2300 años BP. Si, en este testigo, los últimos siglos faltan, algunos datos históricos existentes permiten de llenar en parte esta laguna y en particular de pensar que el lago Titicaca a alcanzado niveles excepcionales entre XVI y XVIII siglos (Wirrmann & de Oliveira Almeida, 1987).

Otros testigos igualmente han proporcionado enseñanzas interesantes sobre la paleo hidrología del lago Titicaca durante el Holoceno. El detalle de los resultados y su comentario han sido dados en una serie de artículos (Mourguiart et al, 1992 a y b, 1997). La información principal concerniente a la evolución de los niveles del lago Chucuito está representado en la Fig. 4. Tres fechados de antiguas terrazas lacustres del lago Huiñaimarca (Región de Tiwanacu y Katari) han permitido precisar la altura mínima alcanzado por el lago Titicaca durante la fase del lago Minichin.

EL LAGO POCOYU

Unos cincuenta fechados C14 y U/Th a permitido reconstruir una parte de la historia paleo hidrológica de este inmenso lago. En la figura 3 están representadas las edades obtenidas en función de la altura aproximada de su obtención en el terreno solo para el evento Tauca. La curva reconstruida corresponde a la altura mínima alcanzado por el plano de agua al instante considerado, los fechados fueron realizados para la mayor parte sobre organismos acuáticos. La fase lacustre Tauca aparece mucho más compleja en su evolución.

Además, los niveles máximos alcanzados por el lago Pocoyu en el paroxismo de la fase Tauca sobrepasa ampliamente las estimaciones de Servant y Fontes, (1978).

En resumen estos datos confirman la existencia de varias fases de altos niveles lacustres durante los últimos 100 000 años. Para las dos fases más recientes y mejor conocidas (fase Minchin y Tauca), el cuadro cronológico comienza a ser conocido con una precisión satisfactoria, si los problemas inherentes a los fechados efectuados sobre carbonatos no es una fuente de error muy importante. Lo ideal sería obtener una serie de fechados sobre materia orgánica de origen terrestre. Sin embargo, muy poco se conoce sobre las fases inter-lacustres, algunos sondeos realizados en el fondo de las cuencas no han sido fechados.

DISCUSIÓN

Antes de plantear una discusión sobre las reconstrucciones establecidas para las dos cuencas lacustres (lago Titicaca al norte y el lago Pocoyu al sur), es necesario tener en cuenta algunos aspectos. En efecto, la comparación directa de los datos es arriesgada por varios hechos: En principio, en el caso del lago Huiñaimarca se tiene un muestreo de zonas profundas, permitiendo así reconstruir precisamente los periodos de niveles lacustres bajos. Al contrario, en el caso del lago Pocoyu, se basó sobre la reconstrucción de los niveles lacustres altos por fechados de los depósitos en afloramientos. Además los fechados han sido obtenidos sobre materiales diversos. Tampoco podemos desechar totalmente la posibilidad que los lagos hayan tenido efectos reservorios variables en el tiempo.

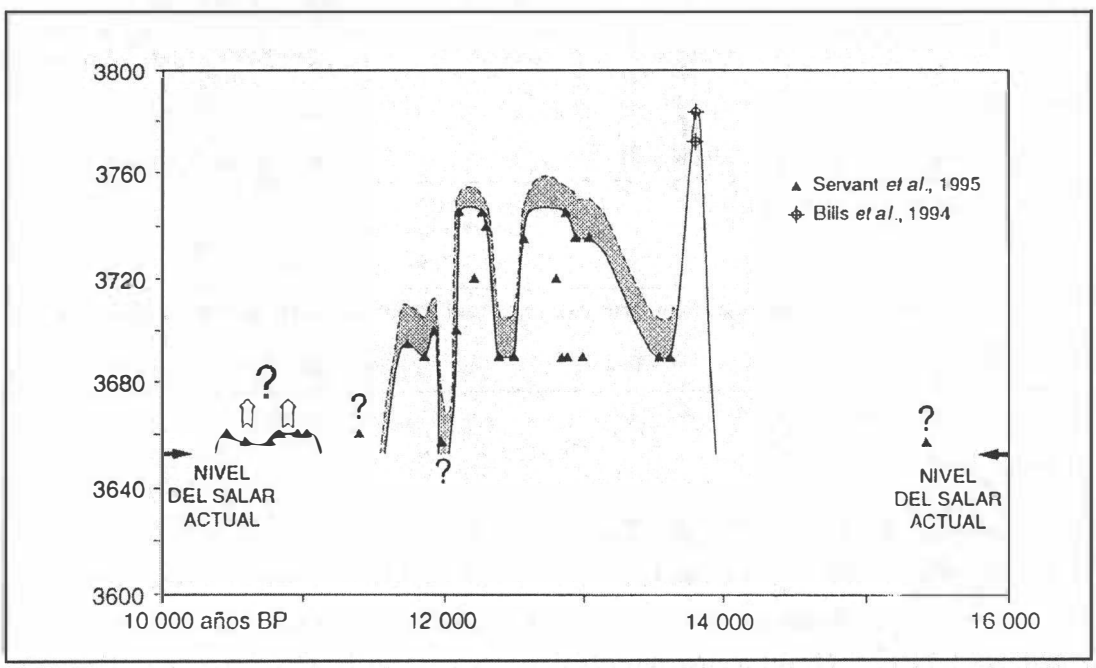


Figura 3
Edades Carbono 14 versus altura de recolección de muestras en la cuenca del Lago Pocoyu (Según datos de Servant et al., 1995 y Bills et al., 1994). El trazo entero corresponde al nivel mínimo alcanzado por el paleolago.

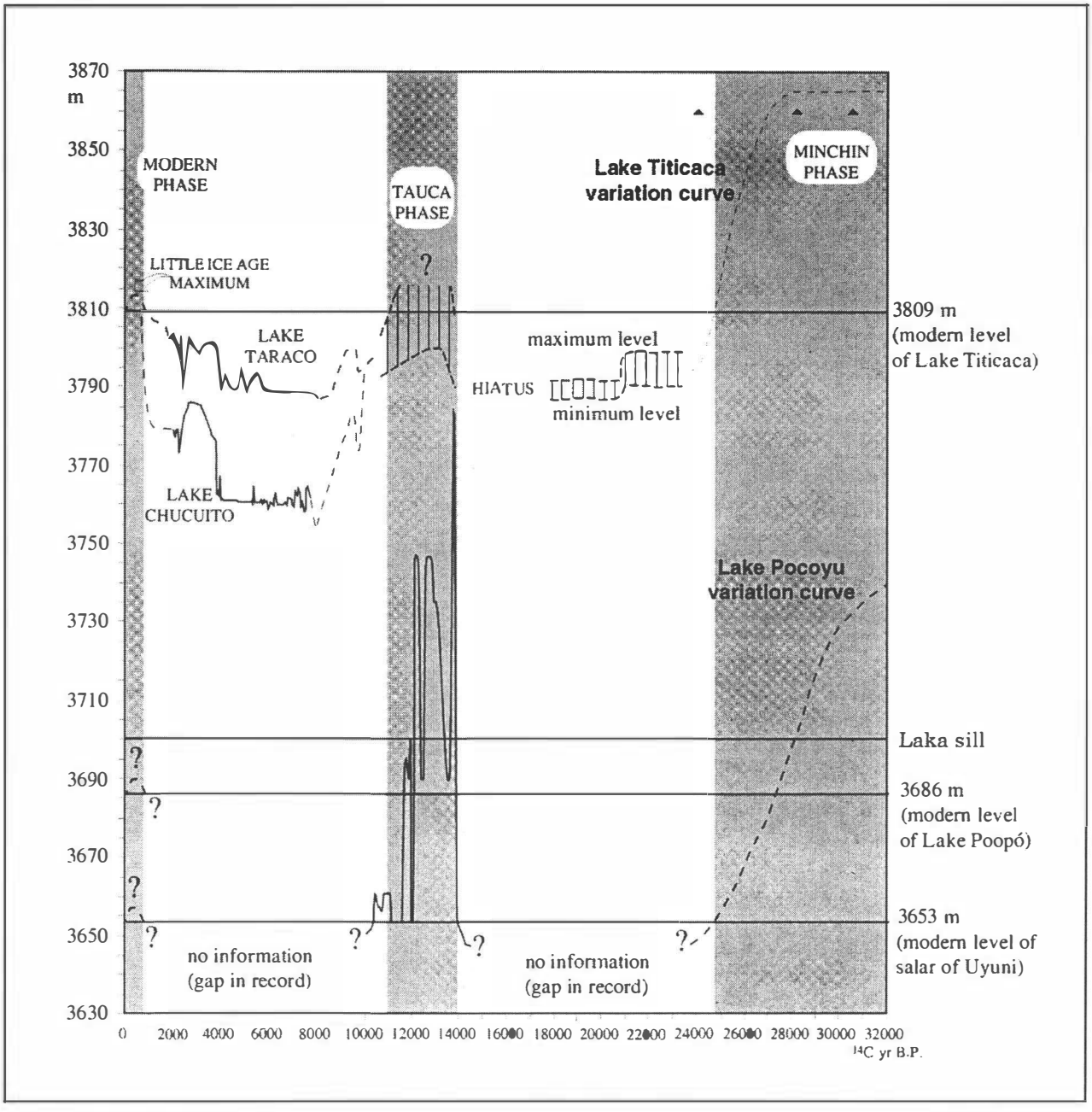


Figura 4

Fluctuaciones de los niveles del lago Titicaca y lago Pocoyu durante los últimos 32,000 años compilados de referencias discutidas en el texto. Los triángulos representan muestras fechadas en terrazas lacustres; las líneas verticales representan resultados de análisis de polen; la línea llena representa resultados de la función de transferencia en ostracodos (cores TD1 y TJ de los lagos Huiñaimarca y Chucuito, respectivamente; error estándar de 0.81 y 2 m aproximadamente); la línea segmentada representa datos históricos; se resaltan con bandas sombreadas los niveles altos de los lagos.

Bajo estas consideraciones, es posible sacar algunas conclusiones generales, presentados a manera de comparación directa entre los dos sistemas (fig. 4). Por primera vez, los fechados indican claramente que los niveles de agua han sido mucho más altas que el actual durante la fase Minchin tanto en el norte como en el sur y es antes de 30.000 años BP (ca 40.000 U/Th años BP; Rondeau, 1990; Causse et al., 1995). Los dos planos de agua conocen luego una fase regresiva. En el sur faltan datos, mientras que en el norte, el secamiento progresivo del lago Huiñaimarca fue registrado en el punto TD1. Globalmente, el último Máximo Glaciar aparece entonces como seco y frío. Este hecho ya fue bien conocido en América del sur (Markgraf, 1989; Colinvaux et al, 1996, 1997) aunque en la mayoría de los lugares este período corresponde a un hiatus sedimentario (Ledru, 1993; Sifeddine et al., 1994a y b; Ledru et al., 1997). El tardi glaciar es un periodo cuyas temperaturas globales se recalienta rápidamente en América del sur (Markgraf, 1989). El lago Titicaca no escapa a esta regla. Aunque no ha sido posible de precisar el nivel máximo alcanzado por el lago, los fuertes porcentajes de algas así como la más baja velocidad de sedimentación, una de las características de las zonas profundas (Pourchet et al., 1994) son dos elementos que convergen y dejan suponer que el lago Titicaca ha podido, sobrepasar su nivel actual durante la fase Tauca (ca 14.000- 11.000 años BP). Los estudios efectuados en las regiones vecinas han llegado a las mismas conclusiones (Messerli et al., 1993; Grosjean, 1994 Juvigni et al., 1997). Además el lago Pocoyu conoce en este momento su pleno desarrollo. El principio del Holoceno corresponde a una fase de descenso muy importante de los niveles del lago Titicaca, que se divide en dos subcuencas (Mourguiart et al., 1995). En oposición el período precedente, el norte de Chile no parece reaccionar de la misma manera: el clima regional se hace relativamente húmedo (Messerli et al., 1993 Grosjean, 1995; Grosjean et al., 1995). Sin embargo en el mismo momento, los glaciares retroceden muy rápidamente (Seltzer, 1992; Clapperton, 1993: Seltzer et al., 1995) esta paradoja ha sido objeto de una discusión profunda en un artículo reciente (Martín et al., 1997). De acuerdo a estos autores el Ecuador Meteorológico habría quedado en promedio más al norte que en nuestros días durante el periodo comprendido entre 10.500 y 8.000 años BP (12.400 años BP cal) produciendo un déficit de precipitaciones estivales sobre el Altiplano. Un cambio importante se produce entonces: Los niveles del lago Titicaca suben sensiblemente. Este acontecimiento posiblemente ha sido global (Alley et al., 1997; Stager & Mayewski, 1997; de Vernal et al., 1997). El Holoceno medio (ca 8.000-3.900 C14 años BP es caracterizado por niveles lacustres en promedio bajos pero con fluctuaciones importantes de corta duración. Esta larga fase seca es bien conocida en otras partes (Markgraf, 1989, Valero-Garces et al, 1996; Aboott et al, 1997b; Grosjean et al, 1997 a y b). Martín et al, (1992,1993, 1995) interpretado más como un período inestable climáticamente: Los períodos en promedio húmedos suceden a los períodos en promedio secos. En el caso del Altiplano boliviano, al menos una parte de estas fases áridas corresponderían a las perturbaciones del clima del mismo orden que aquellas observadas en nuestros días como los fuertes eventos El Niño. Aunque las cuencas del sur no han proporcionado testigos fechados, Risarcher & Fritz (1991, 1992) han especulado sobre la existencia de una fase árida a partir de datos geoquímicos. Otro cambio mayor y tal vez global (Kelts, 1997) se produce alrededor de 3.900 C14 años BP (Fig. 3) y corresponde tal vez a la instalación de condiciones actuales. El último evento sobresaliente histórico, sería sincrónico con la Pequeña edad del Hielo, que está perfectamente registrado en los glaciares situados al norte del lago Titicaca (Thompson et al, 1986).

CONCLUSIÓN

El trabajo multidiciplinario utilizado en este estudio nos ha permitido poner en evidencia los importantes cambios ocurridos en los paisajes de las cuencas lacustres del Altiplano durante los últimos 40 000 años BP. Tres fases de altos niveles lacustres (Minichip, Tauca y la situación actual) y dos largas fases áridas (durante el Ultimo Máximo Glaciar así como una gran parte del Holoceno entre 10.500 y ca 3.900 años C14 años BP) son las características esenciales de los paleoambientes de esta parte de los Andes, por ahora queda por explicar los mecanismos climáticos tomando en cuenta estas grandes modificaciones en particular durante el Pleistoceno, el Holoceno es mejor conocido (Markgraf 1989, Martín et al, 1993, 1997, Grosjean et al, 1995, 1997; Abbott et al 1997b), parece además que ciertas perturbaciones puestas en evidencia corresponden a cambios globales del sistema climático.

BIBLIOGRAFÍA

ABBOTT, M.B., BINFORD, M.W., BRENNER, M. y KELTS, K.R., 1997a. A 3500 14C yr high-resolution of water changes in Lake Titicaca, Bolivia/Peru. Quaternary Research, 47: 169-180.

ABBOTT, M.B., SELTZER, G.O., KELTS, K.R. y SOUTHON, J., 1997b. Holocene paleohydrology of the tropical Andes from lake records. Quaternary Research, 47:70-80.

ABSY,M.L., CLEFF, A.L.M. FOURNIER, M., MARTIN, L. SERVANT, M.,

SIFEDDINE, A., da SILVA, M.F., SOUBIES, F., TURCQ, B. y Van der.

AGASSIZ, A. 1875. Reports on the cientific results of the expedition to the eastern tropical Pacifico. Mem.Mus. of Comparat. Zool. Havard College, Cambridge Mass, 33.

AHLFELD, F.E. 1946 Geología de Bolivia. Rev. Mus. La Plata (nueva serie), Secc. Geol., 3: 5-370.

AHLFELD, F.E. y BRANISA L. 1960. Geologia de Bolivia. Instituto Boliviano de Petróleo, Don Bosco (ed.), La Paz, 245 p.

ALLEY, R.B.,MAYEWSKI,P.A.,SOWERS,T.,STUIVER,M.,TAYLOR,K.C. y

ARAVENA, R., PEÑA, H., GRILLI, A., SUZUKI, O. y MORDECKAI, M., 1989. Evolución isotópica de las lluvias y origen de las masas de aire en el Altiplano chileno, IAEA-TECDOC-502, pp. 129-142.

ARGOLLO, J. y MOURGUIART, Ph., 1995a. Paleohidrología de los últimos 25000 años en los Andes bolivianos. Bull. Inst. fr. Etudes Andines, 24 (3): 551-562.

ARGOLLO, K y MOURGUIART, Ph.,1995b. Los climas cuaternarios de Bolivia. In: Climas Cuaternarios en América del Sur, J. Argollo y Ph. Mourguiart (eds.), Editions ORSTOM-La Paz: 135-155, La Paz, Bolivia.

BARD, E., ARNOLD, M., FAIRBANKS, R.G. y HAMELIN, B. 1993. Radiocarbon, 35: 191-199.

BARTON, C.E. y BURDEN, F.R., 1979. Modifications to the Mackereth corer. Limnol. Oceanogr. 24(5): 977-983.

BILLS, B.G., de SILVA, S.L., CURREY, D.R. EMERGER,R.S.,LILLQUIST, K.D., DONNELLAN, A.y WORDEN, B.,1994. Hydro-isostatic deflection and tectonic tilting in the central Andes: Initial results of a GPS survey of Lake Minchin shorelines, Geophys. REs. Lett., 21 (4): 293-296.

BOWMAN, I. 1909. Physiography of the Central Andes. Amer. Journ. Sci., 4 (28): 197-217.

BOWMAN, I. 1914. The results of an expedition to the central Andes. Bull. Am. Geogr. Soc., 46: 161 p.

BOWMAN, I. 1916 The Andes of southern Peru. New York Geogr. Soc., spec. Publ. J.: 336 p.

CAUSSE, C., GHALEB, B., HILLAIRE-MARCEL, C.,CASANOVA,J.,FOURNIER, M., ROUCHY, J.M. y SERVANT, M. 1995. New U-Th dates (TIMS) from algal bioherms of the "Minchin" (Middle Wurm) and from stromatolites of the early "Tauca" (Late Glacial) lacustrine phases of Bolivian Altiplano. Terra nova Abstracts, 7:267.

CLAPPERTON, C.M., 1993. The Quaternary geology and geomorphology of South America, Elsevier, Amsterdam, 779 p.

COLINVAUX, P.A., BUSH, M.B. STEINITZ-KANNAN, M. y MILLER, M.C. 1997. Glacial and postgalcial pollen records from the Ecuadorian Andes and Amazon. Quat. Res., 48:69-78.

COLINVAUX, P.A., LIU, K-B DE OLIVEIRA, P.,BUSH, M.B. MILLER, M.C. y STEINITZ-KANNAN, M. 1996. Temperature depression in the lowland tropics in glacial times. Climatic Change, 32:19-33.

CURTIS, J.H.,HODELL, D.A., BRENNER, M. y BINFORD,M.W. 1993.Little Ice Age Recorded in Sediments from Lake Titicaca, Bolivia. Eos, Fall meeting, 118-119.

GHALEB, B., GARIEPY, C., HILLARIE-MARCEL, C., KAUFMAN, A. y CAUSSE, C., 1991. Analyses des déséquilibres Th/U par spectrométrie de masse: une base d'appréciation de l'ouverture ou de la clotûre du système radioactif. Réunion annuelle de l'Association Québéecquoise pour l'Étude du Quaternaire (AQQUA), Montréal, Canada.

GRAF, K. 1992. Pollendiagramme aus den Anden. Eine Synthese zur klimageschichte und Vegetationsentwicklung seit der letzen Eiszeit. Schriften Physische Geoprophie Univresitat Zurich, 34, 120 p.

GRAF, K. 1994 Discussion of palynological methods and paleoclimatical interpretations in northern Chile and the whole Andes. revista Chilena de Historia Natural, 67:405-415.

GROOTES, P.M., 1993 Interpreting Continental Oxigen Isotope Records, In: Swart, P,K., Lohmann, K.C., McKenzie, J. and Savin, S. (eds.) Climate Change in Continental Isotopic Records, Geophys. Monogr. 78, pp. 37-46.

GROSJEAN M. 1994. Paleohidrology of the Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-galcial times. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 109,89-100.

GROSJEAN, M. GEYH, M.A. MESSERLI, B. y SCHOTTERER, U.,1995a. Late glacial and early Holocene lake sediments, ground-water formation and climate in the Atacama Altiplano 22-24°S. Journal of Paleolimnology, 14:241-252.

GROSJEAN, M., MESSERLI, B.,AMMANN, C., GEYH, M.A., GRAF, K., JENNY, B., KAMMER, K. NUÑEZ, L., SCHREIER, H., SCHOTTERER, U., SCHWALB, A. VALERO-GARCES, B.L., y VUILLE,M.,1995b. Holocenen environmental changes inthe Atacama Altiplano and paleoclimatica implications. Bull, Inst. fr. Etudes Andines, 24 (3): 585-594.

GROSJEAN, M., NUÑEZ, L., CARTAJENA, I. y MESSERLI, B.,1997. Mid-Holocene climate and culture change in the Atacama desert, northern Chile. Quaternary Research, 48:239-246.

HANSEN, B.C.S., WRIGHT, H.E., Jr y BRADBURY, J.P., 1984 Pollen studies in the Junin area, central Peruvian Andes, Bill. Geol. Soc. Am., 95, pp. 1454-1465.

HASTENRATH, S. y KUTZBACH, J. 1985. Late Pleistocene climate and water budget ot the South American altiplano. Quaternary Research, 24,249-256.

JUVIGNE, E.,THOURET, J.-C., GILOT, E., GOURGAUD, A., GRAF, K., LECLERCQ, L., LEGROS, F. & URIBE, M. 1997 Étude téphrostratigraphique et bio-climatique dur Tardiglaciaire et de l'Holocène de la Laguna Salinas, Pérou mçeridional. Géographie Physique et Quaternaire, 51(2), 221-233.

KELTS, K.R., 1997. Aquatic response signatures in lake core sequences as global evidence of rapid moisture balance shifts around 4000 years ago. Terra Nova, 9:626.

LAVENU, A. 1992. Formation and geological evolution. In: C. Dejoux and A. Iltis (eds), Lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge, Monogr. Biol., 68, 3-15, Kluwer Academic Publishers.

LAVENU, A., FORNARI, M. y SEBRIER, M. 1984. Existence de deux nouveaux épisodes lacustres quaternaires dans l'Altiplano péruvo-bolivien. Cahiers ORSTOM, Série Géologie, 14 (1), 103-114.

LEDRU, M.-P. 1993 Late Quaternary environment and climatic changes in central Brazil. Quaternary Research, 39: 90-98.

LEDRU M.-P.SOARES BRAGA, P.I.,SOUBIÉS, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SUGUIO, K. y TURCQ, B. 1996. The last 50.000 years in the Neotropics (southern Brazil): evolution of vegetation and climatd. Palaeogeography Palaeoecology Palaeclimatology, 123:239-257.

MARKGRAF, V. 1989. Palaeoclimates in Central and SouthAmerica since 18,000 BP based on pollen and lake sediments. Quaternary Science Reviews, 8, 1-24.

MARTIN, L.,ABSY, M.L. FLEXOR, J.M., FOURNIER, M.,MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A. y TURCQ, B. 1992b. Enregistrements de contidion de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7000 dernières années. C.R. Acad.Sci.Paris, t. 315, Série II, 97-102.

MARTIN,L.,ABSY,M.L. FLEXOR, J.M., FOURNIER, M. MOURGUIART, Ph, SIFEDDINE, A. and TURCQ, B.,1993. Southern Oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7000 years. Quat. Research, 39, 338-346.

MARTIN, L.BERTAUX,J.,CORRÉGE,T., LEDRU, M.-P MOURGUIART, Ph.,SIFEDDINE A., SOUBIÉS, F., WIRRMANN,D.,SUGUIO, K. y TURCQ, B.,1997. Astronomical forcing of contrasting rainfall changes in tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr B.P., Quat. Res., 47, 117-122.

MARTIN L.,BERTAUX, J.,LEDRU, M.-P, MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A., SOUBIÉS, F. y TURCQ, B., 1997. Perturbaciones del régimen de las lluvias y condiciones de tipo El Niño en América del Sur tropical desde hace 7000 años. Bull. Inst. fr. Etudes Andines, 24 (3): 595-605.

MESSERLI,B.,GROSJEAN, M., BONANI, G., BÜRGI A.,GEYH, M.A., GRAF, K., RAMSEYER, K., ROMERO, H., SCHOTTERER, U., SCHREIER, H. y VUILLE, M., 1993. Climate change and dynamics of natural resources in the Altiplano of northern Chile during Late Glacial and Holocene time. First synthesis. Mountain Research and Development, 13 (2): 117-127.

MINCHIN, J. 1882. Notes on a journey through part of the Andean tableland of Bolivia. Proc. R. Geogr.Soc., 4: 67 p.

MOON, H.P. 1939.3. The geology and physiography at the Altiplano of Peru and Bolivia. In: The Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca in 1937. Trans. Linn. Soc. London, 3 (1), 27-43.

MOURGUIART, Ph, ARGOLLO, J. CARBONEL, P., CORRÉGE, T. y WIRRMANN, D. 1995. El lago titicaca durante el Holoceno; una historia compleja. In: Climas cuaternarios en América del Sur, J. Argollo y Ph. Mourguiart (eds). Edition ORSTOM-La Paz: 173-188 La Paz, Bolivia.

MOURGUIART, Ph., ARGOLLO, J., CORRÉGE, T., MARTIN, L., MONTENEGRO, M.E., SIFEDDINE, A. y WIRRMANN, D. 1997. Changements limnologiques et climatologiques dans le bassin du lac Titicaca (Bolivie), depuis 30.000 ans. C.R. Acad.Sic.París, 325: 139-146.

MOURGUIART, Ph., ARGOLLO, J. y WIRRMANN, D., 1995a Evolución paleohidrológica de la cuenca del lago Titicaca durante el Holoceno. Bull, Inst. fr. Etudes Andines, 24 (3): 573-583.

MOURGUIART, Ph., ARGOLLO, J. y WIRRMANN, D., 1995b Evolución del Lago Titicaca desde 25 000 años BP. In: Climas cuaternarios en América del Sur, J. Argollo and Ph. Mourguiart (eds.), Editions ORSTOM-La Paz: 157-171, La Paz, Bolivia

MOURGUIART, Ph., y CARBONEL, P., 1994. A quantitative method of palaeolake-level reconstructions using ostracod assemblages: an example form the Bolivian Altiplano, Hidrobiologia, 288: 183-193.

MOURGUIART, Ph. Y ROUX, M., 1990. Une approche nouvelle du problème posé par les reconstructions des paléoniveaux lacustres: utilisation d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes. Géodynamique, 5 (2): 151-165.

MOURGUIART, Ph., WIRRMANN, D., FOURNIER, M. y SERVANT, M., 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. C.R. Acad. Sci. Paris, série II, 315: 875-880.

MUSTERS, G.C. 1877. Notes on Bolivia to accompagny original maps. J.R. Geogr. Soc., 47:207.

NEWELL, N.D. 1949. Geology of the lake Titicaca region, Peru and Bolivia. Geol. Soc. Amer. Men., 58: 276 p.

POMPECKI, S.F.. 1905. Mastodon-rest aus dem interandinen Hochlande von Bolivia Paleontolographica, Stuttgart, 52:.

POURCHET, M., MOURGUIART, Ph.,PINGLOT, J-F.,PREISS, N., ARGOLLO, J., y WIRRMANN, D., 1994. Sédimentation récente dans le lac Titicaca (Bolivie), C.R. Acad. Sci. Paris, série lla, 319: 535-541

RISACHER, F. 1992. Geóchimie des lacs salés et croûtes de sel de l'Altiplano bolivien. Sciences Géologiques, Bulletin, 45, 3-4: 135-214, Strasbourg, France.

RISACHER, F. y FRITZ, B., 1992. Mise en évidence d'une phase climatique holocène extrêmement aride dans l'Altiplano central, para la présence de la polyhalite dans le salar de Uyuni (Bolivie). C.R. Acad. Sci. Paris, 314: 1371-1377

ROCHE, M.A., BOURGES, J., CORTES, J. y MATTOS, R. 1992a. Climatology and hidrology of the Lake Titicaca basin. In: C. Dejoux and A. Iltis (eds.), Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge, Monogr. Biol., 68:63-88, Kluwer Academic Publisher.

RODRIGO, L.A. y WIRRMANN, D. 1992. General aspects of present-day sedimentation. In: C. Dejoux and A. Iltis (eds.) Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge, Monogr. Biol., 68: 23-28, Kluwer Academic Publishers.

RONDEAU, B., 1990. Géochimie isotopique et géochronologie des stromatolites lacustres quaternaries de l'Altiplano bolivien. Mémoire de Maîtrise en Sciences de la Terre, Université du Québec, Montréal, Canada.

ROUCHY, J.M., SERVANT, M., FOURNIER, M. y CAUSSE, C. 1996. Extensive carbonate algal bioherms in upper Pleistocene saline lakes of the central Altiplano of Bolivia. Sedimentology, 43: 973-993.

SCHULER, M., BLANC-VALLERON, M.-M y RISACHER, F. 1995. La matière organique des alternances sel-marne du salar d'Uyuni (Altiplano, Bolivie). Études géochimiques et palynologiques. Sci. Géol., Bull., 48, 4: 211'247, Strasbourg, France.

SELTZER, G.O., 1992 Late Quaternary glaciation of the Cordillera Real, Bolivia. Journal of Quaternary Science, 7: 87-98

SELTZER, G.O., ROBDELL, D.T. y ABBOTT, M., 1995 Andean glacial lakes and climate variability since the Lasta Glacial Maximun. Bull. Inst. fr. Etudes Andines, 24 (3): 539-549

SERVANT, M. y FONTES J. Ch 1978 Les lacs quaternaries des hauts plateaux des Andes boliviennes Premières interprétations paléoclimatiques. Cahiers ORSTOM, Série Géologie, 10 (1), 9-23

SERVANT, M y FONTES, J. Ch. 1984. Les basses terrasses fluviatiles du quaternarie récent des Andes boliviennes. Datations para le 14C. Interprétation paléoclimatique. Cahiers ORSTOM, Série Géologie, 14 (1), 15-28

SERVANT, M., FOURNIER, M., ARGOLLO J., SERVANT-VILDARY, S., SYLVESTRE, F., WIRRMANN, D. y YBERT, J.-P (1995). La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. C.R. Acad. Sci. Paris, 320: 729-736

SIFEDDINE, A. BERTAUX, J., MARTIN, L., MOURGUIART, Ph., DISNAR, J.R., LAGGOUN-DÉFARGE, F., LALLIERS-VERGÉS, E. y COURTY, M.A., 1996 Premiers résultats de l'étude de la sédimentation lacustre d'un site de forêt d'altitude des Andes centrales. Implications paléoclimatiques. XVI Réunion des Sciences de la Terre, Orléans, 10-12 Avril 1996.

SIFEDDINE, A., BERTRAND, Ph., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SOUBIÉS, F., SUGUIO, K. y TURCQ, B. 1994a. La sédimentation organique lacustre en milieu tropical himide (Carajás, Amazonie orientale, Brésil): relation avex les changements climatiques au cours des 60 000 dernières années. Bull. Soc. géol. France, 165 (6): 613-621.

SIFEDDINE, A., FRÖHLICH, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SOUBIÉS, F., TURCQ, B., SUGUIO, K. y VOLKMER-RIBEIRO, C., 1994b. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières annéss (Carajas, Amazonie, Brésil). C.R. Acad. Sci. París, 318: 1645-1652.

STAGER, J.C. y MAYEWSKI, P.A. 1997 Abrupt early to mid-Holocene climatic transition registered at the equator and the poles. Science, 276: 1834-1836.

STEINMANN, G., HOK, H. y BISTRAM, A. 1906. Zür Geologie des Suedöestrischen Bolivien. Zbl. Min., 5: 1-4

SYLVESTRE, F., SERVANT-VILDARY, S., FOURNIER, M. y SERVANT, M. 1996. Lake levels in the southern Bolivian Altiplano (19°-21° S.) during the Late Glacial based on diatom studies. Int. J. Salt Lake Res., 4: 281-300

SYLVESTRE, F., SERVANT-VILDARY, S., SERVANT, M. y CAUSSE, C. 1997. Lacustrine chronology and paleoenvironments based on diatom studies. Int. J. Salt Lake Res., 4: 281-300.

TALJAARD, J.J. 1972. Synoptic meteorology of the southern hemisphere. In: Meteorology of the Southern Hemisphere, Newton, C.W. (ed)., Meteorol. Monogr., 13, 139-213.

THOMPSON, L., MOSLEY-THOMPSON, E.P., DANSGAARD, W. y GROOTES, P.M. 1986. The "Little Ice Age" as recorded in the stratigraphy of the Quelccaya ice cap. Science, 234, 361-364.

TROLL, C. 1927. Forschungreisen in den zentralen Anden von Bolivia und Peru. Peterm. Mitt., 73, 41,43

DE VERNAL, A., HILLAIRE-MARCEL, C., VON GRAFENSTEIN, U. y BARBER, D., 1997. Researchers look for links among paleoclimate events. Eos, June 17, 1997: 247-249.

VALERO-GARCÉS, B.L., GROSJEAN, M., SCHWALB, A., GEYH, M.A., MESSERLI, B. y KELTS, K.R. 1996. Limnogeology of Laguna Miscanti: evidence for mid to late Holocene moisture changes in the Atacama Altiplano (Northern Chile). Journal of Paleolimnology, 16: 1-21.

VUILLE, M. y AMMANN, C. 1997. Regional snowfall patterns in the high, arid Andes. Climatic Change, 36: 413-423.

WIRRMANN, D. and MOURGUIART, Ph., 1995. Late Quaternary spatio-temporal limnological variation in the Altiplano of Bolivia and Peru, Quat. Res., 43, pp. 344-354.

WIRRMANN, D. y de OLIVEIRAALMEIDA, L.F., 1987. Low Holocene level (7700 to 3650 years ago) of Lake Titicaca (Bolivia). Palaeogeog. Palaeoclim. Palaoecol., 59, pp. 315-323

WIRRMANN, D., YBERT, J. P. y MOURGUIART, Ph., 1992. A 20 000 years paleohydrological record from Lake Titicaca, In: C. Dejoux andA. Iltis (eds), Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge, Monogr. Biol., 68, pp. 40-48, Kluwer Academic Publishers.

YBERT, J.-P., 1988. Apports de la palynologie à la connaissance de l'histoire du lac Titicaca (Bolivie-Pérou) au cours du Quaternarie récent, Inst. fr. Pondichery, Trav. sec. sci. techn., 25, pp. 139-150.

YBERT, J.-P., 1992. Ancient lake environments as deduced from pollen analysis, In: C. Dejoux andA. Iltis (eds.), Lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge, Monogra. Biol., 86, pp. 49-60, Kluwer Academic Publishers.

Distribución y características del volcanismo cenozoico en el Lago Titicaca

Por: *Waldo Arturo Avila - Salinas*[1]

RESUMEN

En este estudio se dan a conocer importantes aspectos, relativos a la distribución geográfica, naturaleza geológica, rango estratigráfico, composición y petrología de las rocas volcánicas cenozoicas existentes en los alrededores del Lago Titicaca (en territorio Peruano y Boliviano).

Se enfatiza la composición química, nomenclatura y génesis de las volcanitas, cuyos caracteres petroquímicos señalan la derivación de estas rocas ígneas de magmas primarios basálticos, engendrados en el manto astenosférico subcontinental.

Las rocas volcánicas mencionadas ocupan una vasta área en la parte peruana del Titicaca que por su rango cronoestratigráfico se incluye en los grupos: Tacaza, Sillapaca y Barroso de edades: oligocena - miocena inferior; miocena media y miocena superior, respectivamente.

Las volcanitas cenozoicas de la parte boliviana del Lago son predominantemente domos dacíticos y volcanes en escudo, que afloran en el borde lacustre (v.gr. Jacha Tata en Pto. Acosta; el púlpito del Diablo; cerros de Jancko Amaya cerca de Santiago de Huata). La edad miocena de estas rocas extrusivas permite correlacionarlas con las lavas félsicas de los grupos Sillapaca y Barroso, principalmente con el volcán Ccapia de Yunguyo.

Por su composición química las volcanitas del grupo Tacaza (tales como traquibasaltos, mugearitas y traquiandesitas) señalan una naturaleza alcalina, similar aquella de las lavas máficas alcalinas de las formaciones Abaroa y Mauri. Inferior del altiplano norte de Bolivia. Mientras que las rocas de los grupos Sillapaca y Barroso exhiben una composición calcoalcalina (con dacitas y andesitas potásitas predominantes)

1 Academia Nacional de Ciencias de Bolivia – Casilla 5829 – Tel. Dom.: (591 2) 2406618 – Tel.(591 2) 2363990 – ANCB La Paz - Bolivia.

se postula un origen mantélico para estas rocas, a partir de la cristalización fraccionada de un magma primario de peridotita granatifera (lherzolita), generado en el manto atmosférico el cual se enriqueció en constituyentes alcalinos volátiles (K, Na, Ba, Sr), durante su ascensión en la corteza, engrosada en el proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca.

Como conclusión de este estudio se considera que la distribución espacio – temporal de las rocas volcánicas cenozoicas en los alrededores del Lago Titicaca es un proceso magmatogénico vinculado al proceso delaminación del manto superior y subducción de la litosfera oceánica, previos a la formación del espejo lacustre que no debe ser interpretado como consecuencia de fenómenos limnológicos sino tectomagmáticos.

SUMMARY

In this study, we are given the knowledge of important aspects, relative to the geographical distribution, geologic nature, stratifgraphic range, composition and petrology of the volcanic rocks belonging to the Cenozoic at the surroundings of the Titicaca lake (both Peruvian and Bolivian territory).

It is emphasized the chemical composition, nomenclature and genesis of the igneous rocks of basaltic primary magmas, engendered in the mantle astenosferic subcontinental.

The mentioned volcanic rocks occupy a vast area at the Peruvian part of the Titicaca whereas is included on the groups by their range cronostratigraphic: Tacaza, Sillapaca and Barrosao, belonging to the ages: Oligocene - inferior Miocene; half Miocene and superior Miocene, respectively.

The cenozoic volcanitas of the Bolivian part of the lake is predominantly domes dacitics and volcanic shields that appear at the lacustrine border (v. gr. Jacha Tata in Pto. Acosta; the Devil's Pulpit; hills of Janko Amaya near Santiago of Huata). The Miocene age of these rocks extrusive allows to correlate them with the felsic laves of the groups Sillapaca and Muddy, mainly with the volcano Ccapia of Yunguyo.

For their chemical composition the volcanitas of the group Tacaza (such as traquibasalts, muegearits and traquiandesits) they point out on alkaline nature, similar to that of the alkaline mafics lavas of the Abaroa formation and of the Mauri Inferior of the north highlands of Bolivia. While the rocks of the groups Sillapaca and Muddy they exhibit a calcoalcalin composition (with dacitas and andesitas potasics predominants). A mantelic origin is postulated for these rocks, starting from the fractional crystallization of a primary magma of peridotita granatifer (lherzolita), generated at the astenosferic mantle which got rich alkaline volatile (K,Na, Ba, Sr) constituents, during its ascension in the bark, augmented by the process of subduction of the oceanic badge where it is born.

As conclusion of this study it is considered that the space-temporary distribution of the Cenozoic rocks volcanic on the surroundings of the lake Titicaca is a magmatogenic process linked to the process of

delamination of the superior mantle and subduction of the oceanic lithosphere, previous to the formation of the lacustrine mirror that should not be interpreted as consequence of limnologic phenomenon's but tectomagmatic.

INTRODUCCIÓN

Aunque la investigación geológica de la rocas igneas existentes en los alrededores del Lago Titicaca data de principios del siglo pasado (cf. Douglas, 1914) se debe a Newell (1949) un compendio de la estratigrafía y características litológicas de las rocas aflorantes de la región lacustre.

En lo que respecta a la ocurrencia de las rocas volcánicas cenozoicas de las inmediaciones del Lago se dispone del voluminoso estudio de Klinck et al. (inédito de 1986), el cual establece sustanciales aspectos relativos a la estratigrafía, rasgos tectovolcánicos y características petrológicas de las volcánicas existentes en la parte peruana del Titicaca. No acontece lo propio con las rocas volcánicas cenozoicas de la parte boliviana del Lago, donde las referencias literarias son breves (cf. Rivas, 1968). Consecuentemente, en este estudio se formularán varias consideraciones relativas al hallazgo de volcanitas dacíticas en el territorio boliviano circundante al Lago.

Bosquejo Geológico

En la calificada opinión de Klinck et al. (inédito) respecto al de la parte peruana del Titicaca estos investigadores destacan tres fases sucesivas del volcanismo, a saber: Tacaza (del Oligoceno superior – mioceno inferior), Sillapaca (Mioceno Medio) y Barroso (Mioceno Superior – Plioceno); aunque el volcanismo del sur del Perú ha continuado hasta el reciente con el grupo Ampato, tal entidad litoestratigráfica no se manifiesta en las proximidades del Titicaca.

El término "Volcánicos de Tacaza" fue empleado inicialmente por Jenks (1946) pero publicado formalmente por Newell (1949), para describir las rocas volcánicas de la vecindad de la mina Tacaza en el cuadrángulo de Lagunillas. Según Klinck et al. (op. Cit. p 106) esas volcanitas constituyen un grupo que reposa discordantemente sobre las rocas mesosoicas del grupo Puno (Meso – Cenozoico). El grupo Tacaza está compuesto principalmente por lavas andecíticas e incluyen las formaciones Colquerane y Huaylillas. El espesor de las secuencias es variable, entre 250m. en el cuadrángulo de Juliaca, a mas de 1900 en el valle del Colca.

Las volcanitas Tacaza incluyen generalmente rocas de afinidad alcalina, tales como basaltos, traquibasaltos y traquiandesitas (shoshonitas).

La formación Colquerani, que aflora en el cuadrángulo de Lagunillas consiste de rocas piroclásticas de color blanco o castaño pálido con un espesor de 500 m. que pueden ser como conceptuadas como tobas líticas pero interpretadas como flujos cineríticos.

La formación Huaylillas descrita por Wilson y García (1962), ocurre en el Sud de Yunguyo donde estructura los flancos del cerro Ccapia en el cuadrángulo de Juli, con un afloramiento casi circular de 20 Km. de diámetro. En el tope de la secuencia se distinguen tobas cristalinas y lapilli lítico con abundante pómez y buena laminación se distinguen fragmentos de andesitas y dacitas, con cristales corroidos de biotita, augita y cuarzo, dispersos en una matriz criptofelsítica.

Las formaciones Huaylillas y Colquerane representan erupciones de tobas de flujo de tipo pliniano; mientras que las lavas de la secuencia superior del grupo Tacaza han sido producidas por erupciones de tipo estromboliano, espaciadas entre ciertos períodos de sedimentación molásica.

Ciertas dataciones K-Ar otrogan una edad Oligocena Superior (26 Ma. Ca.) a las rocas de la mina Tacaza; en tanto que la formación Colquerane tiene un rango de 20 Ma., y la formación Huaylillas entre 22.8 y 17.5 Ma. (Klinck et al. Op.cit.p 125).

En lo que concierne al grupo Sillapaca de Newell (1949) se puede aseverar que esta entidad yace con discordancia angular por encima del grupo Tacaza. En la región peruana del Titicaca este grupo tiene esporádicas manifestaciones, restringidas a la formación Huenque, en el cuadrángulo de Ilave, donde se aprecian características tobas de bloques interéstratificadas con lavas andesíticas porfiríticas cerca de su base.

Las tobas contienen bloques subredondeados de andesita, con una matríz tufácea de color gris pálido.

Se estima que violentas erupciones estrombolianas, causadas por la presión confinada bajo un cuello volcánico sellado, serían el mecanismo responsable para la formación de los bloques tufáceos.

Se dispone de dataciones radiométricas del orden de 14 Ma. Ca., para esta unidad.

El grupo Barroso, suprayacente, tiene una amplia difusión en la región lacustre peruana. Esta entidad, que excede de los límites de la así denominada: "Formación Barroso" de Wilson y García (1962), incluye a todas las rocas volcánicas y volcanoclásicas post – Sillapaca y pre – glaciación pleistocena. El grupo Barroso presenta varios centros emisores de sus rocas extrusivas en el área lacustre, a saber: a) El centro del volcán Ccapia junto a Yunguyo; b) el centro de Jilarata cerca de Juli; c) Los centros de Bencasi y Picacho en Ilave; d) San Miguel y San Antonio de Esquilache y e) el centro emisor de Umayo al oeste de Puno.

El volcán Ccapia, que yace a 11 Km. Al SE. de la población de Yunguyo, se caracteriza por los rasgos de la glaciación en su relieve cónico, los cuales contrastan con las tobas de la formación Huaylillas infrayacentes, que constituyen parte del grupo Tacaza.

El volcán Ccapia exhibe en su base una unidad de tobas de bloques de composición dacítica, que poseen una matríz de lapilli cristalino. Mientras que las lavas superiores enseñan un flujo mesoscópico. Por su composición son dacitas de biotita y augita, con pastas hialopilíticas o pilotáxicas. En el Ccapia existe una intrusión de pórfido cuarcífero, con un diámetro aproximado de 8 Km.

La historia eruptiva del Volcán Ccapia ha sido sumarizada por Klinck et al. (Op.cit.p 169); quienes indican una fase de volcanismo explosivo que originó las tobas de bloques, seguidas de la efusión de lavas dacíticas y el emplazamiento de un domo exogenético, también dacítico. Finalmente , un episodio terminal fue la intrusión de un dique de dacita porfirítica, orientado según una trayectoria N – S. Los fenómenos anteriormente citados se ajustan a un modelo de tipo peleano para flujos piroclásticos, descrito por Williams y Mac Birney (1979).

El centro de Jilarata que involucra una unidad piroclástica – la formación Casamiento – se compone de flujos de lavas traquiandesíticas, tobas de bloques y lapilli, que yacen al sud del pueblo de Juli.

Los cerros Bencasa y Picho son conos volcánicos enrodados, que ocurren al sur del cuadrángulo de Iliave. Las lavas de Bencasa y Picho son andesitas y traquiandesitas con bandeamiento de flujo. En el cuadrángulo de Pichicani del grupo Barroso integra los centros efusivos del cerro San Miguel y las lavas de San Antonio de Esquilache, que son mayormente andesitas afaniticas.

La formación Umayo, que está cerca de la laguna Umayo en el cuadrángulo de Puno, consiste de flujos traquiandesíticos seguidos de brechas de flujo y algunas tobas.

Las lavas de Umayo son traquiandesitas potásicas, caracterizadas por su color gris y estructura vesicular, que suele exhibir cristales de olivina, ortopiroxeno, clinopiroxeno y hornblenda en una pasta traquítica.

Las rocas volcánicas del grupo Barroso tienen edad Miocena Superior. Así, una datación de 9.5 Ma. indica que la base del grupo Barroso equivale al grupo Maure (que a su vez es similar a la formación Mauri Superior de Bolivia).

El centro de Jilarata en Juli posee una edad K-Ar de 6.5 Ma. Ca., y el volcán Ccapia tiene 7.2 Ma. ca., mientras que para la formación de Umayo se dispone de una datación de 6 Ma. (Kaneoka y Guevara, 1984).

Rocas Volcánicas Cenozoicas de la parte boliviana

Las rocas extrusivas cenozoicas que se manifiestan en la parte boliviana del Lago Titicaca se caracterizan por sus afloramientos esporádicos en los bordes lacustres, donde suelen constituir ciertos domos dacíticos aislados. De esta manera, en los alrededores de Puerto Acosta (Lat.S: 15° 35'; Long. W: 69° 18') se ubican los exodomos de los cerros: Jacha Tata y Jiska Tata, respectivamente; mientras que el peqeuño domo del cerro Yaya se sitúa junto a la orilla del lago, sobre un substrato de lutitas devónicas.

En el domo del Jacha Tata se distinguen una zona de exfoliación y diaclasamiento columnar, la lava dacítica de este domo tiene textura porfirítica gruesa con fenocristales de sanidina euhedral con macla de carlsbad (10-13 % en volumen), cuarzo anhedral, plagioclasa y láminas de biotita castaña oscura; que son minerales distribuidos en una mesostasis silicificada, compuesta por agregados sacaroidales de cuarzo microcristalino.

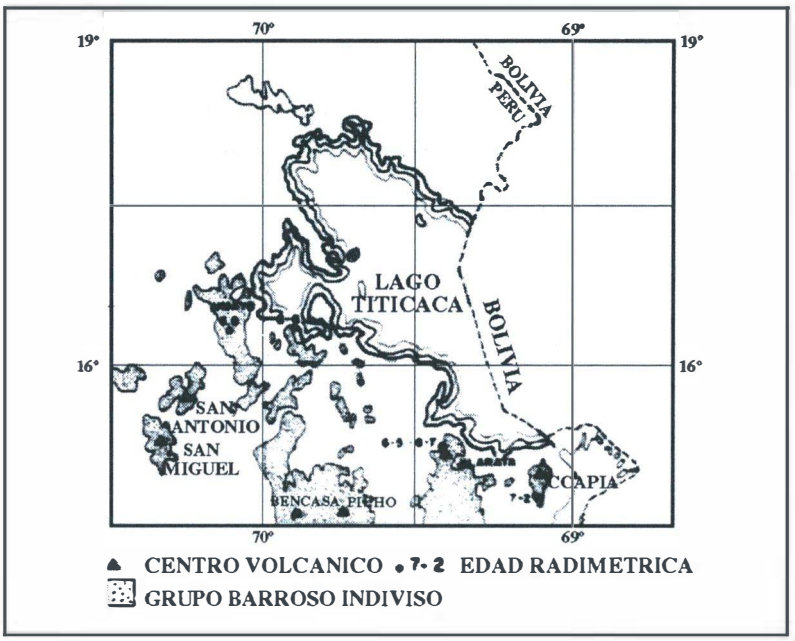


Figura 1
Distribución de las rocas volcánicas del grupo barroso en torno al Lago Titicaca.
(Modificado de Klinck et.at. (1986)

En el domo del Yaya se perciben ciertos bloques de 1-2 m de diámetro, resultante de la disyunción columnar que prevalece en los flancos del cerro y se orienta hacia la comunidad de Chakaki.

El cerro Killima, o "Púlpito del Diablo" se emplaza en la orilla oriental del Titicaca, junto al camino que vincula las poblaciones de Ancoraimes y Carabuco (Lat. S: 18° 42'; Long. W: 69° 00').

El Púlpito del Diablo constituye un domo lávico de forma cónica, que se destaca por su diaclasamiento tridimiensional, además de la presencia de estructuras fluidales y columnares. La roca del domo es una dacita biotitica de textura porfirítica gruesa que adopta una coloración gris verdosa por propilitización incipiente pero exhibe una patina negruzca debido a la deposición de óxido de manganeso en su superficie que ha motivado posiblemente el nombre de Killima (Carbon en aymara). En la dacita se destacan megafenocristales de sanidina euhedral con macla de carlsbad, abundante plagiocasa andesinica, cuarzo con corrosion marginal y escamas de biottita.

En algunos sitios se presentan ciertos xenolitos oscuros que llevan agregados de biottita.

El domo mencionado suprayace a los sedimentos pelíticos devónicos, metamorfizados ligeramente por contacto térmico de la roca ígnea (fenómeno que da lugar a la generación de pizarras mosqueadas).

También existen algunas digitaciones de lava dacitica en el flanco del norte del cerro.

La edad miocena inferior (22Ma.ca.) del domo del Púlpito del Diablo ha sido lograda por Mc Bride (1977), con empleo del método K-Ar.

El cerro Alata cerca de Ancoraimes es un domo dacitico de 70m de altura respecto al borde lacustre (Lat. S: 15°44'; Log. W: 68° 48').

Este domo lleva una colada de lava que desciende de su cima hacia el lago. La roca de Alata es una dacita biottica caracterizada por su textura porfirítica y estructura de flujo, en la cual de perciben ciertos fenocristales de cuarzo anhedral, sanidina y plagioclasa andesinica. Es notable la ocurrencia de un pequeño filón hidrotermal relleno de antimonita, que atraviesa la volcanita.

Muy semejante a la anterior es el exodomo del cerro Kakata, que se localiza en las proximidades (Lat. S: 15° 57'; Long.W: 68° 58').

El domo Kakata se destaca por su forma cónica y emplazamiento en el borde lacustre y también posee una lava que penetra en el Lago. También son dignos de mención ciertos pequeños filones de cuarzo lechoso que cortan los sedimentos devónicos del basamento. La lava dacítica del Kakata tiene color blanco grisáceo y textura porfirítica, con fenocristales de 2-3mm de diámetro, escamas de biotíta y fenocristales de plagioclasa euhedral . la pasta – originalmente vítrea- ha sido transformada por silicificación en agregados de calcedonia deutérica y cuarzo microcristalino.

Se puede interpretar la presencia de una profunda geofractura en el borde lacustre que vincularía entre sí a los domos dacíticos del Púlpito del Diablo, el cerro Alata y el Kakata, además del domo del cerro Torrini, caracterizado por forma empinada.

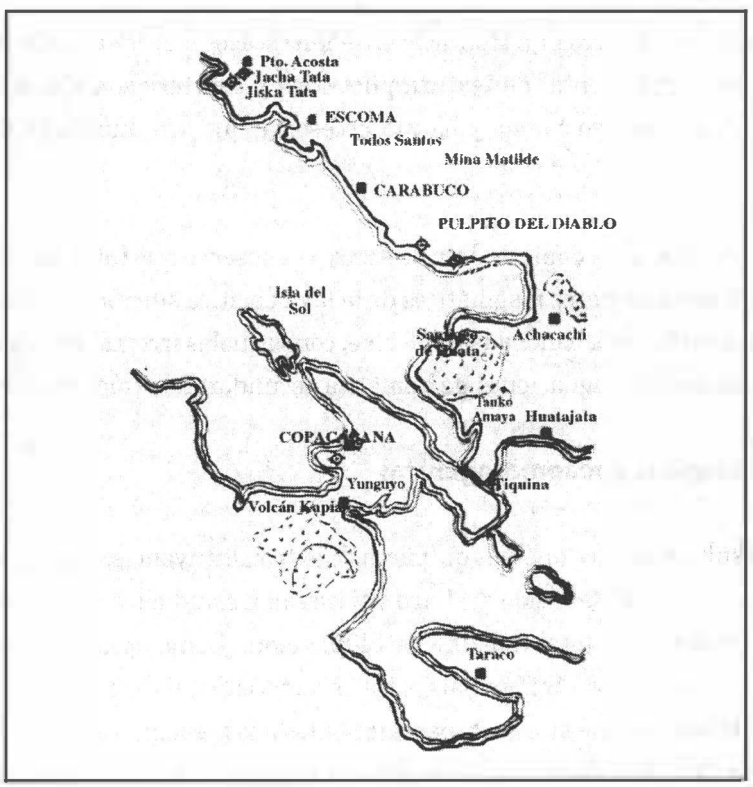


Figura 2
Volcanes y domos dacíticos miocenos en el Lago Titicaca.

Otras manifestaciones aisladas de lavas dacíticas ocurren, por ejemplo, en los alrededores de Carabuco, donde se aprecia la loma de Pucara e igualmente, se tiene al cerro Minasi de Achacachi donde aflora la lava dacítica alterada que suprayace a los sedimentos devónicos del entorno.

La exposición mas vasta del volcanismo dacítico mioceno de la parte boliviana del Titicaca se encuentra en la península de Santiago de Huata, donde se emplaza un volcán en escudo, de cerca de 165 Km^2 de área. Esta manifestación de lavas dacíticas de color gris oscuro se destaca por su relieve colinoso suave y contorno elipsoidal, que carece de un crater u otro tipo de conducto emisor visible.

La secuencia extrusiva de Santiago de Huata comienza por la base con una colada gris oscura de lava andesitica, que se destaca en el cerro Lipi Huarachi. En tanto que las lavas dacíticas superiores del cerro Muraki tienen color gris claro. El complejo volcánico de Santiago se localiza en un área delimitada por los paralelos 16° 00' y 16° 13' de latitud sur y los meridianos: 63° 37' 47" y 68° 57' 44" de longitud oeste.

En la parte del núcleo de este complejo volcánico se aprecia una depresión que parece corresponder a un evento de colapso de caldera. Las dacitas han sido blanqueadas en el sector sur del complejo volcánico correspondiente a las colinas de JanckoAmaya donde se distinguen una zona de silicificación los feldespatos magmáticos han ido reemplazados por agregados de calcedonia y ópalo. El ópalo es blanco lechoso y se concentra preferiblemente en fractura y cavidades de la roca extrusiva.

Las lavas daciticas superiores del cerro Lipi Huarachi enseñan escasos fenocristales de plagioclasa andesínica diseminados en una masa fundamental de textura pilotaxica y caraterizada por llevar microcristales de augita, plagiclasa microlítica, escaso cuarzo y biotita accesoria; que son minerales dispersos en un fondo vitreo mesostático.

En lo que respecta a los agregados de ópalo de JanckoAmaya se observa que tal mineral deutérico reemplaza seudomórficamente a los constituyentes magmáticos de la lava dacítica silicificada, tales como la plagioclasa y la biotita. El ópalo tiene estructura bandeada coloforme, con vacuolas irregulares y a veces va acompañado de calcedonia esferulítica con impregnaciones de hematita secundaria de color castaño pálido.

Consideraciones petrológicas y magmatogénicas

Cuenta habida de los resultados de los análisis químicos de los constituyentes mayoritarios y oligoelementos de las rocas volcánicas cenozoicas de la región del Lago Titicaca aquí estudiadas, se aprecia que tales volcanitas abarcan un amplio rango de Sílice total (50-70% de Si02) siendo la mayoria de ellas sobresaturadas con valores de cuarzo modal y normativo. Sin embargo, tal caracteristica no excluye que se hayan examinado también ciertas rocas extrusivas infrasaturadas, pertenecientes a la secuencia del grupo Tacaza, del Oligoceno Superior – Mioceno Inferior que se destacan por su naturaleza alcalina, con valores normativos de nefelina en ciertos casos, que expresan su infrasaturación en sílice. Entre ellas ciertos traquibasaltos y traquiandesitas (Shoshonitas).

No acontece lo mismo con las volcanitas de los grupos Sillapaca, Barroso y las volcanitas de la parte boliviana del Lago, que constituyen una serie calcoalcalina, que consiste principalmente de dacitas y andesitas potásicas en el límite con las traquitas.

Entre las rocas del grupo Tacaza se observan altos contenidos de Sodio y Potasio y consiguientemente, altos índices de alcalinidad, que son comparables a los valores logrados para las rocas extrusivas de las formaciones de Mauri Inferior y Abaroa, del Altiplano Septentrional de Bolivia (Cf. Avila- Salinas 1995).

Desde un punto de vista geoquimico las rocas del grupo Tacaza llevan altos contenidos de Ba, Sr, Rb, y U. Se presume para ellas un origen anatéxico, por fusión parcial de lherzolita granatífera que produjo el magma primario, cuya cristalización fraccionaria se infiere del diagrama sistemático del calcio, en el cual se representan los valores contrastantes de los logaritmos de las relaciones de Sr/CaO versus Ba/CaO.

La contaminación cortical del magma primario que generó las volcanitas cenozoicas del Lago Titicaca está inferida en la correlación positiva existente entre las concentraciones (en ppm) de ciertos elementos de tierras raras livianas, como el Cerio y el Lantano, en el respectivo diagrama binario de la distribución de esos elementos para los grupos Tacaza, Sillapaca, Barroso y Ampato, elaborado por Klinck et al. (Op. Cit. Fig 44).

Las características petroquimicas de las volcanitas cenozoicas examinadas sugieren su proveniencia de un magma primario de composición peridotitica ubicada en el manto astenosférico, para aplicar adecuadamente las erupciones estrombolianas de basaltos alcalinos y lavas máficas en el grupo Tacaza y su equivalente las formaciones Abaroa y Mauri Inferior las cuales sufrieron un fraccionamiento cristalino dominado por la separación progresiva de la olivina, clinopiroxeno y plagioplasa.

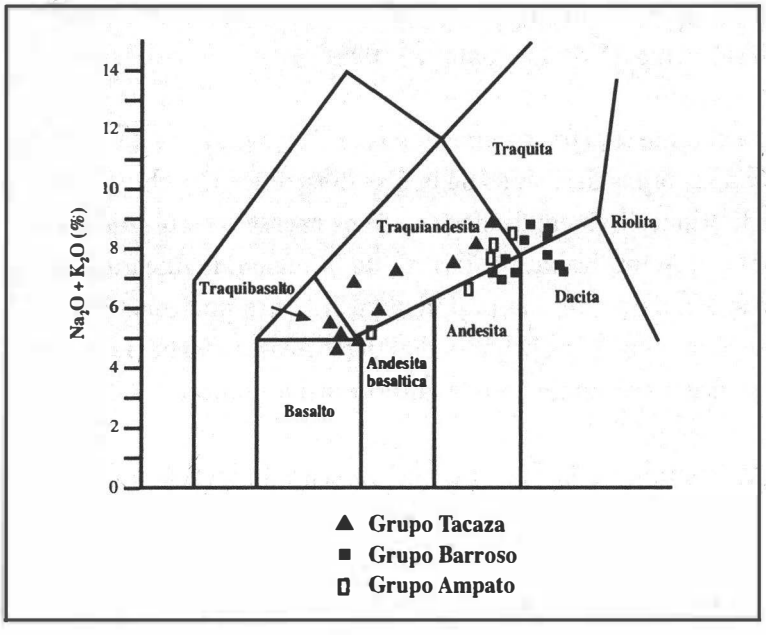


Figura 3
Análisis químicos de volcanitas cenozoicas (Perú).
Según Klinck et.al. (1986)

La contaminación magmática debida al engrosamiento de la corteza (que en el área del lago excede de 70Km), se demuestra por el enriquecimiento del potasio, aspecto que otorga a las rocas volcánicas involucradas un rango "Shoshonitico". Análogamente, la contaminación cortical de las rocas extrusivas puede ser deducida de los altos valores de la relación isotópica del estroncio.

Según el anterior criterio, se asume que el rol magmatogénico de la zona de subducción de la placa de Nazca sería insignificante, respecto del aporte de materiales oceánicos (basaltos tipo MORB), para la generación del magma primario, cuya proveniencia mantélica ha sido discutida anteriormente. Empero, el engrosamiento cortical se vincula al proceso de subducción de alto ángulo de la placa de Nazca y tiene estrecha relación con la generación de los magmas calcoalcalinos ricos en potasio, como los que produjeron las rocas volcánicas de los grupos Sillapaca y Barroso. En contraste con ello, las volcanitas de afinidad alcalina del grupo de Tacaza se vinculan a un episodio geotectónico del Oligoceno Superior (circa 26 Ma.), cuando se estima el cese del proceso de sudducción interrumpido por la fragmentación de la placa de Farallón, que dio origen a las placas de Cocos y Nazca, respectivamente (Pilger, 1984).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De los asuntos tratados en el transcurso del presente estudio se puede deducir la existencia de un breve episodio de volcanismo ensiálico del Oligoceno Superior – Mioceno Inferior, que dio origen a las volcanitas alcalinas del grupo de Tacaza, caracterizadas por su estrecha similitud petrológica y geoquímica con las rocas extrusivas encontradas en las secuencias de las formaciones Abaroa y Mauri Inferior de Bolivia. Tales rocas se manifiestan en un área altiplánica situada al sur del lago Titicaca (la región de Berenguela – Charaña), donde su ambiente tectónico corresponde a un "rift" ensiálico abortado, que se deriva de una tectónica distensiva de retroarco (cf. Avila – Salinas, 1995)

Otro tema tectónico concomitante es el fracturamiento cortical en algunos sectores del lago Titicaca, vinculados a la cuenca de Putina y a las fallas derivadas de la fase diastrófica Quechua Inicial del Oligoceno. De esta manera se constata la distribución lineal de ciertos domos dacíticos emplazados en el borde lacustre, como son el Púlpito del Diablo, el Alata, Kakata y Torrini, de la región de Ancoraimes – Carabuco, que parece estar vinculados entre sí a lo largo de una profunda geofractura que constituye el borde lacustre en esa zona. Similarmente, los domos dacíticos del área de Puerto Acosta (Jacha Tata, Jiska Tata, Yaya) denotan estar controlados por geofracturas similares a la anteriormente indicada.

De interés volcanológico resulta ser la persistencia del centro eruptivo que dio origen al volcán Ccapia (Yunguyo), teniendo en cuenta que la manifestación de tobas basales de la formación Huaylillas – perteneciente al grupo Tacaza – tiene una edad miocena inferior, por lo tanto muy distante de las lavas dacíticas que constituyen el volcán Ccapia suprayacente y de edad miocena superior.

En consecuencia queda por verse si realmente las tobas infrayacentes, el domo volcánico dacítico y el dique que lo intruye son parte de una misma erupción peleana, como piensan Klinck et al. (Op. Cit.)

Como conclusiones del presente estudio se pueden anotar las siguientes consideraciones:

1. El volcanismo cenozoico de los alrededores del lago Titicaca (en el Perú y Bolivia) tiene una amplia duración, desde el Oligoceno Superior al Mioceno Superior; involucrando las secuencias de los grupos de Tacaza, Sillapaca y Barroso del sudeste peruano y el volcanismo dacítico mioceno de la parte boliviana del lago.
2. El volcanismo cenozoico del Titicaca se relaciona geotectónicamente a la reorganización estructural de la placa de Nazca y al proceso de subducción de alto ángulo de este segmento de la litosfera oceánica, verificado en el Oligoceno Superior, a consecuencia de la fragmentación de la placa de Farallón, que se vincula al volcanismo alcalino observado en el grupo Tacaza.
3. Los domos dacíticos de la parte boliviana del Titicaca se emplazan a lo largo de geofracturas corticales, que se ubican en el mismo borde lacustre (área de Ancoraimes – Carabuco), donde se expone el domo del Púlpito del Diablo y rocas similares.
4. Todos lo fenómenos volcánicos examinados aquí, son anteriores a la formación del espejo lacustre, cuya configuración geográfica es en parte, consecuencia de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

Avila.– Salinas, W; (1995): Evolución petrológica y geoquímica del Volcanismo Neógeno en Berenguela – Charaña – Serv. Geol. Boliv. Bol. Espec. 6; 93 pp, La Paz.

Douglas, J.A; (1914): Geological sections throungh the Andes of Peru And Bolivia. Part I,: From the coast at Arica in the north of Chile to La Paz and the Bolivian Yungas. Quat. Journal Geol. Soc. London, v 70; 1-53.

Jenks, W.F; (1946): Preliminary note on geologic studies of the Pacific slope in southern Peru. –American Journal of Science, v 244; 367 – 372.

Kaneoka, I; y Guevara, C; (1984): K-Ar age determinations of late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, southern Peru – Geochemical Journal, v 18; 233 – 239.

Klinck, B. A; et 14 allie (Informe inédito de 1986): The Geology of The Cordillera Occidental and Altiplano west of lake Titicaca, southern Peru – Unpublished report. British Geol. Survey – INGEMMET, Lima.

Mc Bride, S.L; (inédito de 1977): A K-Ar study of the cordillera Real, Bolivia, and its regional setting –tésis doctoral inédita- Queen's University, Kingston, Canada.

Newell, N.D; Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia – Memoir Geol. Soc. America, 58.

Pilger,R.h; (1984): Cenozoic Plate Kinematics, subduction, and magmatism; Southamerican Andes- Geological Soc. of London Journal., v 141 –793-802.

Rivas, S; (1968): Geología de la región norte del Lago Titicaca Serv. Geol. Boliv. Bol 2; 88 pp.

Wilson, J. J; y García, W; (1962) Geología de los cuadrángulos de Pachia y Palca –Comisión Carta Geol. Nacional v 11 (4), Lima , Perú.

Williams, H; y Mac Birney, A; (1979): Volcanology. Ed. Freeman. San Francisco.

Comportamiento hidrológico de los principales afluentes del Lago Titicaca

Por: *César Ancco Carita* [1]

RESUMEN

El principal fuente de aporte del recurso hídrico al Lago Titicaca, son los 5 ríos principales: Río Suchez con 340.21MMC, Río Huancané 594.93MMC, Río Ilave 1117.96MMC, Río Coata 1267.40MMC y el Río Ramis con 2245.74MMC anualmente; donde se aprecia que el río Ramis es el que aporta más y el río Suchez el que aporta menos caudal. El comportamiento hidrológico de los principales afluentes es variable con presencia de las características de años secos y húmedos; dicha variación es influenciada por los factores climatológicos, topográficos, textura del suelo, cobertura vegetal y otros. Durante el período de 1965 - 2000, han ocurrido siete eventos extremos como años secos y húmedos, la cual se conoce también como fenómeno El Niño mostrando las anomalías negativas y positivas, y el resto del período han sido años normales. Los eventos extremos ocasionaron daños muy significativos, para ello se debe priorizar las medidas de control y mitigación para contrarrestar los daños, por ejemplo en el presente año el río Ilave ocasionó daños significativos con el desbordamiento del río y para ello se debe priorizar las medidas de control de inundaciones como las defensas ribereñas; entonces el análisis del comportamiento hidrológico ha servido para detectar dichos valores extremos.

SUMMARY

The main sources for water contribution for the Titicaca Lake, are five main rivess. They are: Suchez River with 340.21MMC, Huancané River 594.93MMC, Ilave River 1117.96MMC, Coata river 1267.40MMC and the Ramis River with 2245.74MMC annually. So the Ramis river is the principal contributor and the Suchez River is the second in importance. The hydrological behavior of these main tributaries is variable. It depends

[1] Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – PELT. Av. El Sol No 839, Puno – Perú. Teléfono: (51 54) 352825 Fax: (51 54) 352392 E-Mail: atirac-31@mixmail.com Perú.

of the climatic characteristics rather dry years or humid; this variation is influenced by the climatological, topographical factors, texture of the floor, vegetation covering and others. During the period of 1965 - 2000, it had happened seven extreme events as dry and humid years, which is also known as phenomenon El Niño showing negative and positive anomalies, and the rest of the period has been normal years. The extreme events caused very significant damages, so we should priorize the control measures and mitigation to counteract the damages, for example presently year the river Ilave caused significant damages with the overflow of the river, then measures of control of floods like the riverside defenses should be constructed. Therefore; the analysis of the hydrological behavior has been useful to detect this extreme changes.

INTRODUCCIÓN

En la zona altiplanica y en general el recurso hídrico no siempre se encuentra disponible en el tiempo y cantidad que se requiere, la cual genera frecuentemente situaciones déficit o exceso, las cuales se tornan extremas cuando ocurren los fenómenos climáticos con el fenómeno de los eventos extremos, la cual se conoce también como fenómeno El Niño.

Los eventos extremos ocasionan impactos significativos como el 1982/83 una sequía crítica, para el cual incrementa notablemente el interés de investigar este fenómeno por las comunidades internacionales.

En el presente trabajo se busca obtener que relación existe entre los eventos extremos y el comportamiento de los caudales de los principales afluentes de la vertiente del Lago Titicaca.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio, corresponde a la Vertiente del Lago Titicaca, la cual ocupa un área total de 56.270Km^2, de los cuales, los principales afluentes ocupan como: Cuenca del río Suchez 2.823 Km^2, 5.01%; Cuenca del río Huancané 3.541 Km^2, 6.29%; Cuenca del río Coata 4 552Km^2, 8.09%; Cuenca del río Ilave 7.705 Km^2, 13.69%; Cuenca del río Ramis 14.684 Km^2, 26.10%; los cuales en total ocupan 33.305 Km^2 y un 59.19% de la Vertiente del Lago Titicaca.

El relieve de las cuencas, es muy variable pudiendo establecerse en dos zonas: una alta, en la cual la hoya hidrográfica escarpada, de fondo profundo y quebrado con pendiente relativamente fuerte, y otra baja en la cual la hoya es plana poco escarpada alargada y de desnivel gradual, pero de cauce ancho y profundo. El discurrir de la mayoría de los ríos es muy sinuosos en su parte alta y radial en la parte baja.

Cuadro 1

Ubicación geográfica de los principales afluentes

RÍO	ESTACIÓN	CÓDIGO	LONGITUD W	LATITUD S	ALTITUD m.s.n.m.	PERÍODO REGISTRO
SUCHEZ	ESCOMA	ESC	69°07'56"	15°39'19"	3817.0	1977-1994
HUANCANE	PUENTE HUANCANE	HUAN	69°47'31"	15°12'50"	3814.0	1965-1999
ILAVE	PUENTE ILAVE	ILAV	69°37'47"	16°05'04"	3825.0	1965-2000
COATA	PUENTE MARAVILLAS	COAT	70°08'16"	15°25'58"	3823.0	1965-2000
RAMIS	PUENTE RAMIS	RAMI	69°52'17"	15°15'06"	3813.0	1965-2000

Cuadro 2

Ubicación Política

RÍO	ESTACIÓN	PAÍS	DPTO.	PROV.	DISTRITO
SUCHEZ	ESCOMA	BOLIVIA	LA PAZ	CAMACHO	-
HUANCANE	PUENTE HUANCANE	PERU	PUNO	HUANCANE	HUANCANE
ILAVE	PUENTE ILAVE	PERU	PUNO	EL COLLAO	ILAVE
COATA	PUENTE MARAVILLAS	PERU	PUNO	SAN ROMAN	JULIACA
RAMIS	PUENTE RAMIS	PERU	PUNO	HUANCANE	TARACO

Cuadro 3

Ubicación Hidrográfica

RÍO	ESTACIÓN	CUENCA	SUB-CUENCA	ZONA	ÁREA CUENCA Km^2	PERI-METRO Km
SUCHEZ	ESCOMA	LAGO TITICACA	RIO SUCHEZ	TDPS	2823.0	339.0
HUANCANE	PUENTE HUANCANE	LAGO TITICACA	RIO HUANCANE	TDPS	3541.0	359.0
ILAVE	PUENTE ILAVE	LAGO TITICACA	RIO ILAVE	TDPS	7705.0	478.0
COATA	PUENTE MARAVILLAS	LAGO TITICACA	RIO COATA	TDPS	4552.0	314.0
RAMIS	PUENTE RAMIS	LAGO TITICACA	RIO RAMIS	TDPS	14684.0	847.0

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Los principales ríos(Suchez, Huancané, Ilave, Coata y Ramis), son los que aportan sus aguas al Lago Titicaca, registra un comportamiento variable en su régimen, tal como se muestra en el cuadro siguiente, donde se aprecia que el río Ramis es el que aporta más y el Suches es el que menor caudal aporta.

Cuadro 4

Aporte mensual y anual de los principales afluentes del Lago Titicaca

RIO	CAUDAL MEDIO MENSUAL EN MMC (REGISTRO HISTÓRICO)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SUCHEZ	57.83	70.03	64.15	37.24	16.76	10.76	8.72	6.68	10.71	16.23	16.89	24.20	340.21
HUANCANE	126.19	143.68	129.30	71.77	26.35	13.05	13.48	7.28	6.88	20.90	12.99	39.90	594.93
ILAVE	215.89	323.49	264.02	97.36	39.06	27.20	23.87	21.60	18.64	17.51	25.58	43.74	1117.96
COATA	243.21	340.80	336.82	136.02	52.95	29.14	18.78	12.65	9.19	11.53	19.31	57.01	1267.40
RAMIS	406.94	508.47	540.12	301.42	110.04	53.04	35.93	26.41	24.37	31.79	69.48	137.73	2245.74

En los principales afluentes de la Vertiente del Lago Titicaca ante la ocurrencia de los eventos extremos, han tenido comportamiento variable con características de años secos hasta húmedos, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 5

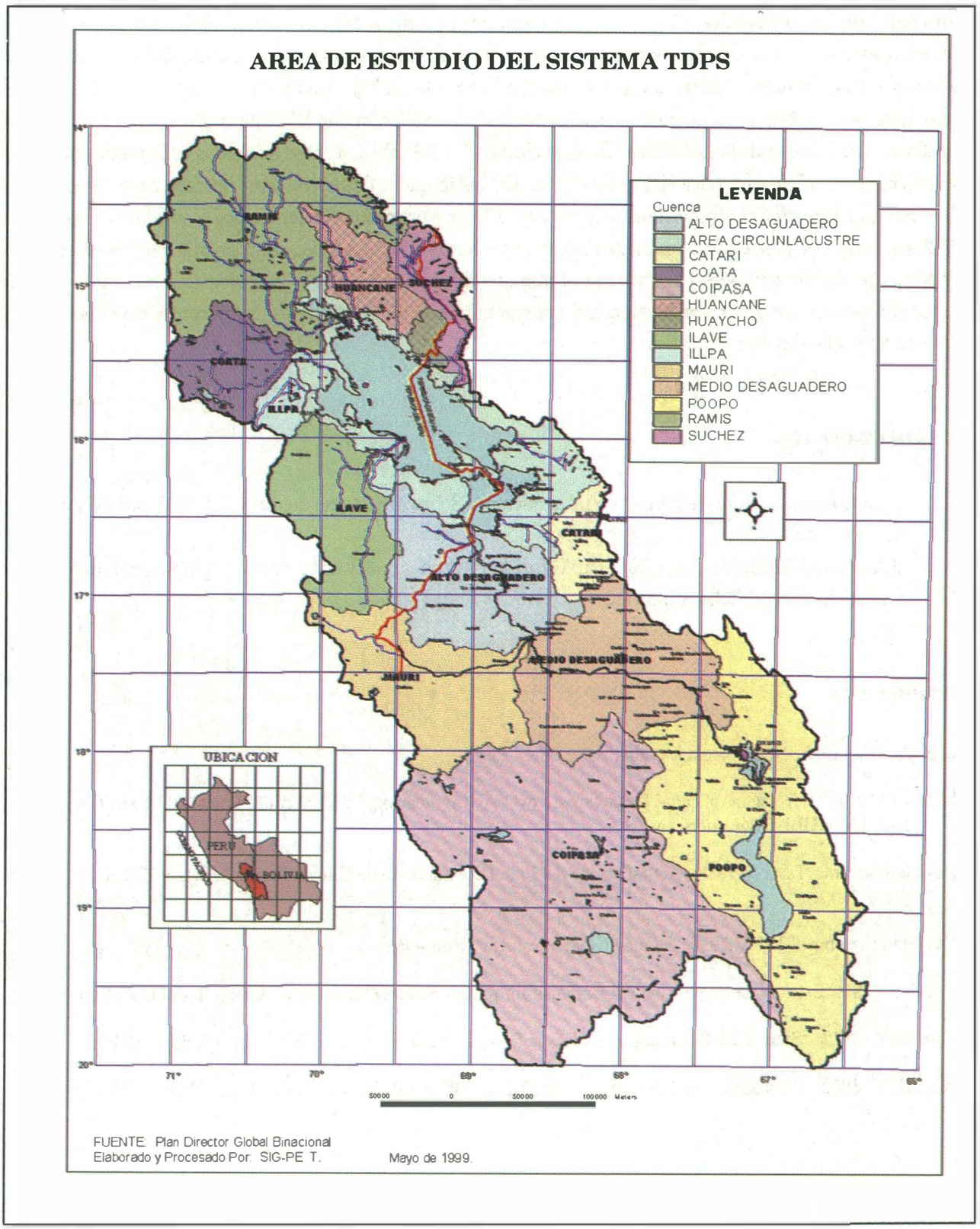
Comportamiento Hidrológico de los principales afluentes de la vertiente durante los eventos extremos

EVENTOS	ANOMALÍA DE QANUAL					AÑO CARACTERÍSTICO				
EXTREMOS	Suchez	Huancané	ILAVE	Coata	Ramis	Suchez	Huancané	ILAVE	Coata	Ramis
1965/66			-66.37	-55.96	-73.73			SECO	SECO	SECO
1968/69	-13.96	-23.79			-84.48	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO
1972/73		+24.10	130.8	68.3			HUM	HUM	HUM	
1974/75					+87.79					HUM
1982/83	-33.9	-23.69	-74.48	-	-97.12	SECO	SECO	SECO	SECO	SECO
1985/86	17.82	+62.78	172.8	-	193.46	HUM	HUM	HUM	HUM	HUM
1989/90		-34.46	-63.46	-63.25	-97.82		SECO	SECO	SECO	SECO
1995/96		-24.74	-66.02	-93.38			SECO	SECO	SECO	
1997/98		-28.79	-72.12	-63.42	-55.02		SECO	SECO	SECO	SECO

RESULTADOS

En el presente estudio se ha utilizado la información histórica de un período considerable tal como se muestra en el cuadro No 1, son valores de los caudales medios mensuales en MMC de los ríos Suches, Huancané, Ilave, Coata y Ramis; éstos ríos son los que aportan más al Lago Titicaca.

En el análisis hidrológico se obtuvo resultados de aportes de los principales afluentes del Lago Titicaca, Río Suchez con 340.21MMC, Río Huancané 594.93MMC, Río Ilave 1117.96MMC, Río Coata 1267.40MMC y el Río Ramis con 2245.74MMC de aporte anual, y el aporte mensual se muestra en el cuadro No 4; donde se aprecia que el río Ramis es el que aporta más y el río Suchez aporta menos caudal. El comportamiento


AREA DE ESTUDIO DEL SISTEMA TDPS
LEYENDA
Cuenca
ALTO DESAGUADERO
AREA CIRCUNLACUSTRE
CATARI
COATA
COIPASA
HUANCANE
HUAYCHO
ILAVE
ILLPA
MAURI
MEDIO DESAGUADERO
POOPO
RAMIS
SUCHEZ
UBICACION
PERU
BOLIVIA
14°
15°
16°
17°
18°
19°
20°
71°
70°
69°
68°
67°
66°
50000 0 50000 100000 Meters
FUENTE. Plan Director Global Binacional
Elaborado y Procesado Por. SIG-PE T.
Mayo de 1999.

hidrológico de los principales afluentes es variable con presencia del año característico como secos hasta húmedos; ésta variación es influenciada por los factores climáticos, topográficos, textura del suelo, cobertura vegetal y otros. En el período de análisis considerado en este trabajo, han ocurrido siete eventos extremos como años secos y húmedos, la cual se conoce también como fenómeno El Niño mostrando las anomalías negativas y positivas tal como se muestra en el cuadro No 5. Dichos eventos extremos ocasionan problemas y daños muy significativos, para ello se debe priorizar las medidas de control y mitigación, como las defensas ribereñas para control de desbordamiento de ríos que provocan inundaciones, por ejemplo en el presente año el río Ilave ocasionó daños significativos con el desbordamiento del río, inundando las áreas de cultivo y viviendas pobladas; entonces para el cual el análisis del comportamiento hidrológico sirve para detectar dichos valores extremos; y en cada cuenca el comportamiento de los caudales es diferente, esto debido a los cambios de los fenómenos climáticos.

AGRADECIMIENTOS

- Al comité organizador del Simposio Internacional Sobre el Sistema del Lago Titicaca, por la invitación como ponencia.
- Al Ingeniero Amilcare Gaita Zanatti, Autoridad Autónoma del Lago Titicaca, por su gran apoyo para la participación a dicho Simposio.

BIBLIOGRAFÍA

Aliaga A., S.V. 1985. "Hidrología Estadística" Lima – Perú.

Chow, V.T., 1994 "Hidrología Aplicada" Departament of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, McGRAW-HILL Interamericana, S.A.

Pelt - Plan Sistema T.D.P.S.,1999 "Actualización del Plan Director Sistema Hídrico Ramis " Estudio de Prefactibilidad, Puno- Perú.

Pelt - Plan Sistema T.D.P.S.,1993 "Estudios de Hidrología", Puno- Perú.

Prorridre, 1995. "Estudio de Regulación del Embalse Iniquilla - Sistema Hidráulico Chuquibambilla", Puno - Perú.

Yevjevich V., 1972 "Stochastic Processes in Hydrology", Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado - U.S.A

Yevjevich V., 1972 "Probability and Statistics in Hidrology", Water Resources Publications, Fort, Collins, Colorado - U.S.A.

Aplicación de la isotopía en el balance hídrico del Lago Titicaca

Por: *Marco Paredes Riveros* [1] y *Roberto Gonfiantini* [2]

RESUMEN

En 1997 el Proyecto de Cooperación Técnica Regional (RLA/08/022) para el estudio del Lago fue llevado a cabo por el Organismo internacional de Energía Atómica (OIEA) teniendo al PELT y la ALT como contrapartes. El gran objetivo de este proyecto fue de determinar el balance hídrico del Lago Titicaca y la dinámica del mismo con énfasis en el balance isotópico y químico y la tasa de mezcla vertical.

Los isótopos estables ($^{2}H/^{1}H$, $^{18}O/^{16}O$) y la composición química del agua fueron usados para este objetivo, asimismo se usaron pocas medidas de tritio, gas noble (incluido $^{3}He/^{4}He$) y concentraciones sobre el lago de clorofluorcarbonados (CFC).

SUMMARY

In 1997, the Project of Regional Technical Cooperation (RLA/08/022) for the study of the Titicaca Lake was carried out by the Atomic Energy International Organism (OIEA). This project had as a counterparts the PELT and the ALT. The great objective of this project was of determining the hydrological balance of the Lake Titicaca and the its' dynamics with emphasis on the isotopes and chemical balance, as well as the rate of vertical mixture.

The stable isotopes (2H/1H, 18O/16O) and the chemical composition of the water was used for this objective, also few tritio measures were used, noble gas (included 3He/4He) and concentrations of the clorofluorcarbonates (CFC) at the lake.

1 Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – PELT. Av. El Sol 839 – Puno – Perú, Teléfono +51 +54 352825 Fax +51 +54 352392 E-mail: Pelt@terra.com.pe

2 Istituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica del CNR – Pisa – Italia. R. E-mail: Gonfiantini@iggi.pi.cnr.it

INTRODUCCIÓN

El Lago Titicaca tiene un espejo de agua de 8.500 km2 y se encuentra ubicada sobre las Repúblicas del Perú y Bolivia a una altitud media de 3,800 msnm y es considerado el Lago navegable más alto del mundo. Cerca de las tres cuartas partes pertenecen al Perú y el resto a Bolivia. Ambos países dependen de los recursos naturales de la cuenca, especialmente del hídrico, muchos de los habitantes viven de la agricultura y de la ganadería actividades dependientes del recurso hídrico.

La Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopo y Lago Salar de Coipasa (ALT), es el responsable del manejo de agua y demás recursos del Lago.

En el año 1991 la Comunidad Europea colabora con ambos países a elaborar el Plan Director Global Binacional de Protección – Prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopo y Lago Salar de Coipasa. Estudios del Medio Natural (Geología, Recursos Hídricos, Climatología, etc) y el ecosistema (plantas, población de peces, etc) fueron llevados a cabo. Estudios Hidrológicos básicos son conducidos y un modelo matemático fue desarrollado para determinar las reglas de operación del Sistema. Asimismo, el modelo no está calibrado y presenta serias deficiencias por lo que la ALT propuso utilizar técnicas más precisas de cuantificación del balance hídrico y determinar los volúmenes que puedan ser utilizados en las actividades económicas del sector sin que se perjudique al ecosistema del Lago Titicaca.

A pesar de que el Lago Titicaca tiene un gran volumen (930 km3) este es muy sensible a los cambios del régimen de precipitación sobre la Cuenca. Los niveles del lago monitoreados desde 1912 han experimentado cambios de hasta seis metros, combinado con otros problemas derivados del contenido de sal en el suelo y superficie del agua afectan a la población de la Cuenca.

El propio manejo de los recursos hídricos de la cuenca requiere una determinación más precisa del balance hídrico del lago y consecuentemente de la cuenca. Los estudios llevados a cabo por la Comunidad Europea muestran las características del Sistema y la necesidad determinar con precisión los términos del balance. El mayor de los términos del balance hídrico son la precipitación y los aportes de los ríos ambos proveen cerca del 100% del flujo de agua de entrada y la evaporación que representa el 90 a 95 % del flujo de salida. El Lago Titicaca solo tiene un afluente pequeño ubicado en el sur llamado río Desaguadero.

La precisión buscada por métodos convencionales no es suficiente para calibrar el modelo y métodos más sofisticados como lo es el isotópico han sido utilizados.

El objetivo del Proyecto es la utilización de técnicas isotópicas para precisar el volumen de los términos del balance hídrico del Lago Titicaca con buena aproximación. Adicionalmente, equipo de monitoreo es instalado en la zona circunlacustre, ríos aportantes y varias islas. Campañas de campo son planificadas para colectar muestras de agua y vapor de agua para mediciones y análisis hidroquímico.

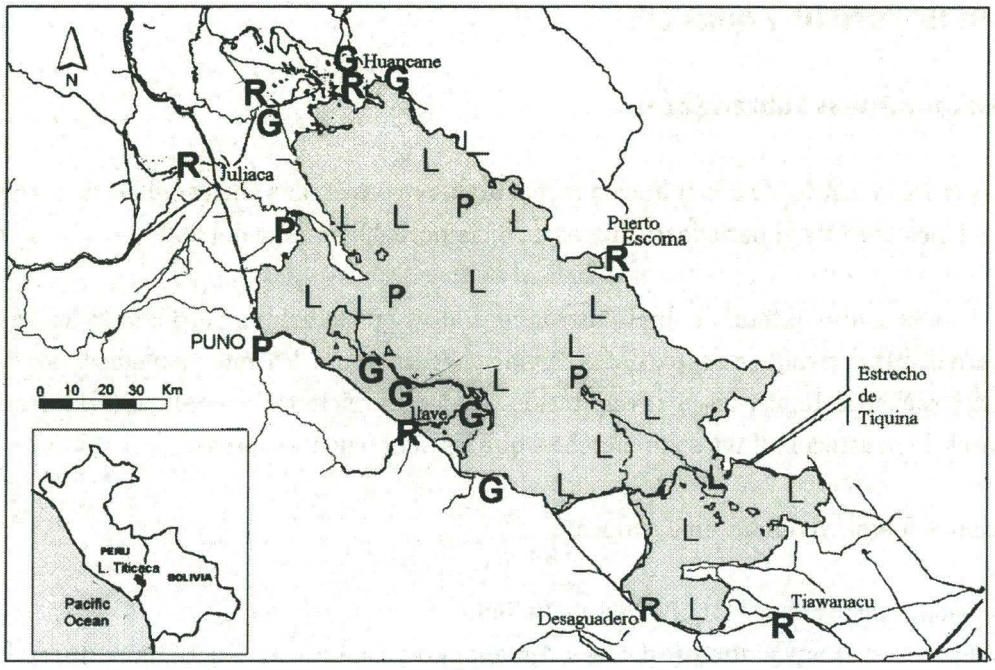


Figura 1

Lugares de muestreo del Lago Titicaca

L = lago; **P** = precipitaciones; **G** = agua subterránea; **R** = ríos.

MUESTREOS Y ANÁLISIS QUÍMICO E ISOTÓPICO

Seis campañas de muestreos fueron llevadas a cabo en el Lago desde Julio de 1997 a Octubre de 1999, en 18 estaciones ubicadas en el Lago Titicaca, 13 se encuentran sobre el Lago Mayor, 1 en la Bahía de Puno, 1 en el estrecho de Tiquina y 3 en lago Menor. La distribución de las estaciones de muestro se muestran en la figura 1.

Sucesivamente el número de estaciones de muestreo fue reducido, en vista de la uniformidad y estabilidad de los valores químicos e isotópicos. En Junio de 1999, la disolución de los gases raros fue determinado en un perfil de profundidad sobre el Lago mayor y clorofluocarbonados en varios perfiles.

Los isótopos estables y las concentraciones de CFC fueron medidos por el Laboratorio de Hidrología Isotópica de la IAEA. He, Tritio y $^{3}He/^{4}He$ fueron medidos en el Swiss Federal Institute of Enviromnental Science and Technology. Los análisis químicos fueron llevados a cabo por el Instituto de Investigaciones Químicas de la UMSA.

Los $^{2}H/^{1}H$, $^{18}O/^{16}O$ son expresados en d o/oo desviación por mil vs. El V-SMOW. Las medidas standard difiere en 0.06 o/oo para el $d^{18}O$ y 0.8 o/oo para el $d^{2}H$. El exceso del deuterio es usado como indicador de la evaporación.

LOS DATOS ISOTÓPICOS Y QUÍMICOS

Precipitación y Aguas Subterráneas

Cuarenta y cinco muestras de precipitación mensual fueron colectadas para análisis de los isótopos estables en 15 estaciones durante el periodo de lluvias de diciembre 99 a marzo del 2000.

Los valores de la cantidad total de lluvia fueron mas altas que la media, por lo tanto los valores de $\delta^{18}O$ y 0.8 o/oo para el $\delta^{2}H$ derivados de estos datos son mas negativos que los valores medios. Los datos confirman que la composición isotópica de la precipitación obedece al ciclo estacional, con valores más negativos provenientes de la estación lluviosa (diciembre) que los subsecuentes meses.

Las estaciones fueron divididas en 3 grupos:

i) Estaciones de las Islas: Taquile, Soto y Pallalla
ii) Estaciones en el este y suroeste del lago: Aguallamaya, Camicachi, Caritamaya Huacullani, Llachahui, Parco, Pomata y Huapaca Santiago.
iii) Estaciones en el norte, noroeste: Nuñoa, Paylla, Piata y Yanarico.

Los tres grupos fueron seleccionados por la dirección dominante del viento del noreste al suroeste. Existe una diferencia no significativa entre los tres grupos en los valores del exceso del deuterio (alrededor del 15%), los valores medios indican que la precipitación sobre las islas y sobre el este y sudoeste de la región es enriquecida con cerca del 3 o/oo en ^{18}O y 20 o/oo sobre el ^{2}H con respecto al nor noroeste de la región, esto es debido a la contribución de vapor originada por el lago para la formación de lluvia.

PRECIPITACIÓN	$\delta^{18}O$ o/oo	$\delta^{2}H$ o/oo	D exceso o/oo
Estaciones de las Islas	-17.87	-126.8	16.1
Estaciones del Sur Oeste	-17.54	-125.8	14.5
Estaciones del nor oeste	-20.02	-145.1	15.1

AGUAS SUBTERRÁNEAS	$\delta^{18}O$ o/oo	$\delta^{2}H$ o/oo	D exceso o/oo
Manantiales	-16.46	-121.4	-10.3
Pozos someros	-15.46	-118.1	7.0

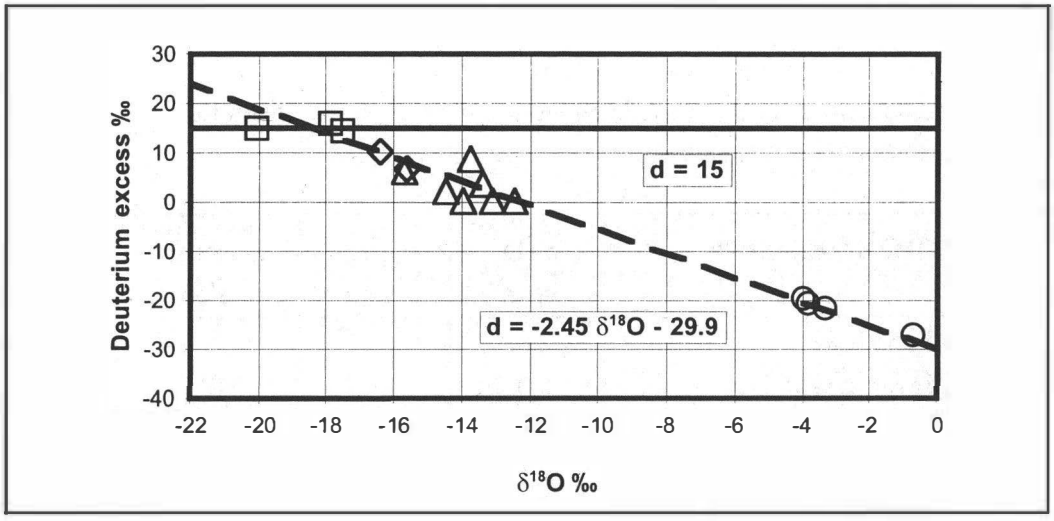


Figura 2

Exceso de deuterio vs. $\delta^{18}O$ como índice de evaporación. Círculos: lago; cuadrados: precipitación; placas: agua subterránea; triángulos: ríos.

Los ríos tributarios

La composición isotópica de los principales tributarios se muestran en la siguiente tabla:

RIOS	$\delta^{18}O$ o/oo	$\delta^{2}H$ o/oo	D exceso o/oo
Ramis	-14.49	-113.6	2.4
Coata	-15.76	-119.5	6.6
Ilave	-13.96	-111.4	0.3
Huancane	-13.14	-104.4	0.8
Achacachi	-13.75	-100.8	9.0
Suches	-12.47	-99.3	0.3
Tiawanacu	-13.42	-103.5	3.9

VALOR MEDIA	$\delta^{18}O$ o/oo	$\delta^{2}H$ o/oo	D exceso o/oo
RIOS	-14.42	-112.5	2.9

Contrariamente a la lluvia la composición isotópica de los ríos no cambia drásticamente con la estación, debido a que la directa contribución del agua de lluvia por escorrentía es generalmente más pequeña que la derivada por el agua subterránea y el agua retenida en el suelo.

El Lago Titicaca

El lago es considerablemente más enriquecido en isótopos y compuestos disueltos con respecto al flujo de entrada como una consecuencia de la evaporación:

SECTORES DEL LAGO	$\delta^{18}O$ o/oo	$\delta^{2}H$ o/oo	D exceso o/oo
Bahia Puno (n=2)	-3.83	-51.0	-20.4
Lago Mayor (n=72)	-3.98	-51.5	-19.6
Estrecho Tiquina (SFC)	-3.69	-50.6	-21.1
Estrecho Tiquina (FONDO)	-2.88	-46.1	-23.0
Lago Menor Cuenca Este (n=2)	-3.32	-48.2	-21.6
Lago Menor Cuenca Oeste (n=4)	-0.73	-32.8	-26.9

El Lago mayor es isotópica y químicamente bien mezclado, en ambos casos horizontales y verticalmente.

La composición isotópica y química de la bahía de Puno muestra un buen intercambio de agua entre esta y el lago mayor. Asimismo, la Bahía de Puno muestra pequeñas pero regulares variaciones, los valores de los isótopos son más negativos después de la estación lluviosa y menos negativo que el fin de la estación seca. La variación observada en 1999 fue de 0.6 o/oo sobre el ^{18}O y 2.2 sobre el ^{2}H. Las fluctuaciones son debido al río Coata, uno de los mayores tributarios sobre la bahía de Puno con presencia de altas descargas del periodo enero a abril (307 m3/s el 06 de abril del 99).

El lago menor muestra concentraciones de isótopos más altas que el lago mayor, el lago menor puede ser dividido convenientemente en la zona este y oeste separados por la cadena de islas y la zona de baja profundidad (cerca de los 3 mts).

AGUAS SUBTERRÁNEAS	$\delta^{18}O$ o/oo	$\delta^{2}H$ o/oo	D exceso o/oo
Manantiales	-16.46	-121.4	-10.3
Pozos someros	-15.46	-118.1	7.0

Determinación de la Evaporación

El modelo del Dr. Gonfiantini se basa en el Modelo de evaporación desarrollado por Craig - Gordon partiendo de lo siguiente:

$$E = (Cs - Ca)/\rho = Cs(1-h)/\rho$$

Donde:

ρ es el coeficiente de resistencia,
Cs es la concentración de saturación del vapor en la interfaces aire - atmósfera
Ca es la concentración de vapor en la región de turbulencia atmosférica
h = Ca/Cs es la humedad relativa de la capa normalizada para la temperatura de la superficie liquida

Para especies isotópicas raras $^{1}H^{2}H^{18}O$ o $^{1}H_{2}{}^{18}O$ (denotado por el subíndice "i") la tasa de evaporación es descrita por:

$$E_i = (C_s R_s - C_a R_a)\,\rho_i = C_s\left(\frac{R}{\alpha} - hR_a\right)\rho_i$$

Donde R, Rs y Ra son respectivamente los radios isótopos ($^{2}H/^{1}H$ o $^{18}O/^{16}O$) de la capa de agua líquida, el vapor de saturación en la interface y el vapor atmosférico en la región turbulenta, y a = R/Rs es el factor de fraccionamiento de equilibrio entre el líquido y vapor.

El término $\Delta e = (1-h)(\rho/\rho_i - 1)$ fue introducido por Craig y Gordon en 1965, esté termino es proporcional a la tasa de evaporación (proporcional a 1-h) y a la diferencia relativa de la resistencia del transporte del aire entre las moléculas isotópicas, usualmente llamado factor de enriquecimiento cinético, lo que representa el enriquecimiento isotópico adicional introducido por el transporte de vapor a través de la capa de difusión molecular de la atmósfera.

El factor de enriquecimiento cinético utilizado para el calculo preliminar de la información de la evaporación fue el determinado experimentalmente por varios investigadores como Dansgaard (1961), Craig (1963), y Gat y Craig (1966). Estos encontraron que el término ρ/ρ_i, para el oxígeno es $(D/Di)^n$, donde n= 0.5 y D y Di los coeficientes de difusión molecular en el aire de $^{1}H_{2}{}^{16}O$ y $^{1}H_{2}{}^{18}O$ respectivamente (Craig y Gordon, 1965). El llamado parámetro de turbulencia **n** se encuentra en el rango de 0 a 1, dependiendo de las condiciones de evaporación; el valor de 0.5 representa bien las condiciones más frecuentes encontradas en la naturaleza (Stewart, 1975).

En conclusión, el factor de enriquecimiento cinético $\Delta\varepsilon$ para las condiciones de evaporación mas frecuentemente que ocurre en la naturaleza puede ser evaluado adecuadamente con la siguientes relaciones:

$\Delta\varepsilon\ ^{18}O\ (o/oo) =$ 14.2 (1-h)
$\Delta e\ ^{2}H\ (o/oo) =$ 12.5 (1-h)

Una vez determinados estos parámetros se determinaron la composición isotópica de los principales parámetros que intervienen en el balance hídrico e isotópico del Lago Titicaca, partiendo luego de la siguiente ecuación:

El balance de agua y el balance de isótopos estables de un lago durante un tiempo dt esta descrito por:

$$\frac{dV}{dt} = I - Q - E$$

$$\frac{Vd\delta + \delta\, dV}{dt} = I\delta_I - Q\delta_Q - E\delta_E$$

Donde V es el volumen de agua del lago con una composición isotópica d, I,Q y E son los flujos de entrada (denominado INFLOW), los flujos de salida (OUTFLOW) y la tasa de evaporación neta y δ_I, δ_Q y δ_E son las respectivas composiciones isotópicas medias.

La composición isotópica media de los flujos de entrada es descrita por:

$$\delta_I = \frac{\sum \delta_I I}{\sum I}$$

Donde la sumatoria incluye todo tipo de flujos de entradas, i.e. precipitación, runoff y aguas subterráneas.

Para lagos bien mezclados, la composición isotópica del líquido de los flujos de salida (donde incluye efluentes e infiltración) es igual al agua del lago, i.e. $\delta_Q = \delta$, por que no ocurre fraccionamiento isotópico. La composición isotópica de agua removida por evaporación para lagos bien mezclados es:

$$\delta_E = \frac{1}{1-h+\Delta\varepsilon}\left(\frac{\delta - \varepsilon}{\alpha} - h\delta_a - \Delta\varepsilon\right)$$

Esto puede ser mostrado utilizando una de las ecuaciones anteriores, obteniéndose:

$$\frac{Vd\delta + \delta\, dV}{dt} = I\delta_I - Q\delta_Q - \frac{E}{1-h+\Delta\varepsilon}\left(\frac{\delta - \varepsilon}{\alpha} - h\delta_\alpha - \Delta\varepsilon\right)$$

Esta ecuación sólo es válida para lagos bien mezclados.

Analicemos cada uno de sus términos:

a) Según los resultados de los análisis isotópicos muestran que el Lago es homogéneo y bien mezclado, sumado a que casi no existe una variación isotópica a través del tiempo, esto es dδ tiende al valor 0, por lo que la ecuación se reduce a lo siguiente:

$$\frac{\delta\, dV}{dt} = I\delta_I - Q\delta_Q - E\delta_E$$

b) Asimismo, se está considerando de que no ha vertido ningún caudal por el río Desaguadero por lo que Q = 0, se reduce a lo siguiente:

$$\frac{\delta\, dV}{dt} = I\delta_I - E\delta_E$$

c) La composición isotópica del agua removida por evaporación para lagos bien mezclados está en función de su humedad relativa, factor de enriquecimiento cinético, composición isotópica del aire y el factor de fraccionamiento de equilibrio:

$$\Delta\varepsilon\ ^{18}O\ (o/oo) = 14.2\ (1-h) * 1000$$
$$\Delta\varepsilon\ ^{2}H\ (o/oo) = 12.5\ (1-h) * 1000$$

Para el factor de fraccionamiento de equilibrio (a) se ha utilizado la ecuación de Majoube (1.971):

$$\text{Ln}\ \alpha = AT^{-2} + BT^{-1} + C$$

Donde:

A = 1137, B = -0.4156 y C = 0.00207 para el Oxígeno 18 y
A = 24844, B = -76.248 y C = 0.05261 para el Deuterio

El factor de enriquecimiento cinético $\varepsilon = (a - 1) * 1000$ (o/oo)

Se ha considerado un $\delta_a\ ^{18}O$ = -19.95 o/oo y $\delta_a\ ^{2}H$ = -105.95 o/oo obtenidos en base a la fracción de agua evaporada y en proceso regresivo.

d) Una de las primeras consideraciones para el caso de que el volumen de los lagos no significativamente con el tiempo, en este caso se reduce a esto dV/dt = 0 y I = Q + E, donde E/I = x y Q/I = 1 - x, siendo x la fracción del flujo de entrada de agua perdida por evaporación, y V/I es el tiempo de residencia medio del agua en el lago, resultando lo siguiente:

$$d\delta = \frac{-1}{T}\left[(1 + Bx)\,\delta - \delta_I - Ax\right]$$

e) La fracción de agua evaporada X = Evap. Lago Mayor / Evap. Lago Menor

$$\delta = \frac{\delta_I + Ax}{1 + Bx} + \left(\delta_o - \frac{\delta_I + Ax}{1 + Ax}\right) \exp\left[-(1+Bx)t/T\right]$$

$$\delta_s = \frac{\delta_I + Ax}{1 + Bx} = \frac{\delta_I(1-h+\Delta\varepsilon) + x\,(h\delta_a + \Delta\varepsilon + \varepsilon/\alpha)}{(1 - x)\,(1-h+\Delta\varepsilon) + x/\alpha}$$

Para los llamados lagos terminales donde la evaporación compensa a los flujos de entrada (**x** = 1), el valor de la composición isotópica es:

$$\delta_s^T = \alpha \delta_I (1-h+\Delta\varepsilon) + \alpha h \delta_a + \alpha\Delta\varepsilon + \varepsilon$$

Este es el máximo enriquecimiento isotópico en un lago a volumen constante.

De la penúltima ecuación puede determinarse el valor de **x** si todas las otras variables pueden ser evaluadas o medidas:

$$x = \frac{\delta_s - \delta_I}{A-\delta_s B} = \frac{(\delta_s - \delta_I)(1-h+\Delta\varepsilon)}{(\delta_s + 1)(\Delta\varepsilon + \varepsilon/\alpha)+h(\delta_a - \delta_s)}$$

Esta ecuación no contiene el término $(\delta_a - \delta_s)$ relativo a la composición isotópica del vapor atmosférico, que es el mas difícil de evaluar.

Los resultados para el cálculo de la composición isotópica del flujo de entrada se aprecia en los cuadros siguientes:

	OXÍGENO - 18		
VARIABLES	$\delta^{18}O$ -97	$\delta^{18}O$ -98	$\delta^{18}O$ -99
Volumen ríos (Hm3)=	7341.646	3.221.467	4.387.374
Volumen prec (Hm3)=	8046.777	5.223.223	7.626.887
δrios*Vol	-109522.676	-47.379.598	-65.229.153
δprec*Vol	-131725.733	-85.504.157	-124.852.137
I (Hm3)	15388.423	8.444.690	12.014.261
δ_I (o/oo)=	-15.68	-15.74	-15.82

BALANCE ISOTÓPICO DEL LAGO			
	DETERMINACIÓN DEL TÉRMINO EVAPORACIÓN		
CON RESPECTO AL OXÍGENO - 18			
VARIABLE	**AÑO 97**	**AÑO 98**	**AÑO 99**
Flujo de Ingreso I (Hm3)	15.388.423	8.444.690	12.014.261
δ_I (o/oo)=	-15.68	-15.74	-15.82
DV/dt (Hm3) =	4576.59	-4971.13	1.183.60
$\delta^{18}O$ Evap. =	-20.90	-20.90	-20.90
$\delta^{18}O$ Lago =	-4.02	-4.02	-4.02
Evap. Neta (Hm3) =	10.662.704	7.314.243	8.867.139

CON RESPECTO AL DEUTERIO			
VARIABLE	**AÑO 97**	**AÑO 98**	**AÑO 99**
Flujo de Ingreso I (Hm3)	15.388.423	8.444.690	12.014.261
δ_I (o/oo)=	-117.084	-116.773	-117.239
DV/dt (Hm3) =	4.576.59	-4.971.13	1183.60
δ^2H'Evap. =	-173.6	-173.6	-173.6
δ^2H Lago =	-52.14	-52.14	-52.14
Evap. Neta (Hm3) =	9.006.177	7.175.054	7.760.035
Evap. Neta (mm/m2/año) =	1.059.6	844.1	912.9
Evap. Neta (mm/m2/mes) =	87.1	69.4	75.0
Evap. Neta (mm/m2/día) =	2.9	2.3	2.5
Flujo de Evap Inicial (m3/s)	262.45	210.92	226.39
Flujo de Evap Final (m3/s)	267.29	208.83	226.93
Flujo de Evap Medio (m3/s)	264.87	209.87	226.66

CONCLUSIONES

En base a la información recolectada se puede concluir en lo siguiente:

- La línea meteórica regional está dada por:

  δ^2H (o/oo) = (7.8793 $\pm$ 0.1058) * $\delta^{18}O$ + (10.5647 $\pm$ 2.7803)
  (n=38, r^2 = 0.9931), considerando la campaña del año 96 realizada por el IPEN.

- El cuerpo de agua del lago mayor es muy homogéneo, se podría decir que no existe una variación espacial ni temporal de la concentración isotópica del deuterio y del oxigeno 18, existiendo una buena mezcla.

- Los resultados de los isótopos estables en los cuatro primeros cruceros realizados son los siguientes (incluyendo el lago menor):

  Primer Crucero: Julio de 1997 (16 estaciones de control)

  $\delta^{18}O$ (o/oo): -3.91 $\pm$ 0.65 (n = 44)
  δ^2H (o/oo): -52.0 $\pm$ 4.00

Segundo Crucero: Diciembre de 1997 (18 estaciones de control)

$\delta^{18}O$ (o/oo): -3.67 $\pm$ 0.81 (n = 50)
$\delta^{2}H$ (o/oo): -51.2 $\pm$ 4.69

Tercer Crucero: Marzo de 1998 (16 estaciones de control)

$\delta^{18}O$ (o/oo): -3.82 $\pm$ 0.73 (n = 52)
$\delta^{2}H$ (o/oo): -50.4 $\pm$ 4.27

Cuarto Crucero: Setiembre de 1998 (18 estaciones de control)

$\delta^{18}O$ (o/oo): -3.78 $\pm$ 0.72 (n = 82)
$\delta^{2}H$ (o/oo): -50.3 $\pm$ 4.22

- Las variaciones estacionales del $\delta^{18}O$ están en el orden de 0.24 o/oo referidos a los 04 primeros cruceros y de 1.62 o/oo para el $\delta^{2}H$.

- Según los primeros análisis realizados a la información que se tiene a la fecha se puede distinguir dos sectores:

  Con respecto al lago mayor:
  $\delta^{18}O = -4.02 + 0.13$,
  $\delta^{2}H = -52.14 + 1.58$ (n=196)

  Con respecto al lago menor
  $\delta^{18}O = -1.34 + 0.44$,
  $\delta^{2}H = -37.13 + 3.18$ (n=16.)

- Ubicándonos espacialmente en el lago menor, el sector muestra a la fecha valores enriquecidos de hasta $\delta^{18}O = -0.65$ o/oo y de –32.05 para el $\delta^{2}H$ ubicado en la estación P-17.

- Los ríos muestran variaciones estacionales de períodos muy largos por lo que la información proveniente de esta tiene que ser monitoreada en lapsos de tiempo más largos, para poder determinar su concentración media.

- Los ríos afluentes muestran valores enriquecidos (valores de aguas evaporadas), probablemente debido a los sistemas de afianzamiento que se viene construyendo en las partes altas de las cuencas.

- La evaporación determinada por medios isotópicos para el período 97 – 99 fue la siguiente: 265, 210 y 227 m^3/s que equivalen a 4.1, 3.3 y 3.6 mm de evaporación diaria.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Roberto Gonfiantini, Experto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por su gran dedicación al presente estudio.

Al Ing. Amilcare Gaita Zanatti, Presidente Ejecutivo de la ALT por su gran apoyo a las investigaciones referidas a la preservación del Ecosistema del Lago Titicaca.

BIBLIOGRAFÍA

PAYNE B.R. "Introduction", "Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology", 1983 Edition, Technical Reports Series N° 91, Vienna, 1983.

CRAIG, H., and GORDON, L.,1965, Deuterium and Oxigeno 18 variation in the ocean and marine atmosphere, 1965, edited by E. Tongiorgi, Consiglio Nazionale della Ricerca, Pisa, Italy.

YURTSERVER, Y. and GAT, J.R. 1981. Atmospheric Waters. In: Stable Isotope Hydrology: Deuterium and Oxigeno 18 in the water cycle. Technical Reports Series N° 210. International Atomic Energy Agency, Vienna. 103-142.

GILATH and GONFIANTINI, "Lake Dinamics", "Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology", 1983 Edition, Technical Reports Series N° 91, Vienna, 1983.

BDPA – SCETAGRI, HYDROCONSULT, GIE ORSTOM EDF, "Evaluación y Orientación sobre la Evaporación". 1993, La Paz – Bolivia.

FONTES J. CH. "Preliminary Oxigen 18 and Deuterium Study of the Dinamics of Lake Titicaca" in: "Isotopes in Lake Studies", Panel Proceedings Series, Vienna 1979.

ALLISON G.B., BROWN R. M. and FRITZ, P. "Evaluation of Water Balance Parameters From Isotopic Measurements in Evaporation Pans" in: "Isotopes in Lake Studies", Panel Proceedings Series, Vienna 1979.

CRAIG, H., GORDON, L., and HORIBE, Y., Isotopic Exchange Effects in the Evaporation of Water: Low – Temperature Experimental Results, J. Geophys. Res. 68, 1963.

Comportamiento hidrológico de niveles de agua en el Lago Titicaca, periodo: 1938-2001

Por: *Marco Antonio Justiniano Escalante* [1]
y *Luis Miguel Carrasco Nattes*[2]

RESUMEN

El Lago Titicaca es un invalorable ecosistema que debe ser preservado ante todo frente a los efectos del crecimiento demográfico y los impactos tanto naturales como artificiales que lo vienen afectando. La Fuerza Naval Boliviana ha venido coadyuvando en este propósito, no solamente en el adecuado control de la navegación fluvial y señalización naútica, sino también en el campo técnico-científico, a través de la implementación de estaciones hidrométricas de control y participación en las comisiones interdisciplinarias Perú-bolivianas.

En este marco, el análisis que se presenta a continuación, pretende interpretar el comportamiento de los niveles de agua, tanto desde el punto de vista matemático-estadístico, así como de la misma observación de la ocurrencia de los valores máximos y mínimos que se han venido produciendo a lo largo del período 1938-2001.

Se presentan como principales resultados, las funciones de distribución de probabilidades de los niveles máximos y mínimos, sus períodos de ocurrencia y la curva de niveles clasificados que ha permitido demostrar la necesidad de redefinir el valor del nivel medio del Lago Titicaca.

SUMMARY

The Lake Titicaca is an invaluable ecosystem that should be preserved. Because of the effects of demographic growth and the impacts on natural as well as on artificial environments. Facing this, the Bolivian Naval

1 Armada Boliviana, Av. A. Michel No. 7139 Bajo Seguencoma, Telef: (591 2) 2751830 Int. 110, telefax: (591 2) 2750143.
2 Servicio Nacional de Hidrografia Naval, Calle Cuba No. 1260, Telfs: 2229307 Fax (591 2) 2225128, Casilla No. 5962, E-mail: hidronav@unete.com.

Force has committed on this purpose, not only working on the appropriate control of the fluvial sailing and nautical signaling, but also on the technical and scientific fields, through the implementation of hydrometrical control stations with the participation of interdisciplinary and Perú-Bolivian binational commissions.

In this framework, the analysis presented next, seeks to interpret the behavior of the levels of water, so much from the mathematical-statistical point of view, as well as of the same observation of the occurrence of the maximum values and minimum that have been taking place along the period 1938-2001.

We presented as main results, the functions of distribution of probabilities of the maximum and minimum levels, their periods of occurrence and the curve of classified levels that it has allowed to demonstrate the necessity to redefine the average value level of the Lake Titicaca.

INTRODUCCIÓN

La navegación en el **Lago Titicaca**, adquiere gran importancia a consecuencia de la intercomunicación de carácter binacional que existe en este complejo hidrológico. El control y conocimiento de la variabilidad de niveles y su influencia en el entorno geográfico del Lago, es de vital importancia para encarar futuros proyectos referidos tanto a la navegabilidad como construcción de puertos y/o readecuación y protección de los ya existentes.

Lamentablemente no se cuenta en nuestro país con Estaciones Hidrométricas que tengan un período de registro largo y continuo del control de variación de niveles en el Lago. Sin embargo el impulso dado por la Fuerza Naval Boliviana (F.N.B.) a través del Servicio Nacional de Hidrografía Naval (S.N.H.N.), ha hecho que se tengan en la actualidad Estaciones Hidrométricas en los Puertos de: Guaquì, Tiquina, Copacabana, Huatajata y Chaguaya.

Asimismo, la información que se encuentra almacenada en los archivos del S.N.H.N. respecto a los niveles del Lago Titicaca, data de 1938 hasta el presente situación que permitirá realizar el análisis estadístico motivo del presente trabajo.

CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

Generalidades

Descripción del Area de Estudio.

La Cuenca Cerrada o Lacustre, se encuentra ubicada en la región Sud-Oeste de la República de Bolivia, comprendiendo a los Departamentos de La Paz, Oruro y Potosí; se la considera Cerrada por tener su drenaje concentrado en Lagos y Salares, no desembocando a ninguno de los Océanos.

La Cuenca Cerrada o Lacustre se encuentra conformada por las siguientes sub-cuencas: Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Uru Uru y Lago Poopó y los Salares de Coipasa y de Uyuni.

- **Subcuenca Titicaca**

  La Subcuenca Titicaca se encuentra ubicada al Norte de la Cuenca, tiene una superficie de 13.967 Km^2, ocupa el 1,3 % del territorio nacional. La Subcuenca Titicaca Comprende las Provincias: Camacho, Omasuyos, Manko Kapac, Los Andes e Ingavi en su totalidad y parte de las Provincias Murillo, Muñecas, B. Saavedra y Franz Tamayo, pertenecientes al Departamento de La Paz. En esta Subcuenca se encuentran como tributarios importantes del sector boliviano los Ríos: Suches, Huaycho, Putina, Keka Jahuira, Khullu Cachi, Sehuenca, Catari y Tiahuanacu; y por el sector peruano podemos mencionar a los Ríos: Ilave, Ramis y Coata.

- **Lago Titicaca**

  El Lago Titicaca es el Lago navegable más alto del mundo y el de mayor extensión en Sur América; se encuentra a una altitud media de 3.808,65 m.s.n.m., en base a la nivelación que parte del Datum Vertical de Arica. Por sus características propias, el mismo es considerado un mar interior. Tiene una longitud máxima de 174 Km. y un ancho máximo de 65 Km. El área total que abarca es de 8.562 Km^2 de los cuales 5.114,5 Km^2 pertenecen a la República del Perú (59,75%) y 3.447,5 Km^2 a Bolivia (40,25%).

  Tiene la característica de estar conformado por una hoya mayor denominada "Lago Mayor o Chucuito", y otra hoya menor llamada "Lago Menor o Huiñaymarca", ambas comunicadas a traves del umbral geológico que recibe el nombre de "Estrecho de Tiquina".

  Las profundidades máximas se encuentran en el sector boliviano, al Nor-Oeste de la Isla Campanario con 275 metros. La profundidad media en el Estrecho de Tiquina es de 36 metros y en el Lago Menor la media es de 14 metros. En forma excepcional existe una hoya frente a la Localidad de Chúa, la cual tiene una profundidad de 39 metros . La salinidad encontrada en el Lago Titicaca es de 0,98 partes por mil, lo cual permite considerar a éste como un lago de agua dulce.

- **Afluentes Importantes al Lago Menor**

  - Río Keka Jahuira

    El Río Keka Jahuira nace en las estribaciones de la Cordillera de La Paz, en la Provincia Los Andes, alimentado por varias quebradas de deshielo, pasa luego a la Provincia Omasuyos para desembocar en el Golfo de Achacachi; en su recorrido tiene como su principal afluente al Río Jacha Jahuira, el mismo que confluye cerca de la Localidad de Achacachi. El Río Keka Jahuira tiene una longitud aproximada de 39 km.

  - Río Suriquina

    El Río Suriquina nace en las estribaciones de la Cordillera de La Paz, Provincia Los Andes del Departamento de La Paz, pasa por la Localidad de Batallas para desembocar sus aguas en el Lago Menor; tiene una longitud aproximada de 45 Km.

- Río Sehuenca
  El Río Sehuenkha nace en la Provincia Los Andes del Departamento de La Paz, tiene su orígen en las estribaciones de la Cordillera de La Paz, donde nacen los Ríos: Jachallani, Tuni y Condoriri; a partir de la confluencia de los mismos toma el nombre de Sehuenkha y pasando cerca de la Población de Batallas desemboca en el Lago Menor. Su longitud es de aproximadamente 59 Km.

- Río Catari
  El Río Catari, nace en la Provincia Los Andes del Departamento de La Paz, fruto de la confluencia del Río Colorado y el Pallina. El Río Colorado tiene su orígen en la provincia Ingavi, pasando por la localidad de Tambillo y el Río Pallina tiene su orígen en la confluencia de los Ríos Achachicala y Seco que se encuentran en la Provincia Murillo y confluyen en la Localidad de Viacha, Provincia Ingavi del Departamento de La Paz. Recibe el aporte de la Quebrada Sorechata en la Provincia los Andes; desemboca al Lago Menor y con una longitud de 60 Km.

- Río Tihuanacu
  El Río Tiahuanacu nace en el Cerro Apacheta, Provincia Los Andes del Departamento de La Paz con el nombre de Huila Willkhi; ingresa posteriormente a la Provincia Ingavi, recibe el aporte del Río Tuntuyo y desemboca en el Golfo de Taraco en el Lago Menor; tiene una longitud aprox. de 62 km.

- Río Desaguadero
  El Río Desaguadero, es el único efluente natural del Lago Titicaca; nace en el Lago Menor al Sud-Oeste del Golfo de Taraco en la Provincia Ingavi; durante su recorrido atraviesa la Provincia Pacajes, sirviendo luego de límite entre las Provincias Aroma y Gualberto Villarroel todas ellas del Departamento de La Paz; posteriormente ingresa al Departamento de Oruro también como límite entre las Provincias Barrón y Saucari; sigue más adelante como límite con la Provincia Cercado y a la altura de la localidad de La Joya, donde se encuentran las explotaciones auríferas a cielo abierto, el Río Desaguadero se divide en dos ramales, uno es su antiguo curso, que ingresa al Lago Uru-Uru y el otro que surgió como efecto de la subida extraordinaria de nivel del año 1986, el cual directamente desemboca al Lago Poopó.

Clima y Vegetación.[3]

El clima del Lago Titicaca es semiárido, la precipitación anual varía de 400 a 600 mm. con lluvias durante el verano y sequedad en el invierno. Normalmente las precipitaciones vienen acompañadas por tormentas eléctricas y fuertes granizadas, generalmente durante los meses de Diciembre a Abril. La precipitación es mayor en los valles abruptos de la Cordillera Oriental. Se tienen cambios bruscos de temperatura, llegando durante el día a registrarse máximas de 18°C y mínimas por la noche hasta -5°C, siendo los meses de Junio y Julio los más fríos del año.

[3] DERROTERO – Lago Titicaca – 1979 – S.N.H.N.

Las terrazas agrícolas, que datan de Civilizaciones Incaicas son numerosas cerca del Lago y se extienden hasta alturas de 4.000 m. a orillas del Lago donde el suelo no es muy alcalino, los cultivos principales son: papa, cebada y quinua. Sobre los 4.000 m. la vegetación es escasa ya que sólo crece la paja brava. Encima de estas alturas el pastoreo reemplaza a la agricultura.

Suelos.[4]

El suelo es un recurso natural renovable, porque tiene su propiedad específica de regeneración. La fertilidad de los suelos se debe a los nutrientes disueltos en el agua, a la constitución química de sus componentes, a la abundancia de bacterias nutrificantes, a los detritus de la vida orgánica, etc. El suelo en la región del Lago varía, existen suelos de una calidad inferior, como ser de tipo arenoso y salino. También existen muchas zonas extensas cuyos suelos son de buena textura tales como margas gredosas, que retienen bien la humedad y no contienen sales. La zona que se encuentra circundando al Lago Titicaca, está compuesta por tierras cultivadas y tierras con pastos y/ó arbustos.

Comunicaciones.[4]

La vía más importante, es el camino carretero de primera que vincula la ciudad de La Paz con la localidad de Copacabana; principal Localidad que se encuentra en la ribera del Lago. Esta carretera pone en contacto también a La Paz con diversas poblaciones que se encuentran bordeando el lago Titicaca como ser: Batallas, Huatajata, Huarina y Tiquina.

Existe otro camino carretero de segunda clase que vincula Huarina, con las poblaciones de: Ancoraimes, Carabuco, Escoma, Puerto Acosta y Ninantaya (Perú); poblaciones que también se encuentran en la ribera del Lago Titicaca. También se puede mencionar el camino carretero La Paz-Guaqui-Desaguadero, por la parte SE del Lago; a la fecha esta carretera se encuentra en su etapa de asfaltado, lo que implica que se constituirá en un futuro cercano, como la principal vía de interconexión caminera entre Bolivia y Perú. Existe además un ramal de la Red Occidental de Ferrocarriles La Paz-Guaqui, que normalmente es utilizado para el transporte de carga.

Información Hidrográfica.[4]

Se cuenta con un (1) Juego de Cartas Náuticas del Lago Titicaca a Esc. 1:100.000 y una (1) Carta General a Esc. 1:250.000, producto del Levantamiento hidrográfico, realizado el año 1977 por la Comisión Mixta Peruano-Boliviana.

Información de Señalización Náutica.[4]

El año 1977, el Servicio de Hidrografía Naval de Bolivia, instaló en su sector del Lago Titicaca, un sistema de Señalización Náutica constituido por 12 (doce) faros y procedió al boyado del canal de acceso al Puerto de Guaqui, el mismo que fue varias veces reubicado. El último trabajo se lo efectuó el 5 de Noviembre de 1993, donde se reinstaló siete boyas en la banda de estribor y dos balizas (una por banda), con lo que se logró una efectiva señalización del mismo.

---

4 DERROTERO – Lago Titicaca – 1979 – S.N.H.N.

Información Hidrológica.

El Lago Titicaca tiene un volumen de agua de 896.000 Hm^3, hasta la cota 3.808,65 msnm. El Servicio Nacional de Hidrografía Naval, a la fecha recibe información a nivel de lecturas medias diarias, de las Estaciones de: Guaqui, Tiquina, Copacabana, Huatajata, Chaguaya y Puno (Perú).

- Puerto de Puno.
  La Estación Limnimétrica del Puerto de Puno se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas: 15°49'55" de Latitud Sud y 070°00'40" de Longitud Oeste. Durante su funcionamiento se ha tenido un valor de 3.809,925 msnm. para la cota absoluta del "0" de escala. La Estación cuenta con información de niveles medios diarios en el Lago Titicaca desde 1938 hasta el 2001, con un registro contínuo y sin lagunas de información.

Información Cartográfica.[5]

Se cuenta con cinco (5) Cartas de Navegación a Esc. 1:100.000, Portulanos de: Puno, Guaqui, Chaguaya y Zepita-Desaguadero-Guaqui, una (1) Carta General del Lago Titicaca a Esc. 1:250.000, las Cartas Básicas del I.G.M. a Esc. 1:50.000, correspondiente al sector boliviano del Lago Titicaca y una (1) Hoja de Bordo a Esc. 1:250.000 del Levantamiento Hidrográfico de la Carta Guaqui-Desaguadero-Zepita, realizado el año 1988 por el GRUMHIDRO.

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD MEDIA DIARIA INTERANUAL

Generalidades

Los 64 años de información con que se cuenta en el S.N.H.N., permitirá efectuar un análisis estadístico coherente, con miras a la determinación de períodos de ocurrencia de máximos y mínimos.

Análisis cuantitativo

Sobre la base de la Figura No. 1, podemos observar que durante los 64 años de registro, el año 1943 fue el mínimo con una cota de 3806.21 msnm. y 1986 el máximo con una cota de 3812.58 msnm. representando una amplitud entre ambos extremos de 6.37 m.

Luego de lo sucedido en la década de los años 40 en que se alcanzaron valores mínimos; desde 1950 hasta 1990, se tuvo una variabilidad promedio alrededor de los 3809.5 msnm. con una alternancia de períodos mínimos y máximos de entre 5 a 7 años de manera cíclica, aunque a partir de 1990 se tuvo hasta el 2000 un período de constantes niveles mínimos, los mismos que tuvieron una brusca variación el año 2001, generando un nivel máximo de 3810.55 msnm. que sólo fue superado por 16 años durante todo el registro considerado.

[5] DERROTERO – Lago Titicaca – 1979 – S.N.H.N.

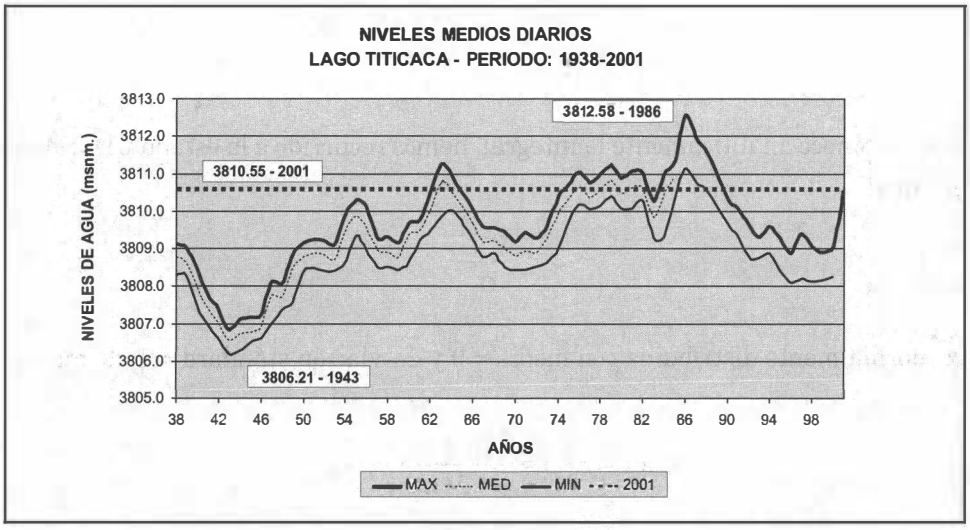


Figura 1
Niveles medios diarios Lago Titicaca - Período: 1938-2001.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COTAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS

Generalidades

Es fundamental el análisis estadístico de los niveles de agua Máximos y Mínimos diarios, más aun si se requiere conocer los períodos de retorno con que los fenómenos extremos se presentan.

Análisis Estadístico

El ajuste estadístico de los datos de Niveles Máximos y Mínimos Anuales, correspondientes al Lago Titicaca, se basó en la determinación de la Función de Distribución de Probabilidades, que describa el comportamiento estadístico del Parámetro estudiado.

En el presente caso, la que mejor se ajusta al comportamiento es la Ley de Gauss o Normal, de la cual, pasamos a describir sus bases teóricas de cálculo:

- **Ley Normal.**

  La función de densidad de probabilidad normal, se define como:

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2*\pi}*\sigma} * e^{-\frac{1}{2}*\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

  donde:

  σ = Desviacion Stándard y μ = Media aritmética

  la función de distribución de probabilidad normal será:

$$F(X) = \int \frac{1}{\sqrt{2*\pi}*\sigma} * e^{-\frac{1}{2}*\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

dado que no se conoce analíticamente la integral, hemos recurrido a la estandarización de la variable, de manera que:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

siendo «z» normalmente distribuida con media = 0 y desviación stándard = 1, de manera que:

$$F(X) = F(z) = \int \frac{1}{\sqrt{2*\pi}} * e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

la función F(z), fue evaluada a partir de:

$$F(z) = H(z), \text{ para } z>0 \text{ y } F(z) = 1-H(z), \text{ para } z<0$$

donde:

$$H(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2*\pi}} * e^{-\frac{z^2}{2}} * (b_1*q + b_2*q^2 + b_3*q^3)$$

siendo:

$$q = \frac{1}{1 + b_0 * |z|}$$

donde:

$b_0 = 0.332671$ $b_2 = -0.12017$
$b_1 = 0.436180$ $b_3 = 0.937300$

Ajuste de Niveles Máximos.

Una vez que los datos fueron ajustados mediante la Ley Normal, en la Figura No. 2 se muestra el ajuste estadístico correspondiente.

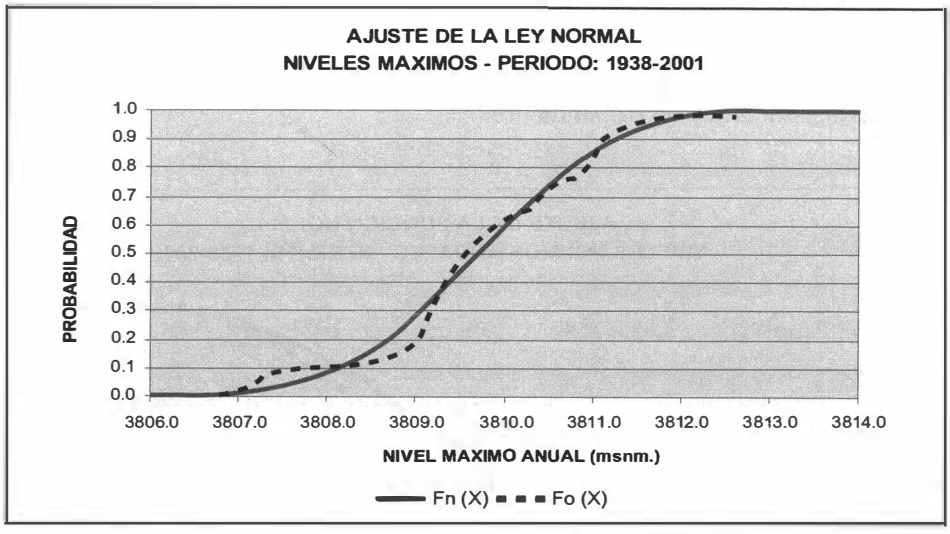


Figura 2
Ajuste de la Ley Normal - Niveles Máximos - Período: 1938-2001

A su vez, del anterior análisis, se obtuvieron los parámetros estadísticos más importantes, de acuerdo al siguiente detalle:

Tamaño de la muestra	=	64
Media Aritmética (m)	=	3809.702 msnm.
Desviación Stándar (s)	=	1.2225 msnm.
Máximo Valor	=	3812.58 msnm.
Mínimo Valor	=	3806.82 msnm.

De acuerdo a la definición de Período de Retorno (T), y su relación con la probabilidad de ocurrencia, en el caso presente para los valores de T = 1.01, 2, 5, 10, 25, 50, 100 años y considerando que para valores máximos se cumple que:

$$F(X) = 1 - \frac{1}{T}$$

en la Tabla No. 1 , se presentan los valores de Niveles Máximos para cada período de retorno, los mismos que se obtuvieron, aplicando los conceptos teóricos descritos para la Función escogida, considerando en cada caso los correspondientes valores de $F(x)_T$:

Tabla 1
Niveles Máximos para diferentes Períodos de Retorno

T (años)	1.01	2	5	10	25	50	100
Nivel Máximo	3806.85	3809.70	3810.73	3811.27	3811.84	3812.22	3812.55

- Ajuste de Niveles Mínimos

  De la misma forma para el caso de los niveles mínimos, se aplicó la ley Normal, en la Figura No. 3 se muestra el ajuste estadístico correspondiente.

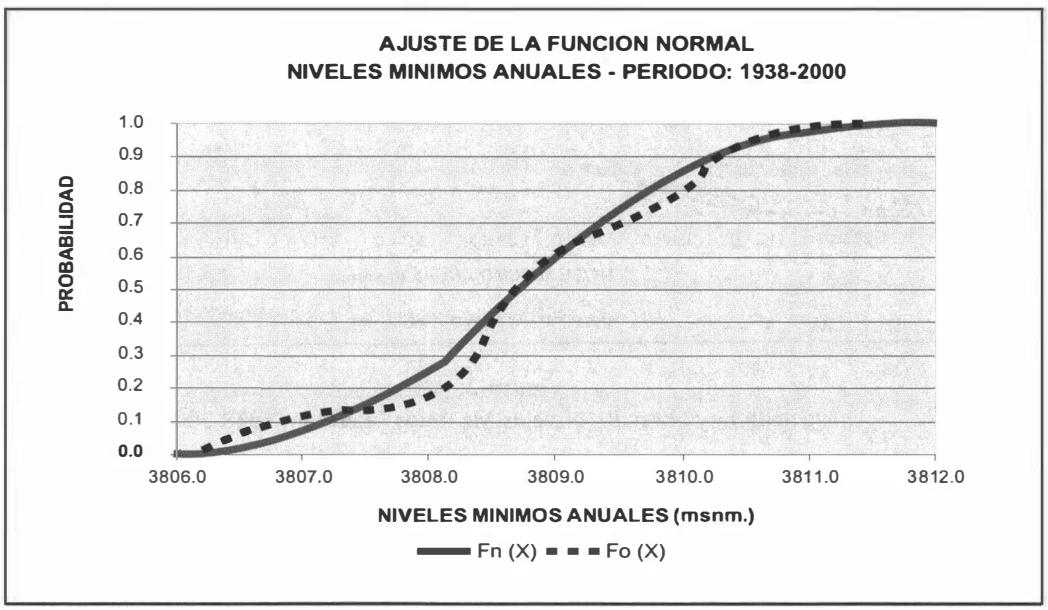


Figura 3

Ajuste de la Función Normal - Niveles Mínimos Anuales - Período: 1938-2000.

Del anterior análisis, se obtuvieron los parámetros estadísticos más importantes, de acuerdo al siguiente detalle:

Tamaño de la muestra	=	63
Media Aritmética (m)	=	3808.79 msnm.
Desviación Stándar (s)	=	1.147 msnm.
Máximo Valor	=	3811.13 msnm.
Mínimo Valor	=	3808.79 msnm.

De acuerdo a la definición de Período de Retorno (T), y su relación con la probabilidad de ocurrencia, en el caso presente para los valores de T = 1.01, 2, 5, 10, 25, 50, 100 años y para los niveles mínimos, considerando que:

$$F(X) = 1 - \frac{1}{T}$$

en la Tabla No. 2 , se presentan los valores de Niveles Mínimos para cada período de retorno, los mismos que se obtuvieron, aplicando los conceptos teóricos descritos para la Función escogida, considerando en cada caso los correspondientes valores de $F(x)_T$:

Tabla 2

Niveles Mínimos para diferentes Períodos de Retorno

T (años)	1.01	2	5	10	25	50	100
Nivel Máximo	3811.46	3808.79	3807.83	3807.32	3806.78	3806.44	3806.13

CONCLUSIONES

Como se dijo, el estudio estadístico realizado, fue dirigido a determinar los períodos de retorno con que los eventos extremos se presentan. Como se observa en las Figuras del análisis estadístico, el ajuste realizado es muy bueno, por lo que los resultados inferidos del estudio, son muy confiables.

Tomando en cuenta la definición del Período de Retorno (T) , que es el tiempo en años en el cual un valor puede ser igualado ó superado por lo menos una vez en promedio, se han tomado los 2 años en los cuales se presentaron los máximos y mínimos niveles, de acuerdo al siguiente detalle:

AÑO	NIV.MAX. msnm.	T Años	AÑO	NIV.MIN msnm.	T Años
1986	3812.58	108	1943	3806.21	82
1987	3811.93	29	1944	3806.26	73

Estos resultados, demuestran que el año 1986, fue un máximo extraordinario, ya que el valor que le sigue en importancia (1987), tiene un período de retorno que representa la cuarta parte con respecto a 1986. Por su parte en lo referente a los mínimos, se ha demostrados que el periodo 1942-1945 fue de mínimos extraordinarios, ya que sus períodos de retorno son altos. Tomando en cuenta la variabilidad de niveles a lo largo de estos 64 años en el Lago Titicaca, se observa claramente, que a partir de 1950, luego del mínimo extraordinario de 1943, las fluctuaciones de los niveles variaron en un rago de –1.50 a 1.50 metros.

En el caso de los máximos significativos, se observa que estos se presentaron en 1955, 1963, 1979, 1986 y 2001, con un intérvalo de 8, 16, 7 y 15 años respectivamente, vale decir que se tienen períodos intercalados; cortos(7-8 años) y largos(15-16 años), por lo que este análisis demostraría que el máximo del 2001, tiene relación con este comportamiento, ya que se produce 15 años después de 1986, en función de la tendencia actual, se esperaría tener el año 2002 también un máximo.

El análisis de los mínimos valores significativos muestra que éstos se presentaron los años; 1944, 1959, 1971, 1983 y 1996, teniendo intérvalos de; 15, 12, 12 y 13 años, lo que nos lleva a concluir que el próximo mínimo podría presentarse el año 2009. Los resultados obtenidos, relacionados con la variabilidad de niveles en el Lago Titicaca, nos muestra que no es posible predecir los valores numéricos absolutos de los próximos

niveles máximos y mínimos, aunque si es posible definir los años probables en que dichos eventos se producirán.

Al contar con un registro continuo de datos, es posible obtener la curva clasificada de cotas absolutas en (m.s.n.m.) para el período 1938-2001. Tal situación se presenta en la Figura 4. De acuerdo a las necesidades se puede derivar de la citada curva, cuales serán las cotas que se superan en "n" días del año, si asociamos a una escala de frecuencias en el eje "x" (365 días = 100 %), conoceremos también su probabilidad.

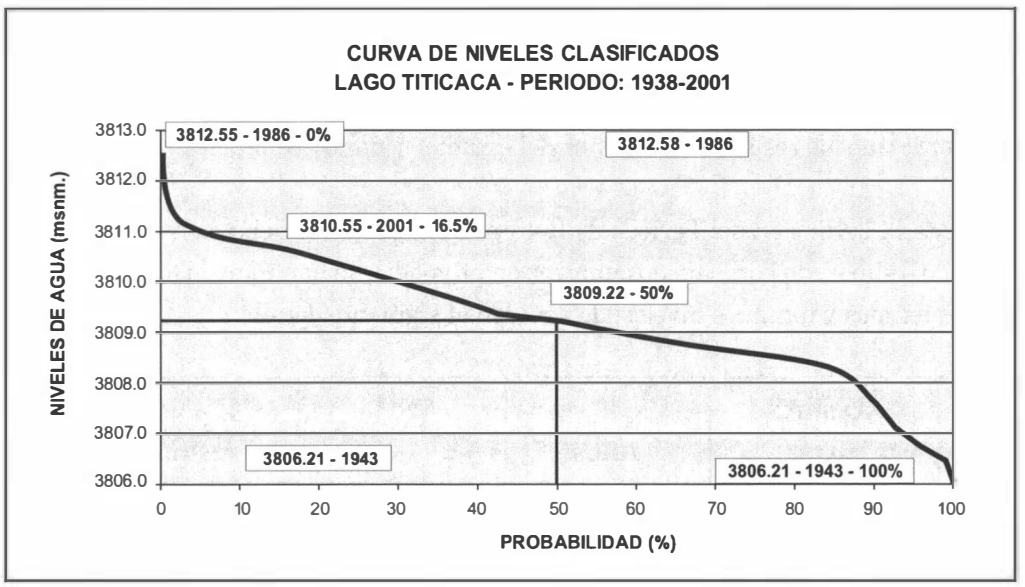


Figura 4
Curva de Niveles Clasificados Lago Titicaca - Período: 1938-2001

De la anterior figura y el análisis correspondiente, podemos obtener los siguientes valores de cotas características para el período 1938 – 2001.

Cota Máxima	3812.58 msnm.	probabilidad: 0.27%
Cota de los 10 días más altos	3811.36 msnm.	probabilidad: 2.74%
Cota de los 3 meses	3810.24 msnm.	probabilidad: 24.7%
Cota de los 6 meses	3809.23 msnm.	probabilidad: 49.3%
Cota de los 9 meses	3808.65 msnm.	probabilidad: 74.0%
Cota de los 10 días más bajos	3806.66 msnm.	probabilidad: 97.3%
Cota Mínima	3806.21 msnm.	probabilidad: 100%

Finalmente es importante discutir respecto del valor que debe considerarse como Nivel Medio del Lago Titicaca, ahora que ya contamos con muchos años de registro, en este sentido se tienen los siguientes criterios de análisis:

- Nivel medio a partir del promedio de los máximos y mínimos niveles alcanzados:
  Promedio de los máximos : 3809.69 msnm.
  Promedio de los mínimos : 3808.79 msnm.
  Promedio final : 3809.24 msnm.

- Nivel medio diario interanual entre 1938 y 2001:
  Promedio : 3809.28 msnm.

- Nivel al 50% de la curva de niveles clasificados:
  Promedio : 3809.22 msnm.

Si tomamos en cuenta que el nivel medio, que por definición es aquel promedio entre la media de los máximos y la media de los mínimos niveles, entonces el nivel medio del Lago Titicaca debería considerarse en:

3809.24 msnm.

valor que tiene una mínima diferencia con los otros dos criterios considerados.

Hidroquímica y contaminación de la Cuenca Endorreica del Altiplano

Por: *Jorge Quintanilla*[1], *Amalia Niura*[1], *Johnny Martinez*[1], *Vladimiro Camacho*[1] *Anne Coudrain - Ribstein*[2]

RESUMEN

El estudio hidroquímico y de contaminación se desarrolló en la cuenca del sistema TDPS con el objetivo de evaluar las características fisicoquímicas de las aguas superficiales y subterráneas, y establecer el grado de contaminación de la cuenca, a través del análisis de aguas y lodos (sedimentos), con especial atención en las zonas críticas de contaminación. De la interpretación de los diferentes tipos de análisis y considerando que se refieren a un período de sequía, se puede concluir que hay salinización natural de la cuenca, propagándose desde Calacoto hasta los lagos Uru–Uru y Poopó en los que el proceso natural de transformarse en salares se acelera por atravesar años secos.

Al sur de la cuenca, se nota una contaminación natural por Arsénico, cuyos valores elevados se detectaron desde Eucaliptus hacia el lago Poopó, debido principalmente al proceso de lixiviación por la fragilidad de los niveles freáticos y la salinización del medio; así como también con sílice disuelta, boro, cloruros, sulfatos, sodio y calcio. Contaminación antrópica tanto en el área urbana (Puno, Viacha, Copacabana, Desaguadero, El Alto, Oruro) debido a problemas de contaminación bacteriológica resultante de los desechos domésticos también con wolfram, estaño, cobalto, cadmio, níquel, antimonio y plomo en el área rural.

Asimismo al sur de la cuenca existe contaminación industrial, por afluentes mineros que desembocan o desembocaron en los lagos Uru–Uru, Poopó y río Desaguadero, ya que la disposición final de las colas y desmontes, por el efecto de las lluvias y lixiviación contaminan el medio ambiente cuyo resultado negativo se refleja en el deterioro y extinción de la fauna piscícola. Referente a los lodos los lugares más contaminados son: río Coata y el lago Uru–Uru, que presentan elevadas concentraciones de: cadmio, cobre, manganeso, mercurio y plomo. El lago Poopó presenta elevadas concentraciones de: cadmio, cobre, manganeso y zinc

1 Instituto de Investigaciones Químicas – UMSA Telf.: (591 2) 2412114, E:mail: hidroqui@ceibo.entelnet.bo La Paz - Bolivia.
2 CNRS-URA París - Francia.

ello indica el elevado grado de contaminación en la cadena trófica. En general las aguas superficiales no son aptas para consumo humano y presentan riesgos para consumo animal y riego. En cambio, las aguas subterráneas muestran en la cuenca del río Desaguadero mejores características fisicoquímicas.

SUMMARY

The hydrochemistry and contamination study was developed at the basin of the system TDPS with the objective of evaluating the physic - chemistry characteristic of the water, at superficial and underground levels. The degree of contamination of the basin was established through the water and mud (silts) analysis with special attention where critical contamination areas was found.

The interpretation by the different types of analysis and considering that they refer to a period of drought, we can conclude that there is natural salting process at the basin, spreading from Calacoto to the lakes Uru-Uru and Poopó. Where the natural process of becoming salars accelerates by dry years. To the south of the basin, a natural contamination is noticed by arsenic whose high values were detected from the Eucaliptus town toward the Poopó lake, due mainly to of the lixiviation process caused by the superficial phreatic levels and the by salinization process; as well as, by dissolved silica, boron, chlorides, sulfates, sodium and calcium.

Human contamination at the urban area (Puno, Viacha, Copacabana, Desaguadero, El Alto, Oruro) has problems from bacteriological contamination resultant of the domestic waste (garbage and black waters), also we found wolfram, tin, cobalt, cadmium, nickel, antimony and lead at the rural area.

Also at the south of the basin, industrial contamination exists, coming from mining where rivers which end on Uru-Uru and Poopó Lakes or on the Desaguadero River Since there have been none appropriate for the wastes final disposition. Those mining wastes contaminate the environment whit negative effects reflected on the deterioration and extinction of the fishes. With respect to the muds the polluted places are: the Coata River and the Uru–Uru lake, those that present high concentrations of: cadmium, copper, manganese, mercury and lead. The Poopó lake presents high concentrations of: cadmium, copper, manganese and zinc which indicates the high degree of contamination on the trophyc chain. There are not problems of contamination from arsenic, cobalt, chromium, nickel or silver. In general the superficial waters are not good for human consumption and they present risks for animal consumption and watering. On the other hand, the underground waters at the Desaguadero River shows improvement of the physic chemistry characteristic.

INTRODUCCIÓN

La región del Titicaca hasta el salar de Coipasa (figura 1), denominada sistema TDPS, tiene una superficie de 143 900 km^2. La pluviometría media anual varia de 800 mm año^{-1} en el lago Titicaca a menos de 300 mm año^{-1} en el salar de Coipasa (Mariaca, 1985). El presente artículo muestra resultados de un estudio que tiene como meta final la elaboración de un Plan Director Global Binacional de Protección – Prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del Sistema TDPS (Quintanilla *et al.*, 1993).

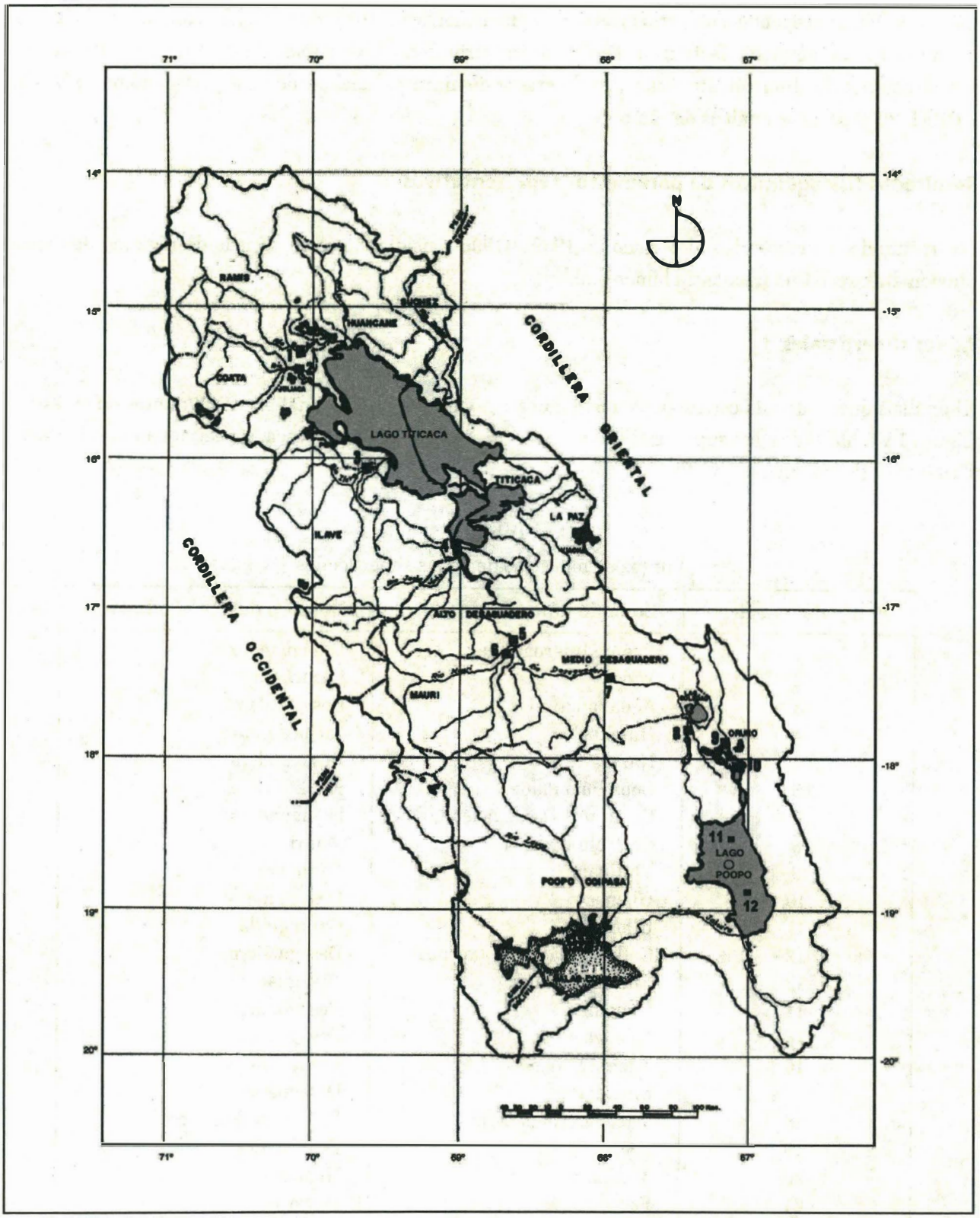


Figura 1

Ubicación de puntos de muestreo de aguas superficiales.

La evaluación corresponde a un periodo de déficit pluviométrico entre 1983 y 1996.Los análisis químicos de las muestras de agua se efectuaron mediante espectrometría UV-Visible, colorimetría, electrometría, espectrometría de absorción atómica y con generador de hidruros, además de un espectrofotómetro HACH – DREL 2000 para los análisis de campo

Resultados fisicoquímicos de parámetros representativos

Los resultados corresponden al período de 1989 – 1996 considerado como período de régimen de déficit pluviométrico con una frecuencia bimensual.

Aguas superficiales

El análisis que se detalla corresponde a 648 muestras y más de 21.000 análisis en 36 puntos de muestreo (figura 1 y tabla 1) de agua superficial en la cuenca que incluye el lago Titicaca, río Desaguadero y los lagos Uru–Uru y Poopó (Sistema TDPS)

Tabla 1

Puntos de muestreo de aguas superficiales

Punto de muestreo	Zona de ubicación	Nombre del río y/ o Lago
1	Puente Internacional	Desaguadero
2	Vado	Lucuchata
3	Aguallamaya C	Desaguadero
4	Hutokhollo	Jacha Jahuira
5	Nazacara	Desaguadero
6	Copa Pujo Pampa	Khillhuiri
7	Calacoto – Desaguadero	Desaguadero
8	Calacoto – Mauri	Mauri
9	Vhitipampa	Cañuma
10	Ulloma	Desaguadero
11	Ulloma	Caranguilla
12	Callampa (Puente Japonés)	Desaguadero
13	Eucaliptus	Desaguadero
14	Chuquiña	Desaguadero
15	La Joya	Desaguadero
16	Puente Español	Desaguadero
17	Sirca Pata	Desaguadero
18	Toledo Desaguadero	Puente Desaguadero
19	Poopó	Desaguadero
20	Machacamarca	Huanuni
21	Poopó	Poopó
22	Pazña	Antequera
23	HuañaKhava	Juchusuma
24	Huari	Azanaques

Punto de muestreo	Zona de ubicación	Nombre del río y/ o Lago
25	Jalantañas Pampa	Cortadera
26	Quillacas	Sevaruyo
27	Quillacas	Marques
28	San Miguel de Pampa	Lacajahuira Aullagas
29	Pazña – Chacakollo	Lago Poopó
30	Huancane – Penninsula	Lago Poopó
31	Huaña Kawa – Cerro	Lago Poopó Gloria Pata
32	Challapata – Patamanta	Lago Poopó
33	Huari Huaña Pampa	Lago Poopó
34	Perú 1	Ramis
35	Perú 2	Coata
36	Perú 3	Ilave

Salinidad: Se observan bajas concentraciones de TDS en afluentes al lago Titicaca, Puente Internacional y río Mauri (0.3 a 0.9 gL^{-1}). Hay un incremento hacia el Sur desde Calacoto (1.8 g L^{-1}), hasta el lago Poopó con valores extremos de 107 gL^{-1} en primavera.

Ión Sodio: En los afluentes del Titicaca, en el Desaguadero a la salida del lago y en el Mauri, las concentraciones están entre 40 a 240 mg L^{-1}. En el lago Poopó, la concentración varía de 4,1 a 30 g L^{-1}, sin embargo se nota una ligera disminución a la salida del lapo Poopó (río Lacajahuira).

Ión Cloruro: En los afluentes del Titicaca se hallan concentraciones que en promedio se sitúan entre 25 a 350 mg L^{-1}. Sin embargo, en el río Desaguadero los valores se incrementan aguas abajo del Puente Internacional, alcanzando en primavera sus máximas concentraciones en el lago Poopó (20 a 30 g L^{-1}); notándose también una disminución a la salida del Poopó, por el río Lacajahuira, debido posiblemente a una sedimentación en el lago de este elemento (sus concentraciones varían en función del tiempo desde 7 a 18 g L^{-1})según Carmouze et al. (1978).

Ión sulfato: En los afluentes al lago Titicaca y el Puente Internacional, río Mauri, Puente Japónes, Chuquiña y Puente españolse presentan valores entre 40 y 300 mg L^{-1}. En el Lago Poopó la concentración es 10 veces mayor que en el río Desaguadero, alcanzando en primavera y verano sus máximas concentraciones (8 a 19 g L^{-1}) evolucionando desde 2 a 6 g L^{-1} en su composición media.

Otros iones: La evolución del sistema tiende a incrementarse en las concentraciones de norte a sur de la cuenca, especialmente en la región del Poopó, con valores superiores a los límites permisibles, en los siguientes iones: calcio, magnesio, potasio y boratos.

Hierro y Manganeso: Al norte de la cuenca los valores están dentro de los rangos normales (en promedio de 0.1 mg L^{-1}). Hay contaminación por estos elementos en la mayoría de los afluentes del lago Poopó, pero en el mismo hay una disminución sensible en sus concentraciones.

Zinc, Cobre, Plata, Cianuros y Níquel: No se ha detectado contaminación por estos elementos.

Estaño: Todos los valores en el área de estudio (0.1 a 0.8 mg L^{-1}) se hallan por encima del límite apto para consumo humano que es de 0.02 mgL^{-1} , según OPS/OMS (1984).

Wolfram: En todos los puntos muestreados se registraron valores superiores al límite permisible para consumo humano (0.05 mgL^{-1}). Los valores van de 0.3 a 7.2 mgL^{-1} y aparentemente su presencia se considera natural en el sistema TDPS.

Plomo: Los valores al norte de la cuenca, río Desaguadero, Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña, Puente Español al Sur de la ciudad de Oruro y el río Mauri son normales (alrededor de 0.02 mg^1). Pero las cuencas de los lagos Uru–Uru y Poopó registran valores para cualquier consumo de 0.15 a 0.30 mgL^{-1}, siendo aptas para riego.

Antimonio: Sólo el lago Poopó presenta concentraciones ligeramente superiores a los límites para consumo humano (0.5 mg L^{-1}), con valores que se sitúan entre 0.7 a 0.8 mgL^{-1}.

Arsénico: En los puntos de Eucaliptus, Chuquiña, Puente Español y en los lagos Uru–Uru y Poopó, las concentraciones elevadas (0.6 a 0.8 mgL^{-1}) hace que el agua no sea apta para ningún consumo.

Cadmio: En la parte norte hasta La Joya, incluido el río Mauri, registran valores inferiores a 0.009 mgL^{-1}. Pero al Sur del Puente Español en los lagos Uru–Uru y Poopó, las concentraciones son altas llegando a niveles de 0.20 mg L^{-1}, que inhabilitan las aguas superficiales para cualquier uso.

Cobalto: Tiene el mismo comportamiento que el cadmio, desde el norte de la cuenca hasta La Joya. En cambio las concentraciones en los lagos Uru – Uru y Poopó son elevadas, llegando a niveles de 0.50 mg L^{-1} que hacen que el agua no sea apta para ningún uso, según los límites de la OPS (1985). Ayers & Westcot (1984) y OPS (1987).

Aguas Subterráneas

Se analizaron 37 muestras distribuidas en Perú y Bolivia (Figura 2 y Tabla 2) y 33 pozos de la provincia Aroma del Departamento de La Paz, de los cuales son citados tres en la mencionada tabla.

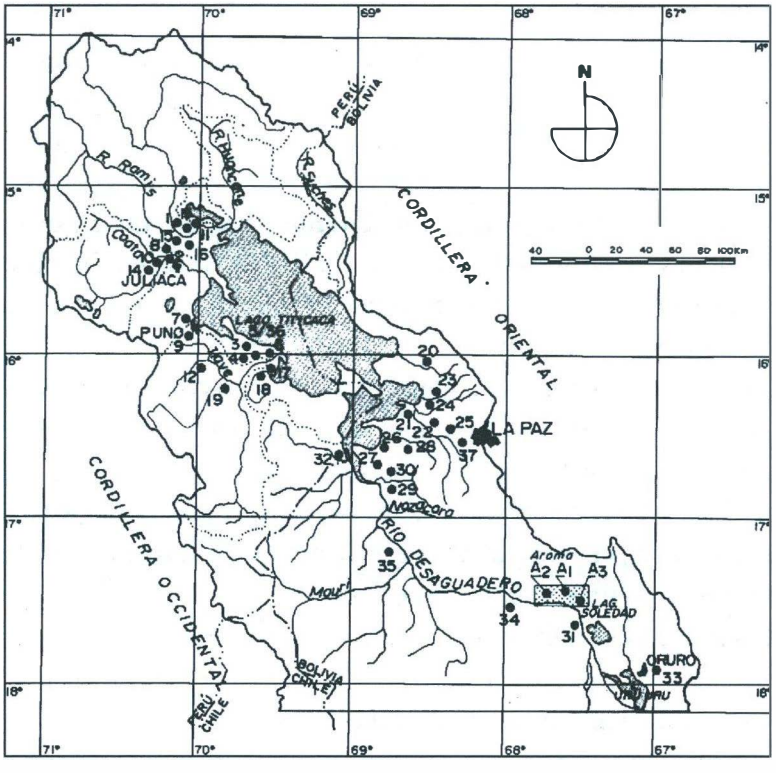


Figura 2

Ubicación de puntos de muestreo de pozos (aguas subterráneas).

Conductividad y TDS: De los 37 puntos muestreados, solo el río Coata, Illpa y San Miguel de Llanga, se observan valores elevados que hacen que las aguas no sean aptas para cualquier uso. En el sector de Aroma sólo los pozos de Kollpa Pampa, Umala y río Kheto tienen aguas no aptas para ningún uso.

Tabla 2

Puntos de muestreo de aguas subterráneas

Puntos de muestreo	Zona de ubicación	Ordenados por cuenca/sector
1	Sucapaya	Ramis
11	San Pedro de Callampa	Ramis
13	Collana	Ramis
15	Sacaso	Ramis
16	Caminaca	Ramis
2	Juliaca	Coata
8	Corisuyo	Coata
10	Coata	Coata
14	Rancho	Coata
3	Mullacani	Ilave
4	Lupaca	Ilave
5	Jayu – Jayu	Ilave
6	Anccaca	Ilave
12	Callampa	Ilave
17	Rosacani	Ilave
18	Callata	Ilave
19	Chijichava	Ilave
36	Jayu – Jayu	Ilave
7	Illpa – Atuncolla – I	Illpa
9	Illpa – Atuncolla – II	Illpa
20	Pariri	Keka
23	Estación Belen	Achacachi
24	Achacachi Norte	Achacachi
21	Ilata Centro Catari	Catari
22	San Antonio	Catari
25	Lacaya	Catari
37	Tilata	Catari
26	P.C. Jahuira Pampa	Tiwuanacu
27	P.C. Jahuira Pampa	Tiwuanacu
28	Khasa Achuta	Tiwuanacu
29	Estrodi	Desaguadero
30	Jesús de Machaca	Desaguadero
31	San Miguel de Llanga	Desaguadero
32	Santa Cruz de Cumi	Desaguadero
34	Puerto de Chila Huala	Desaguadero
35	Estación Humachuco	Desaguadero
33	Javita Pampa	Desaguadero
A1	Quebrada Sevencani	Aroma
A2	Kollpa Pampa	Aroma
A3	Sora Sora	Aroma

PH: Los pozos están dentro del rango normal para todo uso (6.6 – 6.8).

Dureza: Las aguas muestreadas son blandas o semiduras con valores inferiores a 30°d, salvo en las cuencas de los ríos Coata e Illpa donde las aguas son duras.
Alcalinidad Total: Considerando el valor límite para todo uso de 610 mg L^{-1}, la mayoría de los puntos de muestreo están por debajo del mismo, excepto en las cuencas de Coata e Illpa y para Aroma en algunos pozos.
Sulfatos: De todo la cuenca, incluyendo Aroma, sólo en 2 pozos (Illpa y Coata, en Perú) presentan valores superiores al límite para consumo humano (400 mg L^{-1}).
Cloruros: Sólo siete pozos de toda el área de estudio presentan valores superiores al límite permisible para agua potable (250 mg L^{-1}) uno en la cuenca de Illpa, dos en Aroma (Kollpa Pampa y Quebrada Sevencani). Los otros cuatro con valores superiores al límite para riego (400 mg L^{-1}) están en Illpa, Coata, San Miguel de Llanga y Sora Sora.
Boratos: Sólo cinco pozos de los 37 superan el límite para cualquier uso (11 mg L^{-1}). Tres en la cuenca del río Ramis, uno en la del río Coata y uno en la del río Desaguadero (San Miguel de Llanga). En Aroma cuatro pozos no son aptos para ningún uso, uno de los cuales es Kollpa Pampa.
Calcio: Sólo dos análisis presentan concentraciones superiores al límite para consumo humano (200 mg L^{-1}), uno en Coata y otro en Aroma.
Magnesio: De los 37 pozos (TDPS), sólo uno en la cuenca de Coata presenta valores superiores al límite de consumo y riego (200 mg L^{-1}).
Sodio: En 7 muestras se encontraron valores superiores a la norma para consumo humano (120 mg L^{-1}). Dos en el área de Illpa, uno en Coata, San Miguel de Llanga y Javita Pampa. Dos están en Aroma incluyendo el de Quebrada Sevencani. De éstas, por sus elevadas concentraciones, cuatro no son aptas par ningún uso.
Potasio: En todos los pozos muestreados, el potasio está por debajo de 1000 mg L^{-1} (límite para consumo humano).
Hierro: Su concentración se encuentra por encima de la norma para agua potable (0,30 mg L^{-1}) en pozos tanto en Perú como en Bolivia (cuenca río Ilave e Ilpa, Achacachi, Tiwuanacu y 11 pozos de Aroma incluyendo Quebrada Sevencani). Además, 10 pozos presentan valores superiores a 1.00 mg L^{-1}, no siendo aptos para ningún tipo de consumo.

DIAGNÓSTICO HIDROQUÍMICO

Una primera consideración que emerge de los análisis de las aguas superficiales es que la cuenca puede dividirse en 5 tramos, según la salinidad de sus aguas:

- El lago Titicaca y sus afluentes, con aguas de salinidad baja.
- La parte situada entre el Puente Internacional y Calacoto, en el Desaguadero con aguas un poco más salinas.
- La confluencia del río Desaguadero con el río Mauri, con salinidad baja.
- La zona que va desde aguas debajo de la confluencia del Desaguadero y Mauri hasta el Puente Español, con aguas salinas.
- La zona del extremo sur, del río Desaguadero con aguas cada vez más salinas hasta llegar al máximo en el lago Poopó y en el Salar de Coipasa.

La calidad del agua del sistema T.D.P.S. es muy variable y presenta problemáticas bien diferenciadas. Así, en el lago Titicaca se puede señalar que prácticamente no existen problemas, a no ser de-eutrofización por algas en la bahía de Puno, debido a los despojos disueltos sin tratamiento de aguas servidas de la ciudad; mientras que en algunos ríos hay problemas localizados de contaminación minera: como en la cuenca del Coata y en la cuenca sur del altiplano a partir de La Joya. Se tiene por otro lado contaminación puntual por despojos domésticos en Desaguadero y en Oruro; y finalmente problemas de salinización, gran parte de éstos originados naturalmente.

Los problemas generales más importantes que se han identificado en el sistema TDPS, son:

- Salinización natural, gradual desde Puente Japonés hacia el sur de la cuenca, haciéndose más grave en los lagos Urur-Uru y Poopó cuyo proceso natural de transformarse en salares, se acelera cuando ocurren años secos.
- Contaminación natural, particularmente con arsénico, cuyos valores altos se detectaron desde Eucaliptus hacia el sur de la cuenca, debido probablemente a la salinización del medio.
- Contaminación antrópica, sobre todo en el área urbana: Puno, Viacha, El Alto y Oruro, con problemas de contaminación bacteriológica debida a los desechos domésticos (basuras y aguas servidas), y defectos en sus redes de alcantarillado (a veces inexistentes); esto debido a una falta de planificación e implementación de un programa de saneamiento ambiental y el incumplimiento de las reglamentaciones sobre lanzamiento de desechos líquidos y sólidos en cuerpos de agua, que ocasionan además contaminación inorgánica.

Asimismo en varias áreas urbanas de las ciudades citadas existe contaminación industrial, especialmente al sur de la cuenca, por afluentes mineros que desembocan (o desembocaron) en los lagos Uru-Uru y Poopó. Como no existe una adecuada disposición final de los inertes y desmontes, que por efecto de lluvias y lixiviación contaminan el medio ambiente, el resultado negativo se ve en el deterioro y extinción de la fauna piscícola.

Aguas superficiales

Existe una aparente tendencia al incremento en las concentraciones de los diferentes elementos químicos, de norte a sur del sistema TDPS, las cuales alcanzan valores muy críticos en la región de los lagos Uru-Uru y Poopó.

Las ocurrencias de períodos lluviosos en el sistema ejercen una influencia directa y rápida en la calidad de las aguas, pues por efectos de la dilución resultante, se modifican notablemente las características fisicoquímicas de las mismas, tanto a lo largo del año como entre años secos y años húmedos.

Del análisis de los resultados obtenidos (y desde un punto de vista fisicoquímico) se puede señalar que las aguas superficiales de los ríos en los puntos de muestreo, no son aptas para *consumo humano* directamente, principalmente por sus contenidos de wolframio o tungsteno y de estaño en toda la cuenca (si bien se debe

tomar en cuenta que estos elementos ocurren naturalmente en la cuenca) así como por sus contenidos de cloro, sodio y sílice en el caso de los ríos Mauri y Desaguadero. Adicionalmente se tienen restricciones físicas (como color, turbidez y material en suspensión), características que con un tratamiento primario se podrían eliminar sin dificultades.

Para *uso animal* (abrevamiento) las aguas de los ríos afluentes al lago Titicaca (Ramis, Coata e Ilave) no tiene restricciones; mientras que las aguas de los ríos Mauri y Desaguadero limitaciones estacionales de cloro, sodio y boro.

Para fines de *riego*, no son aptos para riego los siguientes puntos ya que sus aguas evolucionan desde C3S3 a C4S4: ríos JachaJahuira y Cañuma (afluentes al río Desaguadero norte), río Desaguadero aguas debajo de Calacoto. Y más aún los lagos Uru–Uru y Poopó en sus afluentes: río Poopó y Cortadera

En el Puente Internacional se registraron bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo que se debería a la contaminación doméstica (resultado del aumento de la población estable y flotante y de las poblaciones fronterizas de Desaguadero) y a las basuras, que, además provocan el desarrollo de la flora saprófita anormal que consume una mayor cantidad de oxígeno disuelto.

En los lagos Uru-Uru y Poopó existe una deficiencia permanente de oxígeno disuelto, deficiencia que se incrementa con la disminución del volumen de agua en los años secos (insaturación constante que lleva a una anoxia crónica), ya que en muchos lugares se aíslan puntos de agua que luego se convierten en aguas estancadas y que el caso de Oruro, se agrava con las descargas de los afluentes domésticos de la ciudad.

Es necesario subrayar las situaciones críticas puntuales que ocurren en El Alto y Oruro (Bolivia) y en Puno (Perú), donde se han identificado problemas muy graves de contaminación antrópica, frente a los cuales resulta necesaria una intervención de control, con tratamientos de afluentes en plantas adecuadas, para la disminución de la carga contaminante.

En función de la evolución de la conductividad y del total de sólidos disueltos, es importante subrayar el papel regulador de la salinidad que tienen tanto el lago Titicaca como el río Mauri, sobre la evolución (dilución) de la cuenca sur del sistema TDPS.

El río Mauri es el principal aportador natural de sílice disuelta a la cuenca sur del Desaguadero, con valores que alcanzan hasta 81 mg/L, como resultado de la presencia de series eruptivas en la cabecera de la cuenca del río.

Aguas subterráneas

Desde un punto de vista fisicoquímico y con fines de consumo doméstico, la calidad de las aguas subterráneas muestreada fue de mejor calidad que las aguas superficiales y, salvo raras excepciones, son aptas para consumo en general.

Los pozos no aptos para riego son los de Illpa, Coata, San Miguel de Llanga en el sistema TDPS y los de quebrada Sevencani, Kollpa Pampa y Sora Sora en Aroma.

La aptitud para consumo humano, en la mayoría de las fuentes, se halla dentro de la potabilidad (aceptables, regulares, buenas y muy buenas), salvo en muy pocos casos, en algunas zonas donde sus características de dureza y composición química sobrepasan los límites permisibles, bacteriológicamente, y por el grado de contaminación, se restringe su uso, clasificándose como mediocres o malas.

Los tipos de aguas subterráneas predominantes en el sistema son: cálcicas-magnésicas-sódicas-sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

En algunas cuencas hidrogeológicas, se han detectado, localmente, contaminación de acuíferos, de origen mineralógico-tóxico y también biológico principalmente en los pozos someros ubicados aguas debajo de focos de contaminación (pozos sépticos, plantas de aguas servidas, ríos conduciendo aguas negras, desechos industriales, etc.).

La conductividad eléctrica (CE) en el contexto general del sistema, como un indicador del contenido total de sales disueltas en el agua, evoluciona en el espacio con tenores que siguen una tendencia creciente del norte al sur entre 500< CE < 5 000 micromhos/cm a +25°C. Según este rango de conductividad las aguas tienen una salinidad baja, media, alta y muy alta. Asimismo se distingue otra tendencia general de conductividad en el sentido nor-este hacia sur-oeste, en las cuencas hidrogeológicas cuyas fuentes de recarga provienen de los deshielos de la Cordillera Oriental, con un rango de 500<CE<1000 micromhos/cm a +25°C.

Dentro de cada cuenca hidrogeológica, el tenor de la conductividad eléctrica evoluciona en forma creciente, en el sentido del escurrimiento subterráneo; sin embargo, se presentan también tendencias locales que dependen de las condiciones geológicas del subsuelo y de los gradientes hidráulicos que regulan la renovación de las aguas subterráneas. De otro lado la salinidad global depende también del tipo de acuífero captado por la fuente; así en algunos sectores de Bolivia, en pozos someros y profundos ubicados muy próximos entre sí, se registraron valores diferentes de conductividad, con lo cual se evidencia que al existir acuíferos diferenciados en profundidad la salinidad varía en función de las características de dichos acuíferos. El pH en la mayoría de las zonas hidrogeológicas fluctúa entere 6.5 y 8.5, con lo que se establece que las aguas son ligeramente ácidas, neutras y alcalinas.

De los 39 pozos muestreados, sólo 4 no son aptos para uso potable ni para consumo de los animales y son: San Miguel de Llanga (río Desaguadero, N°31), Coata (N°10), zona de Ilpa-Perú (N°7 y N°9).

Para uso en riego, se utiliza nuevamente el concepto de la toxicidad iónica específica, relacionada con la salinidad y la concentración relativa de sodio en relación con calcio, magnesio y pH.

Las muestras de aguas obtenidas de los pozos en función de su uso para riego; y tomando en cuenta que al combinar las distintas clases de salinidad (conductividad) y de la peligrosidad por el sodio intercambiable; podemos señalar que: bajo las actuales condiciones de riego y drenaje, no son aptas para su empleo en riego las aguas de los pozos N°9 y 7 en Illpa, N°10 en Coata, y N°31 en San Miguel de Llanga.

Lodos (sedimentos)

De los 12 puntos muestrados (figura 3), los lugares más contaminados son el río Coata (aguas debajo de Juliaca) y el lago Uru-Uru. Los contenidos de cadmio, cobre, manganeso, mercurio y plomo observados en el Coata son superiores a los límites admisibles por las normas vigentes, especialmente a la altura de Juliaca. En el recorrido hacia el pueblo de Coata, el contenido de contaminantes disminuye ligeramente, pero no llega a situarse por debajo del límite admisible.

El lago Uru-Uru presenta contaminación por plomo; además, muestra valores altos de contaminación por cobre, manganeso y mercurio. Tanto el río Coata aguas debajo de Juliaca como el lago Uru-Uru son receptores de contaminantes producto de las actividades industriales principalmente mineras.

El lago Poopó muestra concentraciones elevadas de cadmio (en Huari), cobre, manganeso y cinc, también producto de las actividades minera de la región (ingenios de Poopó y Bolívar). Asímismo estudios realizados con los tejidos de los peces del lago Poopó (pejerrey y orestias), han comprobado la presencia de metales pesados (plomo, cobre, cadmio, cobalto, níquel, cromo, antimonio, estaño, manganeso, cinc, etc.), lo mismo que en macrofitas y algas. Ello indica el elevado grado de contaminación en toda la cadena ecológica.

La incidencia del complejo minero de Bolívar se manifiesta de forma particular cerca de Wilañeque, donde desembocan los ríos que drenan esta región.

En los lodos no se han detectado problemas de contaminación por arsénico, cobalto, cromo, níquel o plata.

RECOMENDACIONES

La contaminación ambiental del área del Sistema T.D.P.S. que se detectó (Puno, Oruro, Poopó y Uru Uru entre otros), indica un sistema en equilibrio inestable con tendencia hacia una degradación irreversible si no se interviene con acciones de control y de prevención. Por este motivo, a continuación se efectúan algunas recomendaciones necesarias para mantener el sistema en equilibrio:

- Agilizar la promulgación de la Ley de Aguas consensuada, que actualmente se encuentra detenida en el Congreso.
- Hacer cumplir el nuevo Código de Minería, en lo referente a control y tratamiento de afluentes contaminantes y exigir que todas las empresas mineras (estatales y privadas) a través de las Autoridades Ambientales Competentes, cumplan con el Reglamento en lo concerniente al uso y protección del recurso agua; ya que estas empresas constituyen una de las fuentes principales de contaminación.
- Efectuar un monitoreo regular en los puntos conflictivos detectados, no solo de las aguas, sino también del plancton y peces del lago Poopó a fin de cuantificar la asimilación de estos elementos tóxicos.

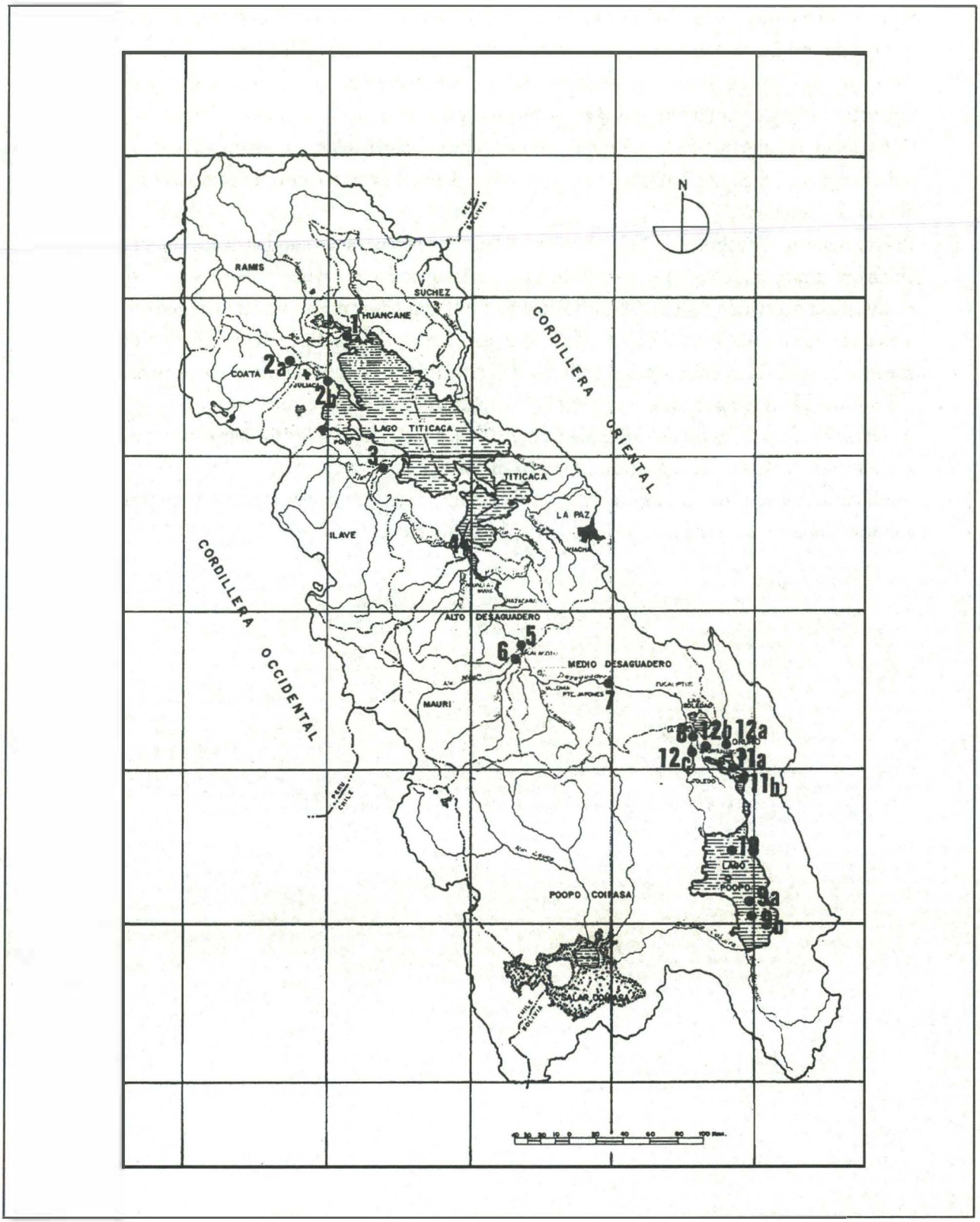


Figura 3
Ubicación de puntos de muestreo de lodos (sedimentos)

- Realizar un control de los ámbitos de la cadena trófica afectados por el derrame de hidrocarburos en la zona del río Desaguadero Central y Sur, hasta los lagos Poopó y Uru Uru.
- Realizar análisis regulares (sistemáticos) de los sedimentos de los lagos Uru Uru y Poopó y de sus afluentes, a fin de visualizar el origen, evolución y/o acumulación de varios elementos pesados.
- Cuantificar regularmente la salinidad de las aguas superficiales y el transporte de sedimentos en toda la cuenca, haciendo énfasis en la región Sur, donde hay una continua colmatación de los cauces del río Desaguadero.
- Prever monitoreos regulares (fisicoquímicos y bacteriológicos) a las salidas de los sistemas de desagüe en Oruro, especialmente en la zona Sur, a fin de programas intervenciones de saneamiento.
- Profundizar el estudio sistemático de las aguas subterráneas como alternativa de consumo, en función a conocer sus límites estacionales (climáticos) asociados a los cambios del nivel freático.
- Incentivar a nivel rural cursos o talleres de capacitación y conocimiento en lo referente al uso y manejo del recurso agua, que comprenderá la higiene y cuidado en su consumo.
- Analizar el efecto general del dragado flotante u otro sistema empleado, sobre las aguas, materia en suspensión y traslado de masas de tierras o suelos.
- Realizar acciones preventivas en regiones o ciudades con potenciales riesgos de contaminación; por ejemplo Copacabana (basura, turismo y saneamiento básico).

Investigaciones
Económicas

Aporte de las técnicas de realidad virtual en el desarrollo de proyectos de investigación

Por: *Pierre Beckers* [1]

RESUMEN

Los años dos mil muestran una evolución más en el uso de la informática en el sentido que unidades de investigación pequeñas y dotadas de recursos financieros limitados tienen hoy la posibilidad de usar la simulación numérica y sus numerosas opciones gráficas.

Una instalación completa incluyendo todos los equipos se puede conseguir por mil a dos mil dólares, dando la posibilidad de aprender y utilizar las técnicas más recientes de simulación numérica. Aquí cabe destacar el aporte significativo de los programas libres o sea que se pueden conseguir gratis porque muchos miembros de la comunidad científica los están entregando a sus colegas.

Dentro de esos software acequibles, los que corresponden a los métodos de visualización realista son los de animación grafica los cuales están en una situación muy particular porque abarcan todos los campos de la investigación y de la docencia. Este hecho viene de la importancia que tiene desde hace algunos años la imagen como soporte de comunicación.

En consecuencia la primera tarea de los docentes es de enseñar esas técnicas y de entregar a los futuros usuarios las herramientas que les permitirá tanto producir imágenes eficaces y visibles como interpretar correctamente este tipo de información evitando las numerosas trampas utilizadas para falsificar los datos.

Otro punto importante está relacionado con el aprendizaje idóneo de la manipulación de objetos o de escenas tridimensionales sabiendo que siempre se hace a través de una imagen bidimensional. En este caso la

[1] LTAS - Infographie , Institut de Mécanique et Génie Civil (B52) , Université de Liège, Sart Tilman Chemin des Chevreuils, 1 ; 4000 LIEGE - BELGIUM; Tel.: 32 43 66 94 50 Fax: 32 43 66 91 41, E-mail: Pierre.Beckers@ulg.ac.be, http://www.ulg.ac.be/ltas/

animación grafica tiene la propiedad de restituir, gracias al movimiento, la tercera dimensión desaparecida en el proceso de proyección. Numerosos ejemplos permitirán ilustrar estos conceptos con la intención de convencer a los auditores de la utilidad de esos nuevos medios para contribuir al mejoramiento de la educación y luego al desarrollo de comunidades que hasta hoy carecían de los instrumentos necesarios para cumplir con sus objetivos.

SUMMARY

The year two thousand show a great evolution at the computer science which permit the use of the numeric simulation and their numerous graphic options even by small investigation centers with limited financial resources.

A complete installation including all the equipment you can get from thousand to two thousand dollars, give the possibility to each one to learn and to use the most recent techniques in numeric simulation. Here it is necessary to highlight the significant contribution of the free programs that is to say that they can be gotten free because many members of the scientific community are giving it to their colleagues.

From those accessible software, there are those that correspond to the methods of realistic visualization and of graphic animation which are in a very particular situation because they embrace all the fields of the investigation and teaching. This fact comes from the importance that has for some years the image like communication support.

In consequence the first task of the educational people, is teaching those techniques and giving the future users the tools that it will allow them so much to read and interpret this type of information effectively and correctly avoiding the numerous traps that one can falsify the data.

Another important point is related with the suitable learning of the manipulation of objects or of three-dimensional scenes knowing that it is always made through a two-dimensional image. In this case the graphic animation has the property of restoring, thanks to the movement, the third missing dimension in the projection process. Numerous examples will allow to illustrate these concepts with the intention of convincing the auditors of the utility of those new means to contribute to the improvement of the education and then to introduce into communities that lacked those instruments necessary couple to fulfill their objectives until today.

INTRODUCCIÓN

Desde mas o menos 1995 se dispone de computadoras relativamente baratas, alrededor de mil dólares. Esos equipos permiten realizar simulaciones numéricas consecuentes y producir resultados gráficos de alta calidad y, si es necesario, bastante realistas.

Con ello, se da la posibilidad a grupos de investigadores disponer de recursos financieros limitados producir trabajos científicos de gran valor y transmitirlos para su mayor difusión.

REQUERIMIENTOS

Para cumplir con este ultimo objetivo, se necesita reunir por lo menos tres condiciones.

Primero, se necesita la capacidad científica para conducir investigaciones o estudios teóricos y experimentales.

Segundo, es indispensable dominar la comunicación escrita en la lengua adecuada, muy a menudo en ingles, tener contactos suficientes con el exterior, por ejemplo, otros grupos dedicados al mismo tipo de investigación y mantener al día las referencias pertinentes. Si se maneja bien, el uso de Internet puede ayudar en el cumplimiento de esas condiciones. Conviene añadir que el acceso a una documentación escrita queda siempre muy útil.

Figura 1
Combinación entre un objeto virtual, el avión y un real, el cielo.

Tercero, se requiere dominar los medios de comunicación modernos tales como la producción de documentos incluyendo gráficos. En este último componente llama nuestra atención: el ¿Como mejorar la producción de gráficos?

CATEGORÍAS DE IMÁGENES

Se pueden distinguir dos categorías de imágenes presentes en cualquier documento. Primero existen gráficos que generalmente se llaman comerciales porque simplemente se refieren a tablas o listas de cifras. En la practica esos gráficos permiten visualizar datos numéricos provenientes de estadísticas, mediciones, evaluación de funciones, etc... En general los sistemas informáticos asociados a los programas de manipulación de tablas contienen las herramientas suficientes para producirlos. Es importante notar que para un buen uso de esos gráficos se necesita de un aprendizaje, exactamente como para escribir un texto, hay que seguir reglas precisas que permiten evitar contrasentidos o confusiones [1-3]. Un principio siempre útil consiste a evitar adornos inútiles, colores exóticos y concentrar la visión sobre el comportamiento de la variable que se quiere mostrar. Basta observar esas reglas elementales para que el resultado sea pertinente.

La segunda categoría comprende las fotos realistas que a su vez se pueden dividir en dos grupos: fotos reales tomadas con una cámara, representan una escena del mundo real y fotos sintéticas. Las ultimas representan objetos reales o virtuales creados a partir de un programa o de cualquier otro medio (figura 1). En este grupo se encuentran también representaciones de fenómenos abstractos para los cuales se puede utilizar una analogía adecuada. Es este ultimo grupo que nos interesa particularmente, es preciso observar que a partir del momento en que se manipulan las representaciones graficas, la distinción entre real y virtual pierde su interés.

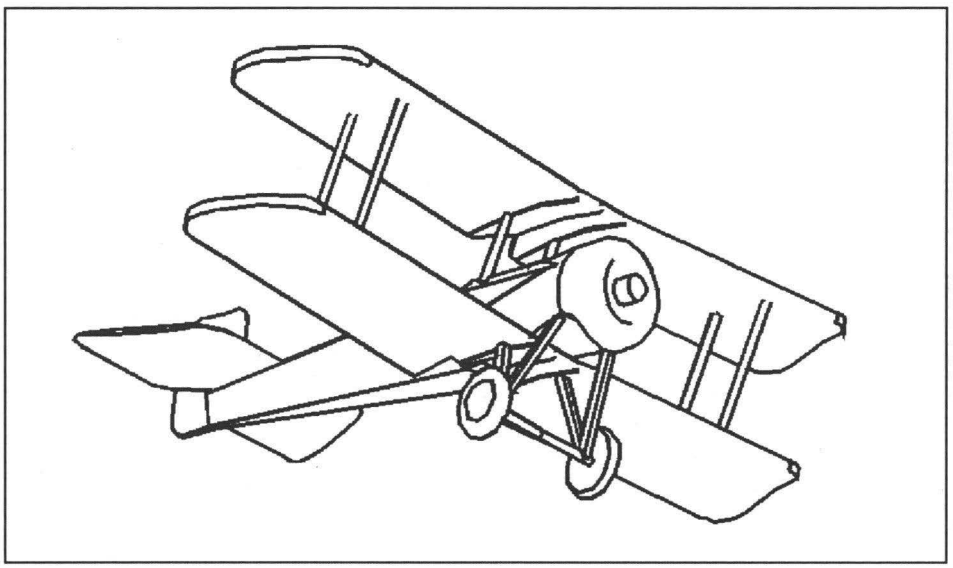


Figura 2
Representación tradicional de un avión con eliminación de líneas escondidas.

FOTOS REALISTAS

Estudiando las fotos realistas se requiere analizar distintas áreas de interés.

El primer desafió histórico fue la búsqueda del realismo en la computación grafica. La primera etapa consistió en la eliminación de líneas escondidas en la producción de dibujos industriales clásicos (figura 2). A partir del momento en que fueron disponibles equipos capaces de mostrar elementos coloreados, el mismo problema se cambio en detección de caras visibles. Este cambio ocurrió alrededor del año 1975. Luego, el aumento de la potencia de las computadoras autorizó la toma en cuenta de las propiedades físicas de los objetos tal como el conocimiento de las propiedades de propagación de la luz (figura 3). Fue la aparición de los métodos seguidos de rayos (*ray-tracing*). Durante mucho tiempo, los cálculos necesarios eran muy largos y necesitaban equipos informáticos muy potentes. Hoy en día esas simulaciones quedan al alcance de un P.C. gracias al aumento de sus capacidades y a los progresos obtenidos en la definición de los algoritmos. Los últimos métodos toman en cuenta todos los fenómenos térmicos tales como la radiación.

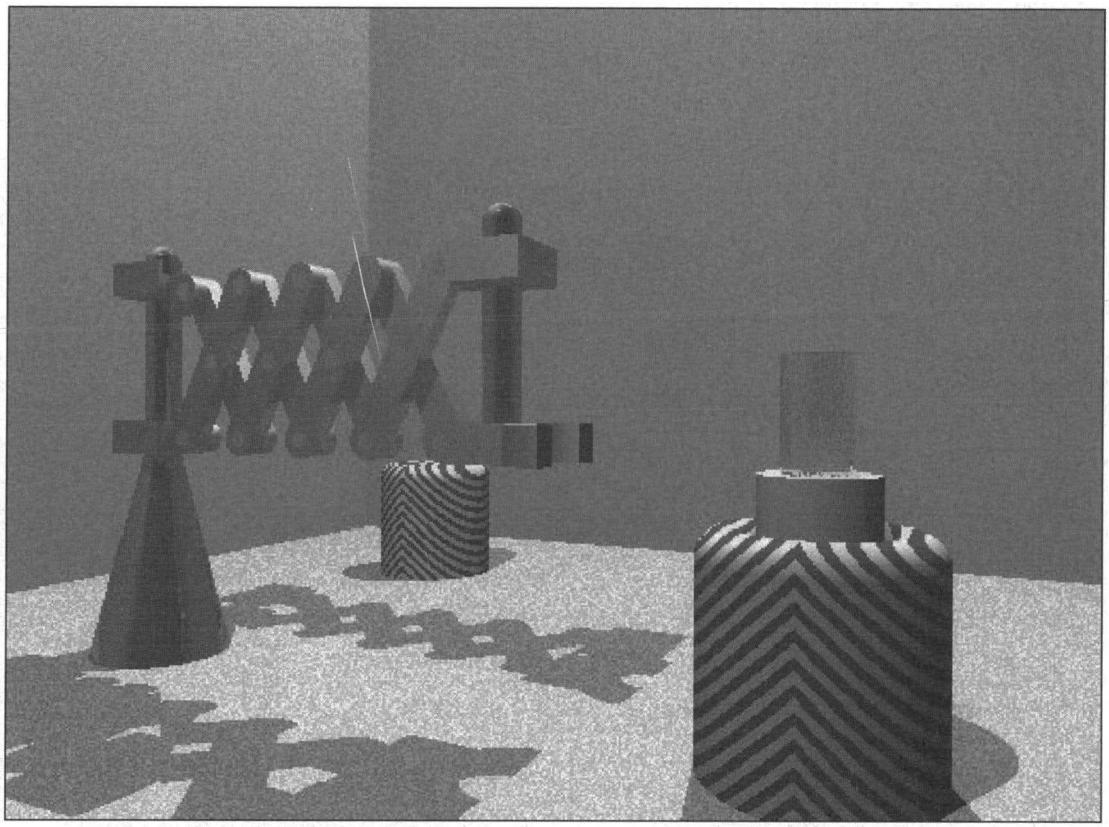


Figura 3
Representación usando técnica de seguida de rayos.

La segunda área de interés contempla con el tratamiento de imágenes reales o virtuales con el propósito de destacar una propiedad particular de la escena representada. Son las técnicas de coloración artificiales, de puesta en relieve y de transiciones en las imágenes. En la explotación de datos científicos esas técnicas aportan una contribución muy interesante.

Existe otro tipo de desarrollo el cual está relacionado con la animación grafica. El movimiento es esencial para captar el aspecto tridimensional de las escenas no solamente en la representación de mecanismos (figura 4), de objetos móviles o de fenómenos dependientes del tiempo pero también cuando existen variables adicionales que ya no se pueden tomar en cuenta en una representación estática.

Finalmente, desarrollos específicos se hicieron en el campo de la manipulación interactivo de objetos tridimensionales complejos. Durante mucho tiempo, eso solo fue posible actuar con representaciones hilos de alambre, pero hoy en día, es posible manejar parcialmente o totalmente objetos tridimensionales. No se analizaran esas técnicas porque están muy ligados al desarrollo de los equipos y también todos los usuarios de sistemas de Diseño asistido por computador o de construcción de dibujos animados están al tanto de los resultados y de las capacidades de aquellos programas.

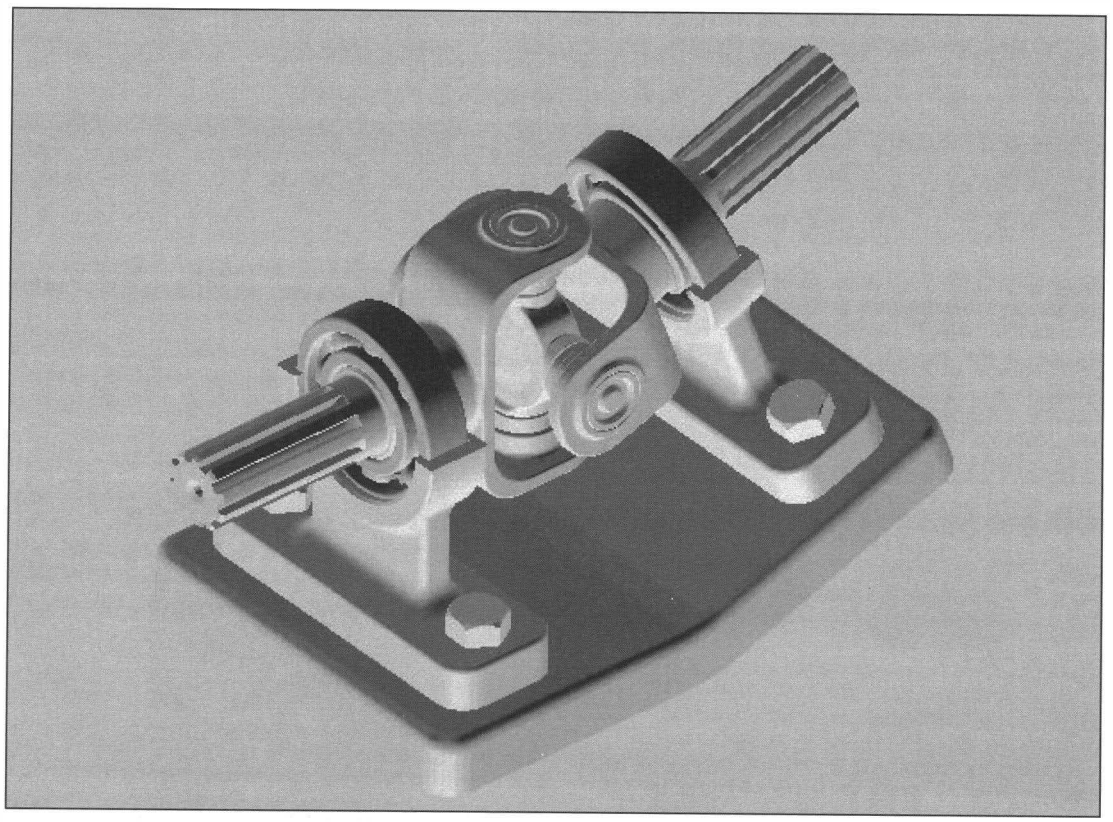


Figura 4
Representación de movimientos en mecánica.

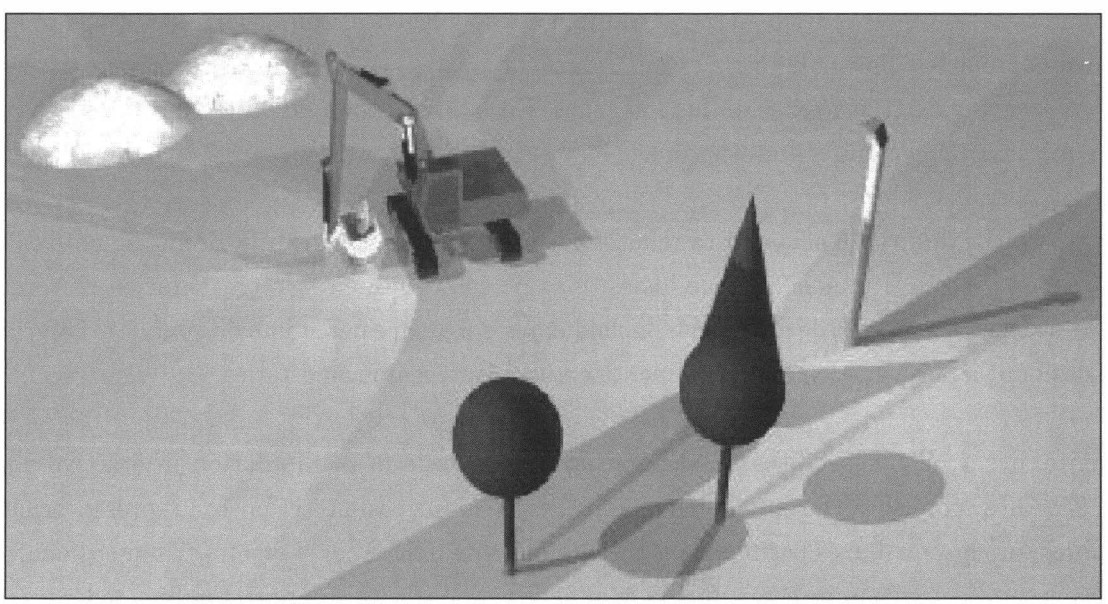


Figura 5
Manejo de cámara.

PRODUCCIÓN DE GRÁFICOS

La comprensión de las propiedades graficas y el manejo de objetos obliga a asimilar una gran variedad de conceptos y técnicas tanto físicos como informáticos. En este caso, hay que conocer los equipos disponibles y los algoritmos necesarios para implementar las simulaciones. Para ser completo, hay que agregar nociones de la percepción visual cuyas leyes condicionan el entendimiento adecuado de la información presente en la pantalla del computador.

Para obtener resultados satisfactorios, se necesita aprendizaje y experimentación de las herramientas disponibles. Es lo que se ha realizado en la Universidad de Lieja [4-6] utilizando siempre y cuando sea posible programas de uso libre, porque los productos comerciales son muy caros y generalmente no pueden solucionar un rango muy ancho de aplicaciones.

La enseñanza de los conceptos y las técnicas se desarrolla en varias etapas comenzando con escenas fijas: definición de un objeto, iluminación, la posición de la camara (figura 5), elección de colores si se trata de mostrar una propiedad y en caso contrario definición de las propiedades ópticas de los materiales.

En una segunda etapa se analizan escenas animadas. También se trata de elegir el alumbramiento, los movimientos de la cámara y también del objeto y sus componentes.

Figura 6
Simulación grafica de cielo y montañas.

CONCLUSIONES

En conclusión, el trabajo necesario para sacar todo el provecho de las visualizaciones es largo y delicado, pero el resultado es muy interesante; aporta mucho para una mejor comprensión de los resultados de la simulación y facilita su transmisión a las personas involucradas.

Todos los conceptos pueden ser enseñados sin mayor dificultad. En muchas oportunidades permiten ahorrar equipos muy caros, largos en su arreglo, y a veces difíciles de mantener.

Los ejemplos mencionados durante la ponencia fueron creados a partir del programa de uso libre POV-RAY [POV 96] et se tratara de hacerlos disponibles en el sitio Internet de la Universidad de Lieja: http://www.ulg.ac.be/ltas/.

Las posibilidades de la computación grafica no se acaba con lo que se ha mostrado en esta oportunidad. Otras aplicaciones necesitan técnicas mas elaboradas y conducen a la representación de terrenos naturales usando técnicas relacionadas a los fractales (figura 6). También algunos investigadores [7] comienzan a preocuparse de la simulación de fenómenos naturales tales como inundaciones naturales o producidas por accidentes (figura 7).

Figura 7
Simulación grafica de inundación en el río Vesdre (Bélgica).

BIBLIOGRAFÍA

BERTIN J, *La graphique et le traitement graphique de l'Information*, Flammarion, 1977

FARGE M., *Choix des palettes de couleurs pour la visualisation des champs scalaires bidimensionnels*, l'Aéronautique et l'Astronautique, n°140, 1990-1.

ITTEN J. *Art de la couleur*, Dessain et Tobra, 1984.

BECKERS P. *Apport des techniques d=animation à l=interprétation des simulations numériques*", Revue Européenne des Eléments Finis, Volume 9 - n° 1-2-3/2000, pages 349 à 359, Communication présentée eu 4ème Colloque National en Calcul des Structures, Giens, France, 18-21 mai 1999.

JARDON S. *Introduction à l'utilisation du logiciel POV-Ray à l'usage des 1 ère Candidature Ingénieur*, disponible sur le site Internet http://www.ulg.ac.be/ltas-cao/, (format pdf, 140 Ko)

BECKERS P., *Computer Graphics for Optimum Design*, chapter 6 in "Advanced Techniques for Structural Optimization", Ed. Santiago Hernández, 1993.

DEWALS B., *Modélisation numérique du transport sédimentaire*, mémoire de fin d'études réalisé au service d'hydrodynamique appliquée et des constructions hydrauliques, Professeur A. Lejeune, Université de Liège.

La rentabilidad económica de cultivos andinos en sukakollus y a secano, en el altiplano norte del departamento de La Paz-Bolivia

Por: *Hugo Ossio Sivila*[1]

RESUMEN

La investigación económica aplicada de los cultivos andinos en las cuatro zonas del Altiplano Norte, a más de mostrar la rentabilidad económica de los mismos, demuestra que los cultivos en sukakollus son más rentables que los cultivos a secano.

Asimismo se demuestra que dentro de los cultivos en sukakollus, los productos de mayor rentabilidad económica, por orden de importancia son: ajo, cebolla cola, papa luky, avena berza y el haba; que pueden constituir los productos de rotación que le permitan al campesino lograr altos ingresos sostenibles en el tiempo, y con ello financiar sin dificultad alguna el paquete tecnológico, la asistencia técnica y en casos necesarios recurrir al crédito; toda vez que la rentabilidad de los citados productos son significativos.

También la investigación aplicada demostró que dentro de los cultivos a secano los productos de mayor rentabilidad económica, por orden de importancia son: la cebada grano, papa luky, cebolla cola, avena berza; que pueden constituir los productos de rotación, que también logren ingresos sostenibles en el tiempo, por la buena rentabilidad de dichos productos.

En este contexto, la tecnología en sukakollus y la de secano son complementarios y no sustitutivos, que permitirán al agricultor campesino, ampliar su unidad de explotación en circunstancias del gran problema de la tenencia de tierra que es el minifundio, así como lograr ingresos sostenibles y superar de alguna manera el problema de la extrema pobreza de la región altiplánica.

[1] Instituto de Desarrollo Rural (IDR) - Universidad Católica Boliviana, Av. 14 de Septiembre Nº 4807 Telf.: (591 2) 2782222 Fax: (591 2) 2786707 E-mail: idruac@ns.ucb.edu.bo La Paz - Bolivia.

SUMMARY

The applied economic investigation of the andean cultivation at four areas of the northern highland, show that the level of economic profitability for them. It demonstrates that the cultivation by using *sukakollus* are more profitable than the cultivation without irrigation.

Also it is demonstrated that inside the cultivation´s in *sukakollus*, the products of more economic profitability, in order of importance are: garlic, onion, potato *luky*, oaten and beans. Those can be rotate and in this way, allow the peasant to achieve high sustainable revenues in time. Also it can finance without difficulty some of the technological package, the technical attendance and in some cases to appeal to the credit. All the time, the profitability of the mentioned products is significant.

The applied investigation also demonstrated that inside the cultivation's without irrigation the products of more economic profitability, in order of importance are: barley, potato *luky*, onion, and oaten. Those can be rotate and also achieve sustainable revenues in the time, for the good profitability of this products.

In this context, the technology in *sukakollus* and that of without irrigation is complementary and not substitute. So they will allow to the rural farmer to enlarge their unit of exploitation in circumstances of the great problem which is the small land property, as well as, to achieve sustainable revenues and to overcome somehow the problem of the extreme poverty at the highlands region.

PRÓLOGO

¿Es posible comprometerse con un proceso de investigación aplicada agrícola de manera integral, participativa, multidisciplinaria y multiinstitucional en un área como el Altiplano Norte, caracterizado por la extrema pobreza de su población campesina?

¿Es posible lograr un diseño metodológico de la investigación - acción que permita la viabilización técnica, económica y social de los cultivos andinos en un altiplano caracterizado por sus rigideces en lo climático, agrológico, hidrológico, agronómico y la tenencia de la tierra que dificultan un desarrollo agrícola sostenible?.

La respuesta a estas preguntas formuladas, en circunstancias a la duda existente entre los organismos del sector público nacional, así como de la cooperación internacional sobre la viabilidad y sostenibilidad de los cultivos andinos en el Altiplano Norte, es a juicio de quienes participan en el proceso investigativo ampliamente positivo; toda vez que entre los objetivos fundamentales de la investigación aplicada está el demostrar que los cultivos andinos y otros en la referida región tienen no solo una viabilidad técnica, sino también económica en las tecnologías a secano y en sukakollus.

Inicialmente a título de introducción, se hace un análisis sucinto en el contexto mundial y nacional respecto a los diversos problemas que confronta el desarrollo agropecuario hacia el siglo XXI en un mundo globalizado.

Se continua con una reflexión del desarrollo rural y agrícola del Altiplano Norte a través de un análisis socioeconómico, donde se destacan los problemas estructurales de la tenencia de la tierra, la distribución del ingreso, el empleo y la formación bruta del capital. Se continúa con una reflexión sobre la racionalidad socio-cultural y la racionalidad económica en el contexto de la cosmovisión del agricultor campesino altiplánico. Asimismo, se tiene una explicación del marco teórico de la metodología de la investigación. Se finaliza el capitulo con una descripción amplia del marco metodológico de la investigación, haciendo énfasis en el registro directo del proceso productivo por parte de los técnicos de campo y del propio agricultor como un método del acopio de la información de los costos físicos.

En el capítulo cuarto se hace un análisis muy sucinto de los resultados relevantes de la parte agronómica y agrológica, hidrológica y climatológica; o sea del paquete tecnológico sobre el que descansa el análisis económico.

Se continúa luego en los capítulos quinto y sexto presentando los resultados económicos logrados en los cultivos de papa luky, avena, cebada, zanahoria, quinua, ajo, cebolla y haba; dentro de las tecnologías de sukakollus y a secano, así como los resultados logrados en la pre-extensión y extensión. Asimismo, en base a los resultados económicos y técnicos muy satisfactorios se concluye validando la tecnología de los sukakollus como un complemento a las otras actividades agropecuarias del campesino agricultor.

Finalmente se plantea una propuesta de rotación de cultivos en base a los resultados económicos logrados; pero estrechamente ligado al paquete tecnológico, constituyéndose éstos en el punto de partida del futuro Plan de Extensión de PROSUKO en la región del Altiplano Norte.

Se concluye este prólogo haciendo hincapié al papel importante que ha jugado PROSUKO, como un mecanismo institucional que ha logrado una coordinación eficiente entre el Proyecto Bi Nacional del Lago Titicaca ALT/ UOB y la Cooperación Técnica Suiza (COSUDE), y sobre todo con las instituciones participantes en la investigación multidisciplinaria, como la Universidad Católica Boliviana, la Universidad Mayor de San Andrés, SENAMHI, PROIMPA y otros.

En este contexto, el seguimiento (control, supervisión y evaluación) eficiente alcanzado por PROSUKO en los diversos proyectos de investigación, permitió que el protagonismo fuera socializado y no individualizado de las instituciones participantes, o sea se logró la unidad en la diversidad.

Asimismo, por tratarse de una investigación aplicada, la participación del campesino agricultor dentro del proceso investigativo fue trascendental, porque éste aportó no sólo su tierra, sino también su trabajo en el proceso investigativo, como testimonio de su motivación y acto de fe.

Finalmente las visitas de las autoridades del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, encabezados por el Señor Ministro, a más de verificar los esfuerzos y resultados logrados por la investigación, observaron la labor realizada por las instituciones participantes y del propio agricultor campesino, por

constituir éstas acciones un aporte real a los problemas que confronta el Gobierno en la región delAltiplano Norte del Departamento de La Paz, en lo que respecta a superar la extrema pobreza rural e iniciar un programa de desarrollo agropecuario sostenible en dicha región.

INTRODUCCIÓN

La estructura agraria de Bolivia se caracteriza por tener una producción agropecuaria, primaria, dual, inestable y desequilibrada regionalmente.

A pesar de los problemas estructurales profundos que aún pesan en el sector agropecuario. Dicho sector en el contexto socioeconómico tiene una gran relevancia por las siguientes consideraciones:

- Por su mayor aporte al Producto Interno Bruto del país, que el periodo 1994 - 1998 fue del 15,93%
- Por generar las mayores fuentes de ocupación, que en el año 1997 fue del 43,2%.
- Por disponer de una gran potencialidad en sus recursos naturales renovables en una superficie de 109,8 millones de Has (48% recursos forestales, 35% pastos y praderas, 7% tierras aptas para la agricultura y 10% tierras en descanso y eriales).
- Por su mayor participación en las exportaciones no tradicionales, que el periodo 1994 - 98 fue del 60,86%, y
- Por tener el porcentaje más alto de analfabetos funcionales al nivel del agricultor campesino

Por otra parte; a pesar de la gran significación que tiene la actividad agropecuaria en el desarrollo económico del país, por su mayor aporte al Producto Interno Bruto, por la mayor generación de fuentes de ocupación y sobre todo por la potencialidad de sus Recursos Naturales Renovables. También es el sector más descuidado en lo social, porque los índices de pobreza en el área rural a nivel de agricultor campesino, particularmente en la región del altiplano, es crítica, llegando en muchos casos a la extrema pobreza, con índices muy alarmantes en cuanto al analfabetismo, la desnutrición, la mortalidad, el saneamiento ambiental y la desocupación disfrazada.

En este contexto se ha investigado tres aspectos fundamentales de los problemas socioeconómicos en las cuatro zonas objeto del presente estudio, y que tienen relación con la estructura agraria, la estructura social y la formación bruta del capital. Dichos aspectos explican de alguna manera el comportamiento de la economía campesina, así como las dificultades del campesino, en la adopción y/o adaptación, de tal o cual tecnología relativas a la producción agrícola.

La estructura Agraria en las zonas de Achuta Grande, Aygachi, Batallas y Llojllata, ratifican lo que muchos estudios socioeconómicos señalan; que el 100% de las propiedades agrarias campesinas tienen su origen en las comunidades originarias y ex-fundos, legalizados y en proceso de legalización por las actuales disposiciones legales de la reforma agraria del Instituto de Reforma Agraria (INRA).

Sin embargo, dicha propiedad por el proceso hereditario en los últimos 45 años y la costumbre de la familia campesina por tener muchos hijos; que participen de las faenas agropecuarias; a determinado que al presente dicha propiedad sea un minifundio o un parvifundio discontinuo, que deja de lado toda explicación de cierta racionalidad económica y tecnológica, vale decir, que la actividad agropecuaria campesina en las cuatro zonas es más una forma de vida emergente de su propia idiosincrasia y de las restricciones que le ofrecen los factores climáticos (permanentes heladas, sequías y granizadas) ; la pobreza de los suelos, así como la falta de una disponibilidad oportuna y adecuada de paquetes tecnológicos y recursos financieros.

Cuadro 1

PROSUKO - UCB : Tamaño de la Propiedad Agraria

(En Hectáreas)

ZONAS	PROPIEDAD AGRICOLA(a)	PROPIEDAD GANADERA (b)
Achuta Grande	2 - 2,5	4 - 5 3
Batallas - Igachi	1,5 - 2,0	3 - 4
Aygachi	0,75 - 1,0	2,5 - 3,5
Llojllata (*)	3,5 - 4,0	5 - 8

Fuente : Elaboración propia de la investigación

(*) Pertenecen a la antigua generación de campesinos (padres de los actuales agricultores que deben repartir la tierra entre 6 y 8 hijos).

(a) En pampa a secano y algún riego de la presa de Karakota vertientes de origen freático.

(b) En ladera, cerro y algunas pampas.

Sin embargo, la referida economía campesina en las cuatro zonas estudiadas, muestra que la mayor fuente de generación de ingresos proviene de la actividad pecuaria, la misma que la explotan en base a la producción de leche, engorde de ganado (dentro y fuera de las tierras del agricultor), a fin de financiar los gastos de educación y salud de sus hijos, así como de su propia canasta familiar, constituida por arroz, fideo, azúcar, pan, maíz, grano de cebada y avena, tubérculos (papa, tunta y chuño) y carne (charque). Dicha canasta es abastecida en un 80% por el mercado, y el 20% por la producción de su propia unidad de explotación.

Por otra parte, los ingresos para financiar los insumos agrícolas, herramientas y compra de ganado, proviene de los trabajos que los agricultores realizan en otras actividades, como la albañilería, la cerrajería, la servidumbre, la artesanía, la música y el trabajo de comerciante ambulante.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar se hace el análisis teórico sobre la racionalidad económica y sociocultural; tan útil para el establecimiento de los costos de la mano de obra, de la utilización de la maquinaria y equipos agrícolas y de las yuntas por parte de los agricultores campesinos.

En segundo lugar, el análisis teórico abarca algunas reflexiones en torno a la modernización de la agricultura y la asistencia técnica y los cambios en los medios productivos y la eficiencia productiva del agricultor.

La metodología de la investigación económica se halla ajustada al marco teórico y socioeconómico señalados anteriormente y al carácter tradicional y más familiar que comunal de la actividad agrícola en las zonas de Achuta Grande, Aygachi, Batallas Granja y Llojllata Laimines. Asimismo, la metodología de la investigación permite el registro de una información detallada por observación directa que facilita el cálculo de indicadores económico a nivel de productor, zona y tipos de tecnología.

Objetivo General

Validar económicamente la tecnología de sukakollus, comparativamente con la tecnología a secano del cultivo de la papa luky en particular, y en rotación con otros cultivos de las zonas.

Aspectos tecnológicos de los cultivos andinos

Antes de considerar los resultados de la investigación económica de los cultivos andinos correspondiente al periodo 1995-99, se tiene una síntesis muy apretada sobre el comportamiento de las variables técnicas en el proceso productivo de los cultivos andinos en las cuatro zonas del Altiplano Norte, relativos a la climatología, agrología, agronomía e hidrología, las mismas que han sido estudiadas en profundidad por el equipo técnico de PROSUKO y las otras instituciones participantes.

En los cuatro años de investigación, los fenómenos climatológicos fueron muy marcados. Así, el año agrícola 1995 - 96 se caracterizó por tener las heladas más intensas y persistentes del periodo 1995-99. Este fenómeno climatológico fue el que más afectó los cultivos, particularmente de la papa lo que se refleja en los rendimientos culturales más bajos en los cuatro años.

El Año Agrícola 1996-97, se caracterizó por tener las inundaciones más severas del periodo citado, en las zonas de Achuta Grande y Aygachi, y las precipitaciones pluviales más intensas en las zonas de Batallas - Granja y Llojllata Laimines. Pero este fenómeno climatológico no afectó seriamente los rendimientos culturales, debido al buen drenaje que ofrecieron los sukakollus en las zonas citadas anteriormente.

El Año Agrícola 1997 - 98, se caracterizó por una acentuada sequía, emergente del fenómeno de El Niño, pero los riegos adicionales que se hicieron y las precipitaciones pluviales intensas en los últimos meses del ciclo de la producción de los cultivos, o sea marzo y abril, permitieron que se lograran muy buenas cosechas y se tuvieran los mejores rendimientos culturales del cultivo de papa en todo el periodo de la investigación.

Finalmente, el Año Agrícola 1998 - 99 se caracterizó por tener todos los fenómenos climatológicos en forma leve y moderado, lo que afectó también moderadamente a los rendimientos culturales de la papa y los demás cultivos.

En síntesis se puede decir que la naturaleza fue pródiga en el proceso de la investigación tecnológica y económica aplicadas; por permitir contar con fenómenos climatológicos muy marcados y diferenciados y poder medir de este modo los efectos de los mismos en forma ecuánime, en cuanto a los rendimientos culturales y la rentabilidad económica de los productos agrícolas investigados en el periodo 1995 - 99. Además los resultados técnicos y económicos, promedio, alcanzados en el periodo citado permiten validar adecuadamente las bondades de la tecnología de Sukakollus como un complemento de las otras tecnologías y no como una alternativa; toda vez que la construcción de sukakollus se las efectúa en bofedales marginales para el desarrollo pecuario, constituyéndose éstos más bien en un proceso de rehabilitación de suelos con fines agrícolas.

ANALISIS RESUMIDO DE LA RENTABILIDAD DE CULTIVOS ANTINOS[2]

Bolivia como país de menor desarrollo relativo, a pesar de sus grandes dificultades económicas y financieras y de movilidad social, viene efectuando ajustes en su estructura económica y administrativa, en el marco de la globalización y del nuevo milenio. Sin embargo, los grandes problemas de la extrema pobreza y la desocupación que confronta el campesino en el área rural y la población marginal en el área urbana; se reflejan en las permanentes huelgas, paros y bloqueos que confronta el país. Esto obliga a que los gobiernos a futuro tengan que encarar con prontitud y seriedad las soluciones a los problemas de la tenencia de la tierra, la asistencia técnica, la asistencia crediticia, y sobre todo superar los niveles altos de analfabetismo funcional de las grandes mayorías nacionales que son los campesinos; si de veras quieren aplicar adecuadamente y oportunamente las políticas socioeconómicas contempladas en sus planes de Desarrollo; toda vez que en los últimos 30 años abundaron más las políticas fácticas emergentes de las presiones permanentes de tipo regional étnico, laboral y empresarial.

Esto implica repensar en un nuevo ajuste del rol del Estado; toda vez que el Estado normativo propuesto en los planes de desarrollo económico y social del actual gobierno no funciona, más al contrario se ha complicado cada vez más, al punto de que los mayores conflictos que confronta el gobierno actual con la población al nivel nacional, tienen relación con los servicios de agua, la asistencia técnica, la asistencia crediticia, el servicio de caminos, el servicio energético y de comunicación, que han sido casi totalmente privatizados.

En este contexto, cualesquiera que fuera el agente para el cambio (Estado o Sector Privado), es urgente que los servicios que requiere la actividad agropecuaria del país, empiecen a funcionar eficientemente en los campos de la investigación y la extensión agraria, en circunstancias en que Bolivia ha comprometido la apertura de su mercado en los acuerdos de integración de la Comunidad Andina (CAN) y el Mercado Sur (MERCOSUR), en el marco del Acuerdo Agropecuario de la Organización Mundial del Comercio (OMC). Asimismo Bolivia, tiene compromisos con el FMI, el Banco Mundial y el BID para llevar adelante la sostenibilidad de la estabilidad económica y financiera, necesarias para un Desarrollo Económico con equidad y justicia social.

---

[2] El informe final se halla en revisión, de acuerdo a Convenio suscrito con PROSUKO.

En este sentido, la puesta en marcha de programas de asistencia técnica y/o proyectos de producción en el área de la agricultura, implica tomar en cuenta los aspectos siguientes:

a) Muchas veces se sobre dimensionan los beneficios potenciales de los recursos naturales desde el punto de vista puramente físico (tierras, silvicultura, ríos, etc.)
b) Las mayores dificultades en la utilización del potencial referido anteriormente son los de carácter social, como la resistencia al cambio, la falta de confianza en los organismos del Estado y la renuncia a correr riesgos por parte de los agricultores campesinos; y
c) El desconocimiento del cómo vencer los obstáculos sociales.

Precisamente, la actividad agrícola al tener como ámbito el comportamiento biológico de las plantas y de éstas con el comportamiento climatológico de las regiones, hace que sus resultados técnicos y económicos estén supeditados a la incertidumbre y no al riesgo. Este hecho, hace que la actividad agrícola sea muy aleatoria, donde la investigación aplicada es una necesidad sentida para detectar los problemas citados anteriormente y encarar éstas con soluciones viables en su contexto agroecológico, medio ambiental y económico, evitando de este modo efectuar grandes inversiones que no logren los objetivos y resultados esperados, como viene sucediendo con muchos proyectos agrícolas en el país.

Consciente de esta realidad, las instituciones participantes en el Programa Interinstitucional Sukakollu (PROSUKO), han comprometido sus recursos financieros, físicos y humanos en una investigación aplicada multidisciplinaria y multinstitucional; basado en tres premisas: la identificación, la motivación y la confianza de los participantes, incluyendo a los agricultores campesinos que comprometieron no solo su mano de obra, sino también su tierra. En síntesis, primó el protagonismo de grupo que el interés individual.

Basado en dichas premisas se inició y concluyó el Proyecto de Investigación Económica de los cultivos andinos en sukakollus y a secano; con resultados muy significativos que validan la tecnología en sukakollus y demuestran la rentabilidad económica de los cultivos como la papa lucky, la avena, la cebada, la cebolla cola, el ajo, el haba, la zanahoria y la quinua; cuyo detalle se halla en capítulos anteriores.

La investigación económica aplicada de los cultivos andinos en las cuatro zonas del Altiplano Norte, a más de demostrar la rentabilidad económica de los mismos, demuestra que los cultivos en sukakollus, son más rentables que los cultivos a secano.

Asimismo se demuestra que dentro de los cultivos en sukakollus, los productos de mayor rentabilidad económica, por orden de importancia son: el ajo, la cebolla cola, la papa lucky, la avena berza y el haba; que pueden constituir los productos de rotación que le permitan al campesino lograr altos ingresos sostenibles en el tiempo y con ello financiar sin dificultad alguna el paquete tecnológico, la asistencia técnica y en casos necesarios recurrir al crédito; toda vez que la rentabilidad de los citados productos son muy significativos. (Cuadro 2).

Cuadro 2

PROSUKO-UCB: Indicadores económicos de los cultivos en Sukakollus y A secano, período 1995-99

PRODUCTOS	SUKAKOLLUS Utilidad ($us/Ha)	A SECANO Utilidad ($us/Ha)
Papa Lucky	1.841,51	1.453,85
Avena Berza	1.135,00	1.066,00
Haba verde	677,00	208,00
Cebada Grano	387,00	2.132,00
Quinua	(274.00)	724,00
Cebolla cola	5.155,00 *(a)*	1.467,00 *(a)*
Ajo	8.653,00 *(b)*	3.393,00 *(b)*
Zanahoria	306,00	—

a) Dos años de investigación en rotación
b) Un año de investigación en rotación

También la investigación aplicada demostró que dentro de los cultivos a secano los productos de mayor rentabilidad económica, por orden de importancia son; la cebada grano, la papa lucky, la cebolla cola, la avena berza; que pueden constituir los productos de rotación, que también logren ingresos sostenibles en el tiempo, por la buena rentabilidad de dichos productos. (Cuadro 3)

Cuadro 3

PROSUKO-UCB: Resultados económicos promedio de de los cultivos de papa lucky, haba y avena; en Sukakollus y A secano, período 1995-99

Indicadores	PAPA LUCKY		HABA		AVENA	
	Sukakollu	A secano	Sukakollu	A secano	Sukakollu	A secano
-Rendimiento Cultural (TM/Ha)	19,11	14,22	6,42	2,00	35,45	15,67
-Utilidad ($us/Ha)	1.841,51	1.453,85	677	208,00	1.135,00	1.066,00
Rentabilidad del Capital (%)	20,18	15,58	7,94	4,27	9,13	15,92

Fuente: Informes Económicos del periodo 1995-99.

En este contexto, la tecnología de sukakollus y la de secano son complementarios y no sustitutivos, que permitirán al agricultor campesino, ampliar su unidad de explotación en circunstancias del gran problema de la tenencia de tierra que es el minifundio, así como lograr ingresos sostenibles y superar de alguna manera el problema de la extrema pobreza de la región altiplánica.

Por otra parte, la investigación económica aplicada logró elaborar una metodología muy participativa y multidisciplinaria, donde el protagonismo institucional individualizado fue totalmente socializado, o sea se logró la unidad en la diversidad, lo que significó un trabajo en equipo.

Así, en el inicio de la investigación económica, los agricultores campesinos participantes en las 4 zonas consideraban al PROSUKO como una de tantas organizaciones pasajeras de la asistencia técnica, o como una ONG más, que construyeron sukakollus y los abandonaron. Por ello, en principio el accionar del agricultor campesino fue dubitativo porque esperaba recibir todo.

En los cuatro años del proceso investigativo se cambió totalmente el modo de participación del agricultor campesino en las tareas de la investigación aplicada, porque él, a pesar de ser propietario de la tierra, era un investigador más, porque comprometió su mano de obra y fue responsable de los resultados logrados.

El campesino en los 4 años de investigación vio que sus ingresos mejoraron, porque obtuvo utilidades buenas, a pesar de confrontar con heladas severas, sequías prolongadas e inundaciones.

Los buenos resultados técnicos y económicos logrados en los cultivos andinos en las dos tecnologías, así como su participación plena en el proceso investigativo, indujo a que muchos agricultores campesinos de la región del Altiplano Norte solicitaran a PROSUKO una Asistencia Técnica a futuro.

Asimismo, el agricultor campesino, consciente de su idiosincrasia considera aún la actividad agrícola como una forma de vida (racionalidad socio-cultural) y no como un negocio (racionalidad económica).

Con el proceso de la investigación económica, cambió dicho pensamiento, porque los rendimientos altos y las buenas utilidades logradas en sus tierras de cultivo, tanto en sukakollus como a secano, les obligó a pensar cómo lograr una buena comercialización de sus excedentes en el mercado.

En síntesis, se puede concluir que es posible lograr en el agricultor campesino una amalgamación de la racionalidad socio cultural con la racionalidad económica.

En el contexto del profesional investigador de las instituciones participantes y del equipo técnico de PROSUKO, éstos también en principio comenzaron desarrollando sus tareas individualmente, celosos de lograr resultados en sus campos específicos de la agrología, hidrología, agronomía, climatología y sanidad vegetal.

Al concluir los cuatro años de la investigación aplicada se cambió tal actitud por el trabajo de equipo, sin protagonismos institucionales, sino del deber cumplido basados en la motivación con los problemas de la región, de los campesinos, así como de su identificación con los objetivos de la investigación, que fueron el de encarar los problemas citados anteriormente y lograr buenos resultados viables que beneficien al agricultor campesino.

También al iniciar el proceso investigativo existieron dificultades en el entendimiento del lenguaje técnico y económico, así como la interpretación de los respectivos indicadores. Pero el trabajo basado en el registro ordenado y sistemático de los datos por observación directa de los propios técnicos de campo, fue posible entender el alcance de los indicadores y su significación económica, es decir, se logró el aprendizaje haciendo. También los investigadores de las Universidades y los técnicos del PROSUKO y otras instituciones, aprendieron como aplicar sus conocimientos teóricos con la realidad y viceversa, en un contexto de lograr resultados significativos que beneficien al agricultor campesino y a los propios investigadores.

[3] En la pre-extensión (Año Agrícola 1998-99), se benefició a 13 familias, y en la extensión (Año Agrícola 1999-2000) a 66 familias, proyectándose para el Año Agrícola 2000 - 2001, incorporar unas 90 Has de sukakollus que beneficien alrededor de 300 familias campesinas.

De esta manera y en circunstancias en que los pilares fundamentales de la actividad agrícola del país, como la investigación y la extensión, se hallan aún en crisis, por las reformas de la organización administrativa del sector público, fue PROSUKO y las instituciones participantes en la investigación aplicada las que lograron demostrar que el Altiplano Norte tiene viabilidad técnica y económica y que con motivación y confianza de sus actores se pueden encarar y dar soluciones a los grandes problemas de la pobreza rural del Altiplano Norte del Departamento de La Paz.

Lo mencionado en el acápite anterior, queda demostrado plenamente por los trabajos de la pre - extensión y la extensión[3] que viene ejecutando el PROSUKO y las instituciones participantes, donde se ratifica los altos rendimientos culturales del cultivo de la papa (lucky y huaycha) y los buenos ingresos económicos logrados por el agricultor, a pesar de haber soportado en el Año Agrícola 1999-2000, la sequía mas prolongada y acentuada de los últimos cinco años.

CONCLUSIONES

La investigación económica aplicada de los cultivos andinos en las cuatro zonas del Altiplano Norte, a más de mostrar la rentabilidad económica de los mismos, demuestra que los cultivos en sukakollus son más rentables que los cultivos a secano. (ver cuadro 4).

Asimismo se demuestra que dentro de los cultivos en sukakollus, los productos de mayor rentabilidad económica, por orden de importancia son: ajo, cebolla cola, papa luky, avena berza y el haba; que pueden constituir los productos de rotación que le permitan al campesino lograr altos ingresos sostenibles en el tiempo, y con ello financiar sin dificultad alguna el paquete tecnológico, la asistencia técnica y en casos necesarios recurrir al crédito; toda vez que la rentabilidad de los citados productos son significativos.

También la investigación aplicada demostró que dentro de los cultivos a secano los productos de mayor rentabilidad económica, por orden de importancia son: cebada grano, papa luky, cebolla cola, avena berza; que pueden constituir los productos de rotación, que también logren ingresos sostenibles en el tiempo, por la buena rentabilidad de dichos productos.

En este contexto, la tecnología en sukakollus y la de secano son complementarios y no sustitutivos, que permitirán al agricultor campesino, ampliar su unidad de explotación en circunstancias del gran problema de la tenencia de tierra que es el minifundio, así como lograr ingresos sostenibles y superar de alguna manera el problema de la extrema pobreza de la región altiplánica.

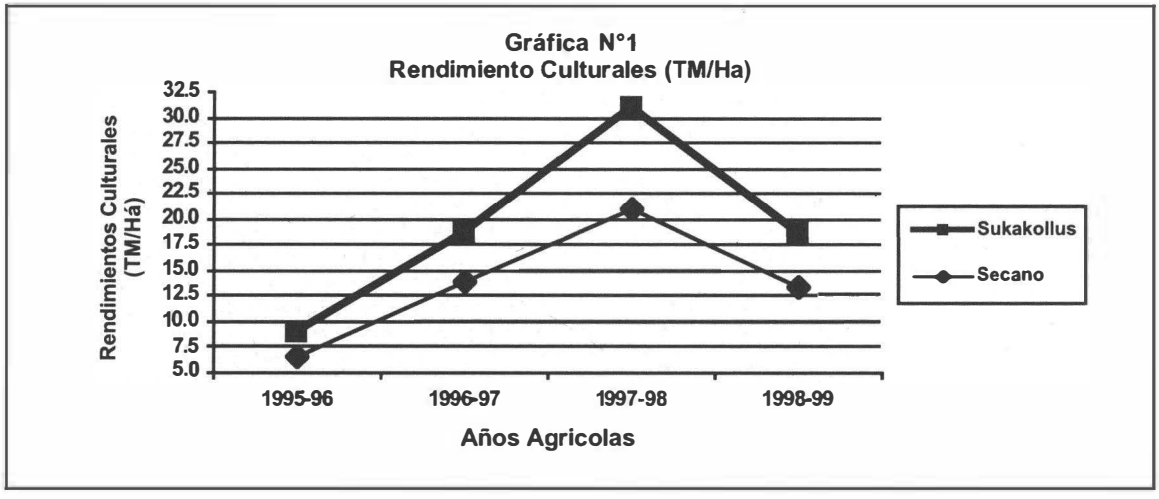
En los cuatro años del proceso de investigación se cambió totalmente el modo de participación del agricultor campesino en las tareas de la investigación aplicada, porque él a pesar de ser propietario de la tierra, era un investigador más , porque comprometió su mano de obra y fue responsable de los resultados logrados.

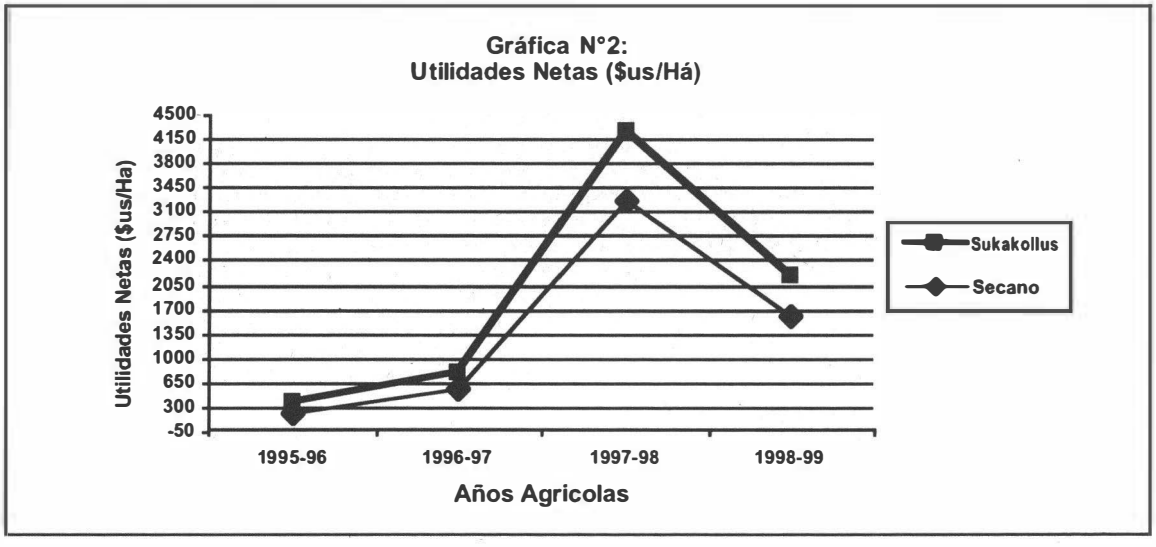
El campesino en los cuatro años de investigación vio que sus ingresos mejoraron, porque obtuvo utilidades buenas, a pesar de confrontar con heladas severas, sequías prolongadas e inundaciones.

Asimismo, el agricultor campesino, consciente de su idiosincrasia considera aún la actividad agrícola como una forma de vida (racionalidad socio - cultural) y no como un negocio (racionalidad económica).

En el proceso de la investigación económica, cambió dicho pensamiento, porque los rendimientos altos y las buenas utilidades logradas en sus tierras de cultivo, tanto en sukakollus como a secano, les obligó a pensar cómo lograr una buena comercialización de sus excedentes en el mercado.

Cuadro 4:
PROSUKO-UCB: Gráficas de Indicadores técnicos y económicos del cultivo de la PAPA LUKY en SUKAKOLLUS y a SECANO en el altiplano Norte del Depto. de La Paz; Período 1995-99
(Fase Investigación)





Año Agrícola 1995-96; se caracterizó por heladas intensas y persistentes
Año Agrícola 1996-97; se caracterizó por inundaciones severas
Año Agrícola 1997-98; se caracterizó por sequía acentuada
Año Agrícola 1998-99; se caracterizó por un equilibrio climático (Heladas, sequías e inundaciones)

En síntesis, se puede concluir que es posible lograr en el agricultor campesino una amalgamación de la racionalidad socio - cultural con la racionalidad económica.

De esta manera y en circunstancias en que los pilares fundamentales de la actividad agrícola del país, como la investigación y la extensión, se hallan aún en crisis, por las reformas de la organización administrativa del sector público, fue PROSUKO y las instituciones en la investigación aplicada las que lograron **demostrar que el Altiplano Norte tiene viabilidad técnica y económica**, y que con motivación y confianza de sus actores se pueden encarar y dar soluciones a los grandes problemas de la pobreza rural del Altiplano.

La investigación en agricultura y ganadería en el Sistema del Lago Titicaca

Por: *Armando Cardozo*[1]

RESUMEN

En los mundos opuestos del occidente y oriente de Bolivia, se han generado centros de conocimientos para apoyar la actividad humana. No existe compatibilidad entre los tiempos para el desarrollo científico agrícola en estas regiones. En el occidente, desde Tiwanaku se irradió al Altiplano Norte, al resto del Altiplano y trascendió fuera del territorio del Kollasuyo. En el Oriente, la generación de conocimientos, no fue tan relevante, en ésa época. Su auge es moderno.

Existen otros centros de generación de conocimientos. El valle de Cochabamba que generó culturas agrícolas, con base en el cultivo del maíz, para citar uno de ellos. También fue campo de desarrollo de la papa y otros cultivos andinos. Santa Cruz, el Oriente, está descollando en los últimos decenios con las investigaciones de cultivos modernos de soporte a la industria alimenticia, en general.

Esta promoción de conocimientos en Bolivia, ha sido, en principio, de la actividad metalúrgica. La producción de minerales motivó la necesidad de la mejor utilización de esos productos de las minas. Potosí y Chuquisaca, a la vanguardia, fueron los centros importantes de investigación metalúrgica. Después Charcas se internó en el conocimiento de la bioquímica, farmacopea y medicina.

Las culturas tiwanacota y quechua desencadenaron el conocimiento de la agricultura y la ganadería en la zona andina. Los cultivos andinos fueron, naturalmente, el fuerte de la biodiversidad andina que desarrollaron. La verdad es que de estos cultivos, muchos fueron experimentados en las zonas sub-tropicales: walusa, naranjilla, coca, etc. Otros, fueron estudiados en el centro de Tiwanaku, en los sukakollus.

[1] Instituto para la Conservación e Investigación de la Biodiversidad – ANCB. Telf.: (591 2) 2350612 (591 2) 2363990ANCB. Av. 16 de Julio N° 1732 Casilla 5829.

En la ganadería, Tiwanaku es testigo de los intentos de utilizar plenamente a los camélidos recién domesticados. Y Tiwanaku es también centro de los trabajos de utilización de las vicuñas. Se encontraron restos de los reposaderos y mataderos de los "huaris" (vicuñas). Lo mismo acontece con los intentos de industrializar a los quirquinchos y suris (ñandues).

Desde entonces, para adelante, la investigación experimental sucedió a la empírica. En el Altiplano, las granjas de experimentación, primero, y las granjas experimentales, últimamente, contribuyeron al uso del germoplasma para fortalecer é incrementar la biodiversidad y la aplicación en la producción agrícola. La quinua, la papa, y los cerca de 30 cultivos andinos de Altiplano y Cordillera fueron materia de investigación; unos con más dedicación que otros.

Y en ganadería, la vicuña, entre los camélidos silvestres, fue salvada de la extinción y la llama ha entrado en un franco proceso de uso industrial y podría ser el principal soporte económico pecuario del Altiplano.

SUMMARY

At the opposed worlds of the occident and east of Bolivia, centers of knowledge have been generated to support the human activity. Compatibility doesn't exist among the times for the agricultural scientific development in these regions. In the occident, from Tiwanaku it was irradiated to the Northern Highlands, to the rest of the Highlands and beyond of the *Kollasuyo* Territory. At the East, the generation of knowledge was not so excellent, in that time. Their peak is modern.

Other centers of knowledge generation exist. The valley of Cochabamba that generated agricultural cultures, based on the cultivation of corn, only to mention one of them. It was also field of development of the potato and other Andean cultivates. Santa Cruz, of the East, it is excelling in the last decades with the investigations of modern cultivation to support the food industry, in general.

This promotion of knowledge in Bolivia, it has been, in principle, for the mining activity. The production of minerals motivated the necessity of the best use in those products. Potosí and Chuquisaca, were the vanguard. There were the important centers for metallurgic investigation. Then Charcas went into in the knowledge of the biochemistry, pharmacopoeia and medicine.

The cultures Tiwanacota and Quechua promoted the knowledge about agriculture and cattle raising at the Andean area. The Andean cultivation were developed, naturally, the rich Andean biodiversity. The truth is that of these cultivation's, many were tested in the sub-tropical areas: walusa, naranjilla, coca, etc. Other, they were studied in the center of Tiwanaku, in the *sukakollus*.

About the cattle raising, Tiwanaku was witness the intents for using fully to the recently domesticated southamerican camels. And Tiwanaku was also center related to the use of the vicuñas. There were found remains the reposaderos and slaughterhouses where "*huaris*" (vicuñas) were kulled. The same thing happens with the intents of industrializing the quirquinchos and suris (ñandues).

From then on, it went ahead, the experimental investigation replace to the empiric one. At the Highlands, the farms for experimentation, first, and the experimental farms, lately, contributed to the use of the native germoplasma to strengthen and to increase the biodiversity and their application on agricultural production. The quinua, the potato, and more than 30 Andean cultivates from Highlands and Mountain range were matter of investigation, some with more dedication than others.

Referring to cattle raising, the vicuña, among the wild southamerican camels, was saved from the extinction. And the lama has entered in the process of industrial use and it could became the main cattle economic support for the people of the Bolivian Highlands.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de verdades en el Altiplano Bolivia tiene una larga historia. En la primera fase, la investigación está relacionada con la religión que ocupaba el tiempo, el espacio y las principales ideas en la sociedad teocrática de los Imperios Tiwanacota é Incaico. Los principios teocráticos evolucionaron hacia la astronomía. La astronomía dominó desde el Centro de Tiwanaku por mucho tiempo y los hombres de ciencia continuaron dirigiendo a la intelectualidad desde la sede de los quechuas. En Machu Pichu, el barrio de los tiahuanakus era una especie de tabernáculo oculto.

La ciencia que trascendió fue la de la astronomía y dejaron en sus huellas monumentos que pertenecen al patrimonio universal. La Puerta del Sol, en Tiwanaku es una pieza clave sobre la mitología y la astronomía colla y aymara. Pero, no solo fue la ciencia del Sol y de las estrellas y lo que implicaba, la creencia en las Deidades. Hubieron muchos rasgos científicos para entender el desarrollo de la agricultura y ganadería. El Valle Sagrado tiene muestras de lo que se realizó en la fertilización, conservación y habilitación de tierras, el control, uso y transporte del agua. Posiblemente, desde entonces data la construcción y conservación de los bofedales altoandinos.Las terrazas del Cuzco, replicadas en los bordes del Lago Titicaca y en los Yungas de La Paz, entre otras, son las señas de alguna de las enseñanzas en las ciencias de la tierra.

La Magnitud de los Cultivos

Pero, hay más sobre el paso de esas culturas en el desarrollo agropecuario. El rubro de los cultivos agrícolas es de los más ricos porque entraña la domesticación de cultivos nativos como la papa (*Solanum andigenum*), el maíz (*Zea mays*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*). Constituyen los aportes más importantes de la región a la Humanidad. Esos tres cultivos y plantas, son solo el ejemplo de las contribuciones de la agronomía de esta zona. Hay que recordar que se han registrado más de 200 plantas nativas (Alandia, 2000) que se han dado a la Humanidad como presente desde los campos andinos de Bolivia. Y de cada uno de las dos centenas de cultivos hubieron avances muy significativos. Ese es un patrimonio que hay que señalarlo.

La papa constituye uno de los cultivos y productos más extensos, difundidos y utilizados en muchas grandes regiones del mundo. También el maíz tiene que ver con la Hoya del Titicaca, porque en la biodiversidad hay

un complejo altoandino del maíz a alturas de 3000 a 3700 msnm (Avila, 2000). Y la quinua boliviana cuya biodiversidad se ha distribuido y es ahora la conquista de muchos países y regiones.

Este grado de domesticación y el servicio a los Hombres en muchas regiones del mundo, son el producto de la ciencia nativa y el empirismo de los pueblos antiguos de Bolivia.

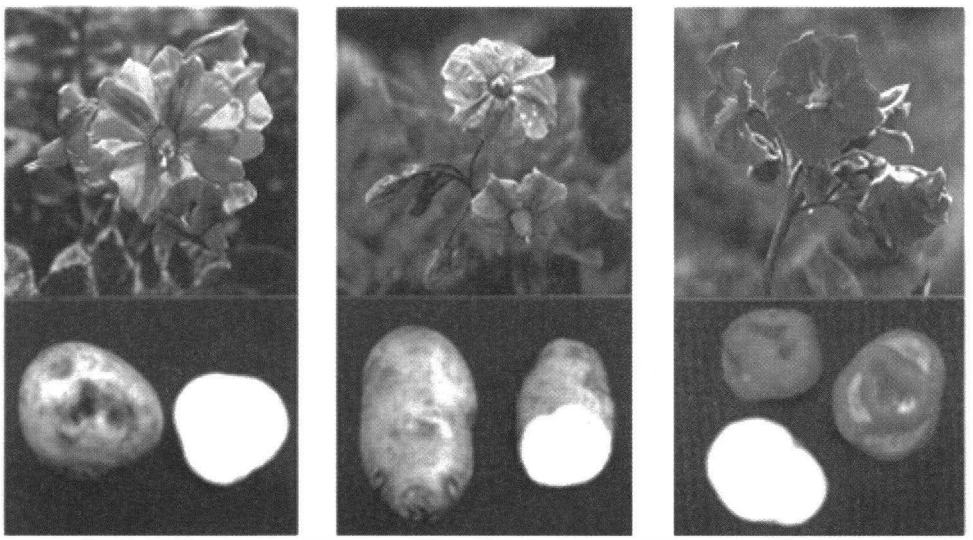


Figura 1

Tesoro de los pueblos andinos, es la mayor biodiversidad recibida hoy por las actuales generaciones y es compartida con grandes regiones en el mundo (*A. Cardozo*).

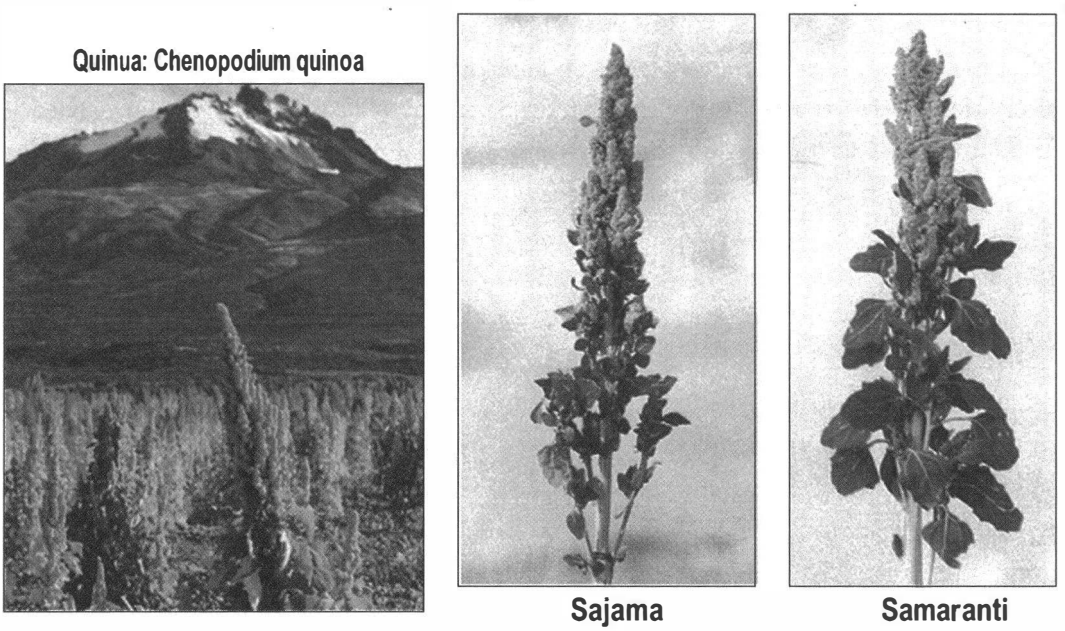


Figura 2

La quinua, pseudo cereal con la proteina del más alto valor biológico. Es el alimento ancestral de la cadena alimenticia, es hoy un valor en la exportación y en la dieta nacional (*Cardozo*).

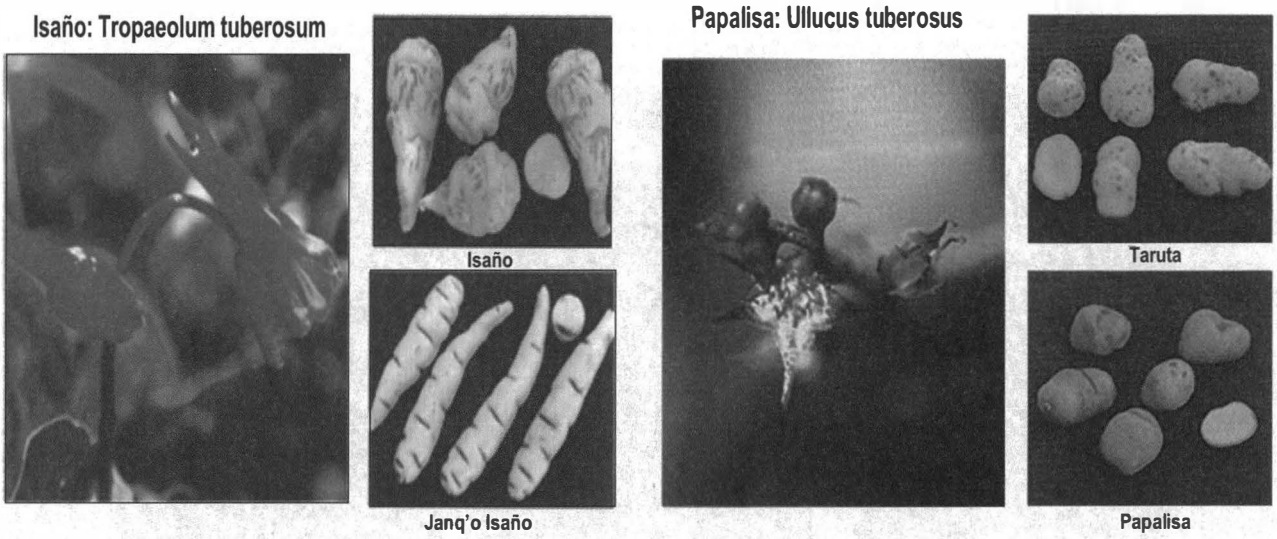


Figura 3

Biodiversidad de la Cuenca del Titicaca que comprende a pequeños tubérculos y otras 200 especies heredadas de los pueblos antiguos.

Figura 4

El maíz del grupo "complejo andino" es otro cereal de la mesa altoandina, ingrediente muy apetecido en la dieta por su rico contenido calórico (*Avila, 2000*).

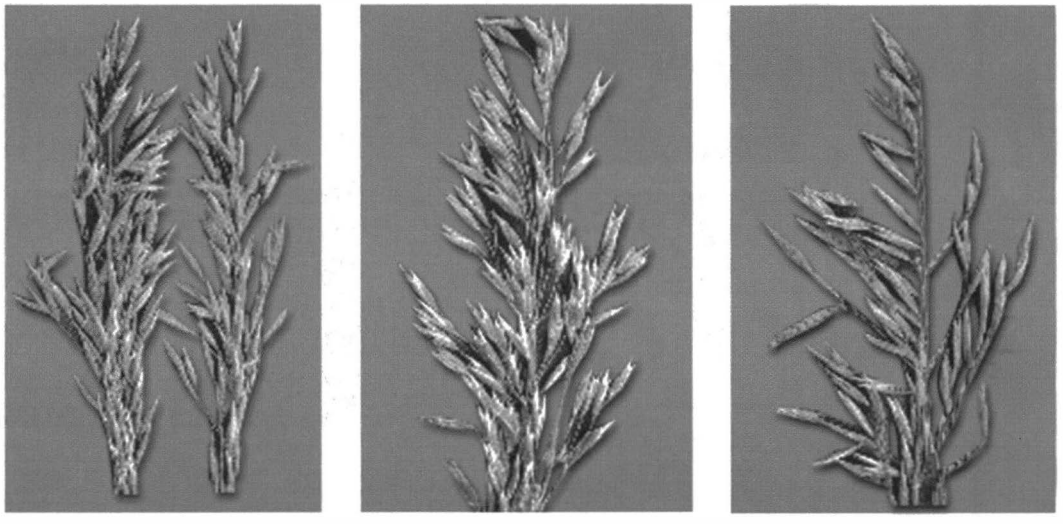


Figura 5

La avena, uno de los cereales obtenidos por la experimentación en la altura, para innovar la producción forrajera en las orillas del Lago Titicaca. Supera la producción de la cebada (*A. Cardozo*).

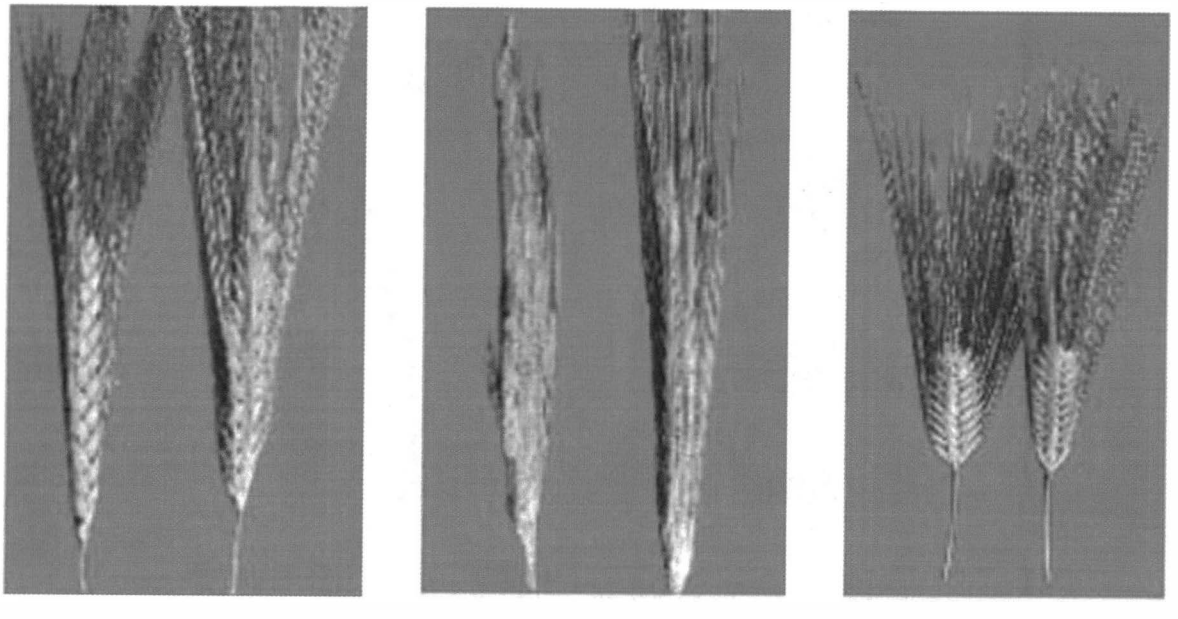


Figura 6

La cebada es el cultivo más extenso en el Altiplano, es el recurso más manido para la alimentación del ganado en las parcelas de subsistencia.

Después de una interfase, en el segundo Siglo de la República, se ha retomado esta investigación. Aparentemente, esas plantas económicas están sorteando su desaparición y olvido. Mucha bibliografía y espíritu de preservación y conservación pueden ser la garantía de la supervivencia. Para estos cultivos, la ciencia natural está utilizando los laboriosos bancos de germoplasma y los numerosos bancos in situ.

La Ganadería Andina

Desde la última parte del periodo Pleistocénico de nuestra Era geológica, se han adaptado los camélidos en Sudamérica. Bolivia es uno de los países que ha recibido esta herencia sin par. Tarija, al sur de Bolivia, es uno de los reductos paleontológicos más importantes del sub-continente.

La Hoya del Lago Titicaca se considera el centro de expansión, domesticación y utilización económica de estos animales. Antiguamente conocidos como "auquénidos", los camélidos domésticos, la llama (*Lama glama*) y la alpaca (*Lama pacos*) se han establecido en Bolivia como centro de dispersión. La mayor población nacional de llamas está en Bolivia con 2.398.572 animales y la segunda población nacional de alpacas con 416.952 especímenes (UNEPCA, 1999).

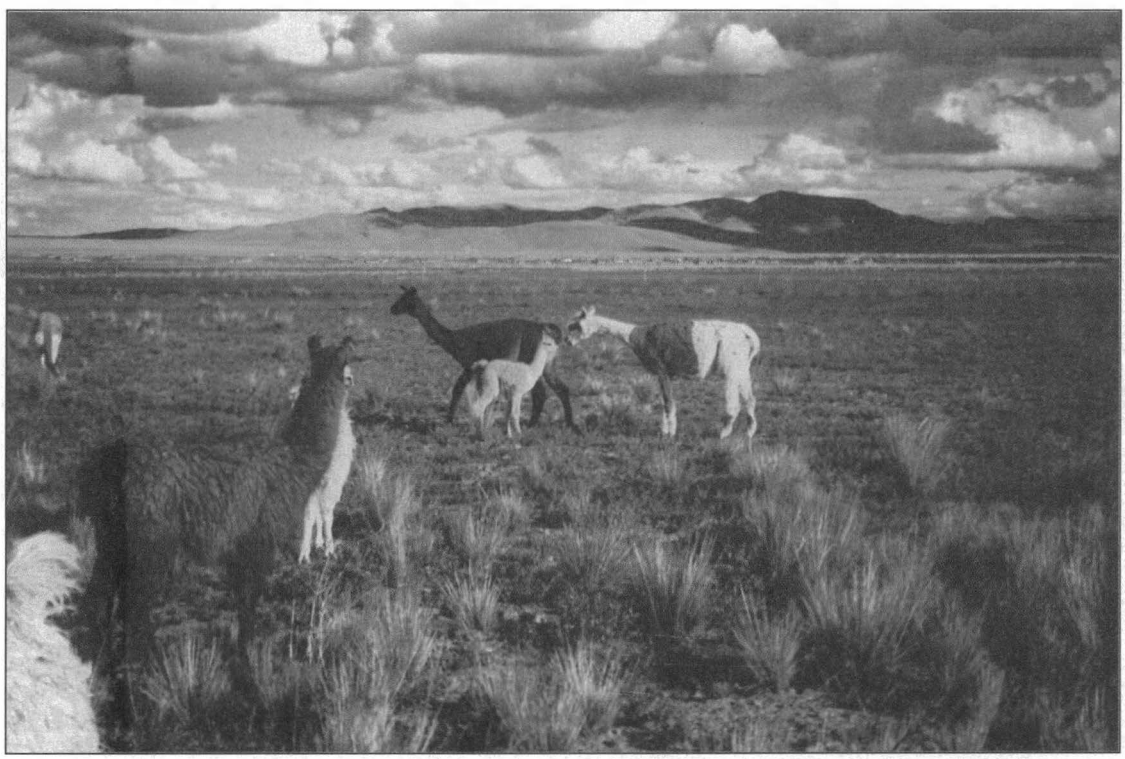
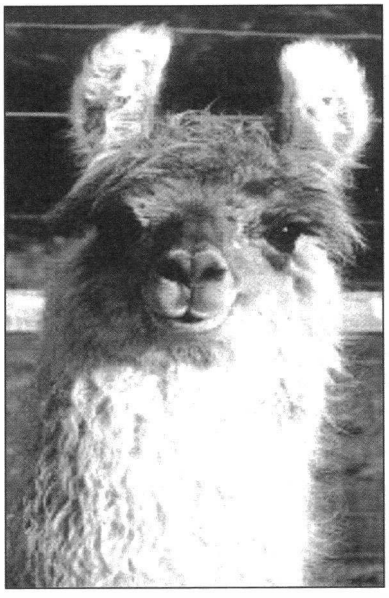
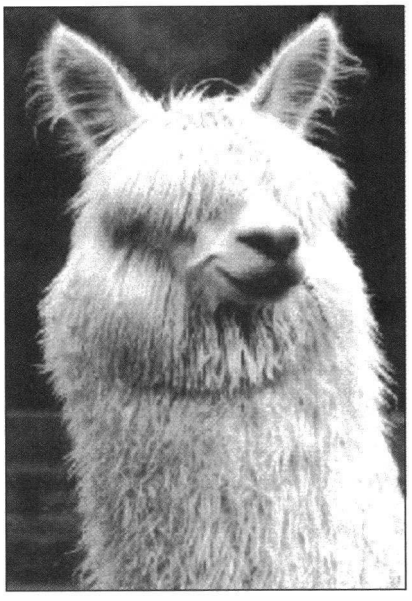


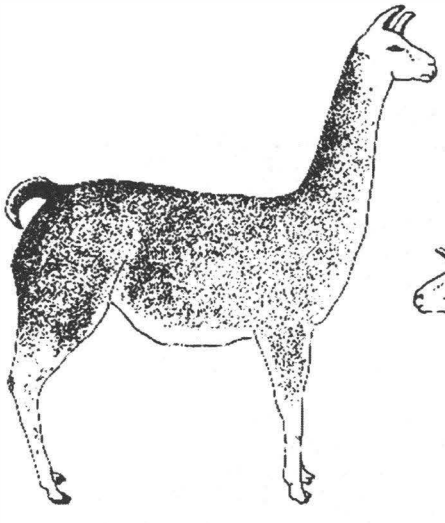
Figura 7
Las pasturas cultivadas contribuyen al desarrollo corporal de las llamas
(E.E. Patacamaya, 1999).



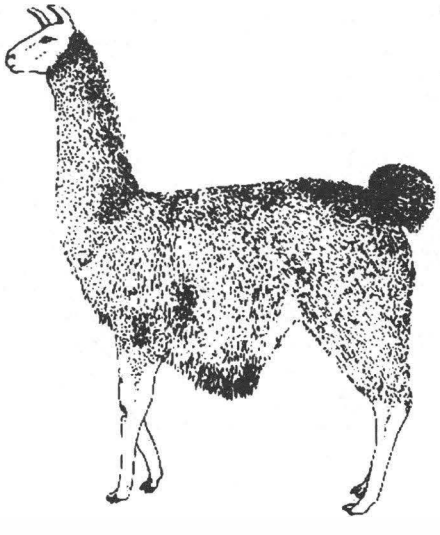
"Inalterable por la tierra avara, del Altiplano ostenta la mesura, de su indolente paso y su apostura, la sobria compañera del aymara"



"Parece lánguida cuando se para y mira la aridez de la llanura, que en sus grandes pupilas la amargura, del erial horizonte se estancara"
(*Gregorio Reynolds*)



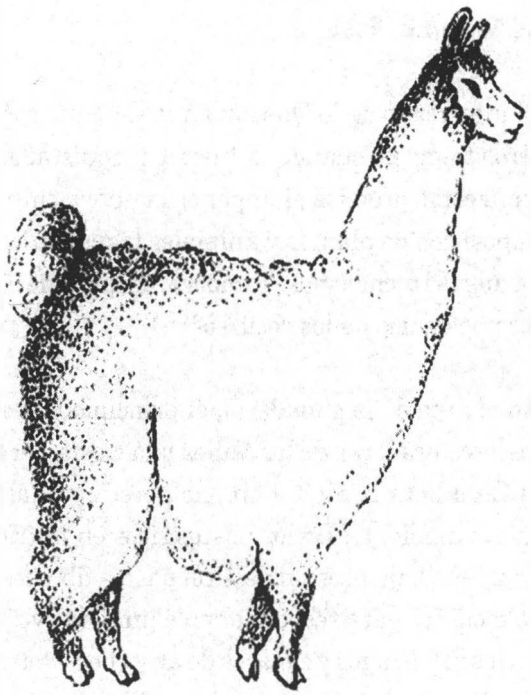
Tipo pelada



Tipo vellocino

Tipo rizada

Tipo mechoza



Tipo pelusa

La crianza y mejoramiento de las llamas y alpacas constituyó una de las actividades preminentes en la fase de aymaras y quechuas. Esta actividad estaba encomendada a estratos sociales muy calificados. Estos personeros tenían el encargo de producir la fibra blanca de mayor finura para las castas gobernantes y la carne para el ejército en permanente campaña. Los remanentes eran distribuidos al pueblo, como sucedía también con las cosechas de plantas de uso en la alimentación y artesanía humanas.

Existía una tecnología en el cuidado de los camélidos. La sanidad animal era cuidada a través del pastoreo rotativo, de las plantas medicinales y la selección. Mediante este último proceso se eliminaban los animales que presentaban defectos y creaban problemas en la descendencia. El cuidado de las praderas era conservado por el uso controlado del pastoreo, para evitar cargas exageradas. La rotación de praderas no era desconocida para los cuidadores de llamas ("llamamichis"). La utilización de los bofedales es, desde entonces, una tarea capital en el desarrollo de los rebaños de alpacas.

Separaron naturalmente a las alpacas y llamas en sus ambientes. Se entiende que desde entonces se dio atención a los grupos genéticos que ahora constituyen las razas locales ó naturales.

La utilización de la fibra fue materia especializada y perfeccionada. Servía para la manufactura más importantes de prendas, desde las ropas de las clases sociales altas hasta las del pueblo. La carne se utilizaba en forma de charque y chalona. El uso de los camélidos era múltiple: el cuero era artículo de primera necesidad, el estiércol como fuente de calor y de nutrientes para el suelo.

La Segunda Fase

El interregno de lo Quechua a la Colonia, corresponde al proceso de dominación; como en otras partes y en otros tiempos, cuando la fuerza conquistadora reduce a la otra, la dominada. La llegada de los españoles traía como premisa el imponer la nueva cultura dominante y desterrar y abolir la cultura dominada. Hubo imposición de plantas y animales transferidos a otro ambiente pero sin movimiento tecnológico significativo de nuevas tecnologías. Tampoco, después de Siglos hubo ningún avance significativo en la creación de nuevas formas de uso de los recursos.

En el área de la ganadería, el principio y la acción eran los mismos. Los camélidos que pastoreaban en las mejores praderas de los Valles y la Costa peruana fueron todos desterrados a un ambiente nuevo y agreste: la Cordillera andina. Pero, no perecieron; al contrario, probaron su capacidad de adaptarse y dominar su nuevo ambiente. De los pastos ricos en nutrientes y pobres en fibra del llano costero, llegaron a las tierras frías, con baja presión de aire, pastos fibrosos y pobres en alimentos. En este nuevo ambiente, el organismo se modificó para responder en el imperativo proceso de aclimatación. Sus hematíes cambiaron de forma, se hicieron oblongos y capaces de absorber y retener más aire y mejor mezcla para respirar. Su cámara digestiva se hizo más activa y capaz de utilizar la fibra, reciclar el nitrógeno, aumentar su eficiencia sin perder su tamaño corporal. Pero, su evolución se hizo naturalmente y el hombre poco pudo hacer y, en realidad poco hizo.

En la agricultura, también hubo trasferencia de germoplasma; lo importado por lo nativo. Se introdujeron los cereales y la quinua, cañahua, otros granos y cereales fueron reducidos a los parajes más desérticos para morir de sed, de frío y de suelos ricos. Pero, también los cultivos, mostrando su variabilidad genética, fueron capaces de adaptarse a cada altura y a cada ecosistema. Y sus caracteres hereditarios se fortalecieron en los muchos nuevos ambientes.

En resumen, en la Conquista no se introdujeron muchas nuevas tecnologías de cultivo. Estas no alcanzaron a invalidar la riqueza de la fuerza de adaptación y de los cultivos nativos. La agricultura nativa se enriqueció con plantas exóticas que se adaptaron a las severas condiciones climáticas de la meseta del Lago. La introducción de cultivos y tecnologías fue la contribución de la Conquista, pero el ambiente andino resistió y defendió sus cultivos que en algunos casos, soportaron ostracismo pero no rindieron su existencia.

En esa época la Universidad no prestó atención a la agricultura, sus objetivos eran la filosofía y la medicina ("la verdadera novedad de Ultramar"; Condarco, 1978, p. 225) "... la agropecuaria se satisfizo con los conocimientos propios, introducidos y acumulados. La cultura había adquirido el hábito de no prestar ninguna atención a la diversidad vegetal y animal del territorio dominado". De los pioneros, que se adentraron por primera vez en la naturaleza altoandina, y destacaron, están varios naturalistas, entre ellos, Agustín Aspiazu, Belisario Díaz Romero, José María Bozo (el Diógenes boliviano) (Cardozo, 1999).

En la Segunda Fase, el verdadero aporte tecnológico estuvo en el área de la química y de la medicina. Desde Chuquisaca se irradiaban los avances de la Medicina y los de la Medicina con Plantas y Métodos Naturales.

La formación autodidacta de los naturalistas de la época, no era el ambiente para el desarrollo contextualizado de la tecnología. En la región altiplánica, la Sociedad Histórica y Geográfica de La Paz (fundada en 1889 y refundada en 1896) amalgamó ideas, conocimientos é intereses en acciones comunes. Así nacieron las revistas y documentos propios para intercambiar ideas y opiniones. La Revista de la Sociedad es el vehículo más elocuente y significativo de la unión y cooperación intelectuales, en favor de la ciencia, más sobresaliente de la época.

Pero, muy poco y casi nada, de atención se prestó al desarrollo de las ciencias agrícolas. Desde comienzos del Siglo XIX, se inyecta en Bolivia, y sobre todo en la región del Lago Titicaca y su sistema, los conocimientos y pensamiento del Viejo Mundo, particularmente de la Eterna Francia. Traen esas nuevas y saludables innovaciones las Misiones D'Orbigny (1826-1834), Crevaux (1876-1883) y la Misión Crequi Montfort-Senechal de la Grange (1903), según refiere Soux Muñoz Reyes (1980).

Los conocimientos y novedades traídos por los Misionarios galos fue de gran beneficio para los naturalistas y científicos de Bolivia. Pero, no fueron los únicos. También incursionaron en Bolivia, expedicionarios individuales como Azara (1802) y Agassiz (1876), en el campo de la zoología. También Haenke (1761-1817) que radicó en Cochabamba contribuyó al conocimiento de la flora andina.

Naturalmente hubieron otros más, pero los escritos dan cuenta principalmente de los indicados.

La Tercera Fase

Esta fase es de la investigación agropecuaria de Bolivia. Coincide con el nacimiento del Dr. Martín Cárdenas Hermosa, epónimo nombre en la historia de la botánica é investigación agrícola. El Maestro Dr. Cárdenas, nacido en Cochabamba en 1899, inició y estableció la investigación propia, acompañando la Misión norteamericana de Henry M. Rusby.

La Cátedra de Botánica y el Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón, fueron la puerta de entrada a su vocación de investigador, publicista y expedicionario y al nacimiento de la investigación nativa boliviana.

Con su aporte personal, estudió, enseñó y contribuyó, particularmente al conocimiento de la botánica de seis familias de la flora, una de las que lleva su nombre. Conoció mucho y publicó sobre las solanaceae, cactaceae, bromeliaceae. Y mostró la gran perspectiva de conocimientos sobre la flora boliviana. En el área de la fitotecnia, contribuyó como el que más, junto al Ing. Humberto Gandarillas, en la liberación de excelentes variedades de papas. Una de éstas fue la Sani imilla de gran difusión en gran parte del territorio boliviano, pero principalmente en el Altiplano. Fue también el apoyo para los trabajos de mejoramiento de la quinua.

El gran artífice de estos trabajos de fitotecnia en la quinua, fue el Ing. Humbero Gandarillas Santa Cruz. Gandarillas y sus discípulos y otros investigadores trasladaron los esfuerzos de la investigación a la innovación tecnológica. La Estación Experimental abierta comenzó a entregar valiosos resultados a los productores.

En la mayoría de los casos, los Centros de Investigación y los investigadores liderizaron y protagonizaron la aplicación de los resultados. Los cultivos de quinua, de forrajeras y papa recibieron un fuerte apoyo de lo tecnológico. Los resultados no se dejaron esperar.

Bancos de Germoplasma

La quinua se convirtió en el cultivo estrella delAltiplano. Las investigaciones en quinua del equipo liderizado por el Ing. Gandarillas llevaron a la formación de variedades libres de saponina (Sajama) y de gran rendimiento. Estas investigaciones fueron continuadas por el Ing. Alejandro Bonifacio.

Mérito aparte es del Ing. Segundo Alandia Borda que incursionó en el conocimiento de las enfermedades de plantas del altiplano. Alandia Borda acompañó al Ing. Gandarillas, varios años en el Altiplano (Estación Experimental de Patacamaya) y establecieron las bases para iniciar el conocimiento de varios cultivos andinos: la cañahua (*Chenopodium pallidicaule*), el tarwi (*Lupinus sp.*), oca, isaño, etc.

Los trabajos en genética llevaron a la formación de los Bancos de Germoplasma, es decir, a la colección física del material genético de las especies. Estos Bancos de Germoplasma fueron sugeridos, en principio por el Ing. Julio Rea Clavijo de la Estación Experimental de El Belén (del Servicio Agrícola Interamericano y actualmente propiedad de la Facultad de Agronomía). Los principales Bancos de Germoplasma de la región son los de papa, quinua, habas, maíces y alfalfas, muchas veces guardadas en más de una localidad. Este es el caso de los Bancos de Toralapa (PROINPA) y del Centro Fitoecogenético de Pairumani.

Los impactos alcanzados por los diferentes tipos de Bancos de Germoplasma, merecen una minuciosa evaluación. Iriarte (2000), como indicativo de lo que se ha hecho y se está haciendo en este campo, muestra inventariaciones de *Oxalis tuberosa* en campos de agricultores y feria agrícolas tradicionales de la zona circunlacustre del Lago Titicaca. Cuadro 1.

La experiencia de la investigación agrícola en el Altiplano y la Cordillera bolivianos indica que es el factor genético el que determina la mayor eficiencia en la producción. En condiciones de campo, cuando los aspectos climáticos son limitativos, la genética es el factor más crítico. Por ello, la actual tendencia es la más correcta y adecuada. Obviamente, la utilización del riego y la selectiva fertilización son parte de los trabajos de la investigación para la innovación tecnológica.

La Zootecnia Andina

La creación de las Estaciones Experimentales de Belén y Patacamaya sirvió para estimular cambios trascendentes en el tratamiento de los animales en la producción. El cambio fue de la "actividad ganadera" a la zootecnia, es decir, una actividad con un manejo empírico a una ciencia de la producción.

Si bien la introducción de razas (bovina, ovina, porcina, equina, caprina) se inició en los años '20 del Siglo pasado, el manejo y evaluación desde el punto de vista técnico y económico se introdujo algunos años después.

Así, la producción ovina y de cerdos recibió un apoyo directo de los centros de investigación y extensión. La producción de leche fue estimulado por la investigación y extensión nacionales, pero, muchos de los logros alcanzados fueron debidos a la transferencia de tecnología extranjera.

La producción ovina fue una tarea emprendida con éxito por la investigación y extensión nacionales. La introducción de la raza Corriedale y Merino, principalmente, fue debida a los centros de investigación. En el Lago Titicaca, se introdujeron más de otras 7 fuentes de razas para aumentar la producción. El Departamento de Oruro fue el que mejor aprovechó las oportunidades para realizar un mejoramiento masivo. Se estimaba que el mejoramiento alcanzó al 25% de la población ovina departamental.

Se dio y importancia a la producción de conejos y cuyes (*Cavia porcellus*) destinado a fomentar la producción y consumo de carne, los resultados no fueron aceptados por los productores. Sin embargo, sigue siendo una gran opción para la producción de carne fina en el Altiplano..

En la producción de camélidos es donde se obtuvieron los mejores resultados. La producción de fibra de alpaca fue la que alcanzó más significativamente los mercados nacional y extranjero. La producción de fibra de llama, con apoyo de tecnología textil, es también una opción para esta especie. Sin embargo, la carne y cuero de llama constituyen, hoy por hoy, la mejor perspectiva para la producción y exportación.

Los logros en camélidos en los aspectos genéticos fueron también muy importantes. Cardozo (1995) y Morales Zenteno (1997) han descrito la identificación de seis razas de llamas. Esta diversidad de llamas es la más rica en Sudamérica.

Los Centros de Investigación

Los Centros de Investigación, Extensión é Innovación que han destacado en el desarrollo del Altiplano se han organizado después de las recomendaciones de las Misiones americana y de Naciones Unidas, Bohan y Keenleyside (1940). Ha sido el Gobierno del Tcnl. Gualberto Villarroel que dio el mayor impulso a la creación de las Estaciones Experimentales de Belén, La Tamborada y General Saavedra.

Posteriormente, en 1958, esas funciones institucionales fueron asumidas por el Servicio Agrícola Interamericano (SAI), un Convenio de Bolivia y los Estados Unidos de Norte América. EL SAI instaló la Estación Experimental de Patacamaya y desarrolló programas de ganadería andina; posteriormente, se agregaron los programas de quinua (FAO-OXFAM) y papa.

La investigación fue secundada por el Servicio de Extensión Agrícola y las Agencias Provinciales.

En 1966, el Ministerio de Agricultura retomó todas las responsabilidades y creó el Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria hasta 1998. Actualmente, se crea un Consorcio de Instituciones de Cooperación para el manejo de la investigación. Este Consorcio actuará como Fundación para sostener la investigación.

Numerosas Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) han secundado la labor de difusión y capacitación en el campo. Últimamente están prestando su colaboración, entre ellas, la Acción Cultural Loyola (ACLO) en Potosí, el Centro de Investigación y Promoción del Campesino (CIPCA), Centro de Estudios para el Desarrollo de Climas (CEDEC), Instituto Politécnico Tupac Katari (IPETK), QHANA, Central de Servicios Múltiples (CEMTA), YUNTA éstas asociadas a PROCADE-UNITAS y muchas otras.

BIBLIOGRAFÍA

CARDOZO, A. 1995. Tipificación de las Llamas K'ara y T'ampulli. In Waira Pampa; un sistema pastoril camélidos-ovinos del Altiplano árido boliviano. La Paz, ORSTOM, IBTA, CONPAC. pp. 65-72.

CARDOZO, A. 1999. Evolución de la Investigación Agropecuaria de Bolivia. (Presentado para publicación a la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia), 11 p.

CONDARCO MORALES, R. 1978. Historia de la Ciencia y el Saber en Bolivia. La Paz, Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. La Paz 429 p.

MORALES ZENTENO, R. 1997. Tipos de Llama en el Altiplano Central. Oruro, UNEPCA, 28 p.

SOUX MUÑOZ REYES, M.L. 1980. Relación de las Misiones Científicas Francesas en América del Sur. La Paz, Presencia Literaria, sept. 28 y oct. 5.

Unidad Ejecutora del Proyecto de Camélidos. (UNEPCA). 1999. Censo nacional de Llamas y Alpacas. La Paz, FIDA, CAF. FDC. 177 p.

Ilustraciones

Las ilustraciones sobre biodiversidad vegetal andina han sido tomados de PROINPA 2000.

Los dibujos de razas de llama corresponden a Morales Zenteno (1997).

Las fotografías (cabezas) de llama y alpaca son tomados del internet.

Zonificación agroecológica y socioeconómica del altiplano paceño

Por: *Aernout Weeda*[1]

RESUMEN

En el marco de la Cooperación entre los Gobiernos de Bolivia y Holanda se realiza el Proyecto «Zonificación Agroecológica y Establecimiento de una Base de Datos y Red de Sistema de Información Geográfica en Bolivia» (ZONISIG), a fin de establecer una base de datos sobre recursos naturales, formular documentos de la Zonificación Agro-ecológica y socioeconómica para varias áreas ubicadas en las cuatro principales ecoregiones de Bolivia. Se introduce el SIG y su base de datos como herramienta en la ejecución de la tarea encomendada. Con este medio se desarrolló la Zonificación mencionada en el Departamento de La Paz, y específicamente en el Altiplano paceño, trabajo realizado a la escala de 1:250.000.

Sobre la base del inventario de aspectos biofísicos y socioeconómicos tanto de fuente secundario como primario, se analizaron cada uno de estos aspectos. Se realizó la evaluación de la tierra para determinar las potencialidades de las unidades de terreno y los factores limitantes. También se estableció el entorno socioeconómico para el uso de la tierra analizado para áreas rurales.

Con la integración de los dos tipos de aspectos se llega a la zonificación en términos del mejor uso de la tierra, bajo algunas consideraciones básicas para la aplicación de los usos en el marco de desarrollo sostenible.

SUMMARY

In the framework of the Cooperation between Holland and Bolivia governments, the Project Zonificación Agroecológica and Establishment of a database and Net System of Geographical Information in Bolivia (ZONISIG), was carried out. In order to establish a database of natural resources, to formulate documents

1 Proyecto ZONISIG. E mail: outweeda@mail.megalink.com La Paz - Bolivia.

about agricultural -ecological and socioeconomic Zones for several areas located in the four main ecoregiones of Bolivia. It is introduced the SIG and their database like tool in the execution of the commended task. With this means the establishment of Zones was developed at the Department of La Paz, and specifically in the Highland paceño. The workfield was carried out on the scale of 1:250.000.

On the base of the inventory of biophysical and socioeconomic aspects, we use secondary source of information as primary. Data were analyzed for each one of these aspects. We carried out the evaluation of the land use to determine the potentialities of the land units and the restrictive factors. The socioeconomic environment also was settled down for the use on land use analyzes for rural areas.

With the integration of the two types of aspects you arrives to the zones in terms of the best use in the land use planning, under some basic considerations for the application of the principles of for the sustainable development in the country.

1. INTRODUCCIÓN

En enero de 1993, los Gobiernos de Bolivia y de los Países Bajos acordaron la ejecución del Proyecto ZONISIG (Zonificación Agroecológica y Establecimiento de una Base de Datos y Red de Sistema de Información Geográfica en Bolivia).

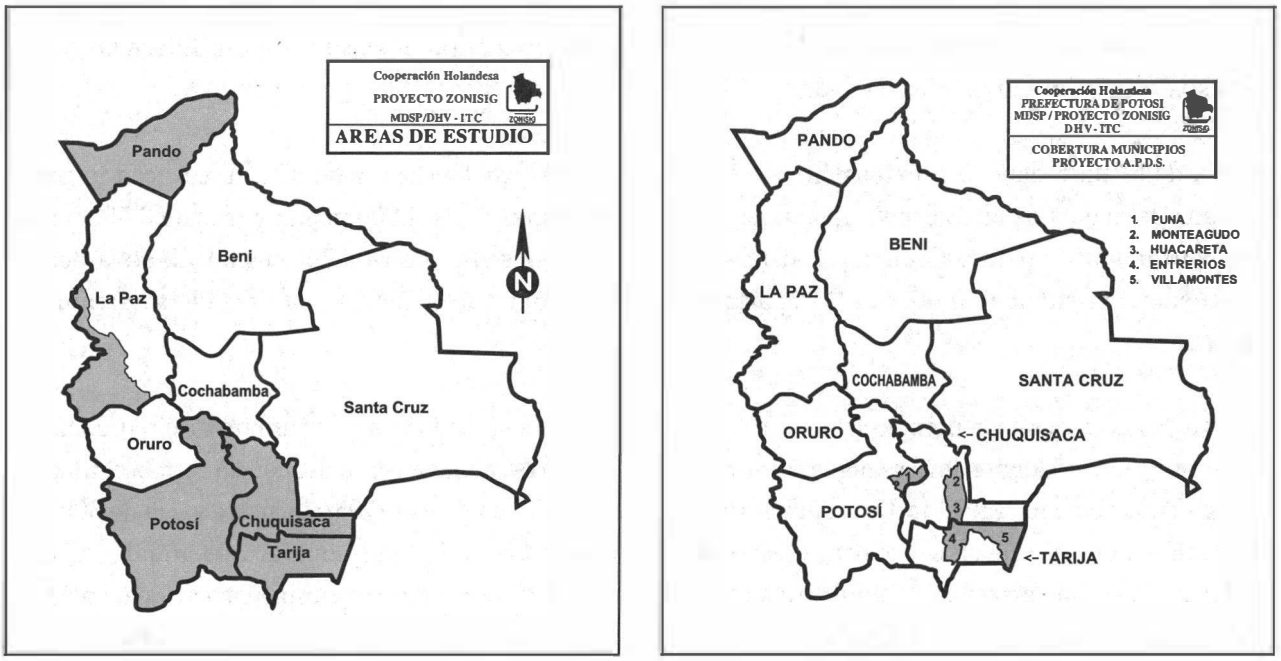
El Proyecto se ejecuta actualmente con el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, como la autoridad responsable Boliviana para el Proyecto. Esta responsabilidad está a cargo la Unidad de Administración Territorial de la Dirección General de Planificación y Ordenamiento Territorial. A nivel departamental, las Prefecturas forman las contrapartes del proyecto.

Después de haber trabajado originalmente en los cuatro ecoregiones más importantes del país como amazonia, altiplano, valles interandinas, y el chaco. Después de la terminación de la Zonificación y el Plan de Uso del Suelo de Pando, se amplió el ámbito del proyecto al todo el altiplano paceño (trabajo que se culminó en 1998), y los departamentos de Chuquisaca, Potosí y Tarija.

También a nivel municipal se están ejecutando los planes de uso del suelo y plan de ocupación territorial, llegando al plan de ordenamiento territorial en cinco municipios en el sur del país (Proyecto ZONISIG-APDS).

Gráfico 1

Ubicación de áreas de estudio



La Zonificación Agroecológica y Socioeconómica de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz responde a la necesidad de contar con un instrumento idóneo de planificación del uso del suelo basado en el conocimiento de las aptitudes de la tierra, así como en los factores que limitan su uso, ambos aspectos fundamentales para compatibilizar la sostenibilidad del uso de la tierra y los recursos naturales, con la necesidad de utilizarlos más eficientemente para satisfacer necesidades humanas.

En este marco, la Zonificación Agro-ecológica y Socioeconómica de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz persigue entre otros los objetivos siguientes:

- determinar las aptitudes de la tierra, incluyendo los factores que limitan sus posibilidades de aprovechamiento, a fin de utilizar dichos conocimientos en la formulación de planes y proyectos dirigidos al aprovechamiento sostenible de la tierra y los recursos naturales de la región;
- contar con un respaldo técnico que sirva de base para formular una propuesta del Plan de Uso del Suelo (PLUS), a fin de facilitar la concertación del uso de la tierra con sus usuarios y, de este modo, contribuir a definir el PLUS para el Departamento de La Paz, como instrumento normativo de cumplimiento obligatorio;
- contar con un instrumento básico para la formulación de propuestas de ocupación y ordenamiento territorial de la Cuenca del Altiplano, así como para diseñar políticas y estrategias de desarrollo económico y social sostenible de mediano y largo plazo, tanto para la región como para las secciones municipales. Luego se debe desarrollar acciones dirigidas a atenuar la situación de extrema pobreza de la población usuaria de la tierra y facilitar la adopción de las recomendaciones de uso y manejo de la tierra resultantes de la Zonificación.

2. CARACTERÍSTICAS DEL AREA

El área de la Cuenca del Altiplano de La Paz se halla ubicada al occidente del Departamento de La Paz, y comprende las provincias fisiográficas Altiplano, Cordillera Occidental o Volcánica y Cordillera Oriental, hasta sus respectivas divisorias de aguas.

El área de estudio tiene una extensión de 29.833 km^2 sin el lago Titicaca, y de 33.221 km^2 con la parte boliviana del lago. Las altitudes varían en las áreas cordilleranas entre 4.200 msnm y más de 6.550 msnm (Nevado Illampu), mientras que en el Altiplano las altitudes oscilan entre 3.750 msnm (llanura del río Desaguadero, próxima al límite con el Departamento de Oruro) y 4.690 msnm en la cima de la Serranía de Tiwanaku.

El clima de la Cuenca en general es frío y varía de subhúmedo a semiárido en sus áreas norte o circunlacustre y hacia sur y sur-occidente de la región, respectivamente, en parte causada por la influencia termoreguladora del lago Titicaca en la región norte. La precipitación anual media en el área circunlacustre varía de 600 mm a 900 mm, mientras que en el área sur de 600 mm a menos de 350 mm. Las temperaturas anuales medias también presentan variaciones significativas, ubicándose en 9,3°C en el área circunlacustre (Copacabana) y en 5,8°C en la zona sur de la Cuenca (Charaña). Las variaciones estacionales de la precipitación y la temperatura son acentuadas. La alta incidencia de las heladas y la baja disponibilidad de agua para el normal desarrollo de las plantas, son los principales factores que limitan el uso agropecuario de la tierra en el invierno, específicamente en el sur y suroccidente.

La red hidrográfica pertenece a la Cuenca endorréica o cerrada del Altiplano, dominada principalmente por el lago Titicaca, que actúa como un gran embalse de numerosos ríos y cursos de agua menores y las vierte a través del río Desaguadero. Casi la totalidad de los ríos de la región son de carácter estacional, presentando la mayoría de ellos diferentes grados de salinidad, particularmente los ubicados en la zona sur de la Cuenca del Altiplano de La Paz, limitando el uso para riego.

La característica común más generalizada de los suelos del área de la Cuenca, es la baja fertilidad. La vegetación es relativamente escasa debido a las influencias humanas y condiciones ambientales. Actualmente la cobertura vegetal es rala, dominada por especies vegetales de escasa altura y follaje. Algunas de estas especies vegetales son usadas para forraje en la crianza de camélidos (llamas y alpacas) y especies animales introducidas, como vacunos y ovejas; pero también como combustible para fines domésticos, ocasionalmente, para usos industriales, causando estos últimos una depredación de la vegetación y una acelerada degradación del suelo. La fauna silvestre también es escasa, aunque presenta especies de alto valor ecológico y económico, como la vicuña, cuyo aprovechamiento está permitido y reglamentado a partir de 1997.

La población es de 426.000, de las cuales sólo el 12% vive en centros poblados de más de 2.000 habitantes. Si bien la ciudad de El Alto se halla ubicada en el área comprendida por el presente estudio, esta ciudad no ha sido incluida en el mismo; su suelo ya cuenta con asignaciones de uso urbano. Probablemente la Cuenca del Altiplano de La Paz sea la región de más antigua ocupación en Bolivia, habitada predominantemente por

descendientes de la nación aymará que la ocupan de modo continuo a través de siglos. La ausencia de población migrante hacia dicha región, es otra característica muy particular de la región. Al presente la región en conjunto está disminuyendo su población, aunque existen algunas provincias que registran tasas positivas de crecimiento demográfico.

La población de la Cuenca está expuesta a una situación de extrema pobreza, con niveles muy bajos de atención de sus necesidades básicas y falta de servicios básicos, sociales y de asistencia técnico-financiera en general, situación que obliga a contingentes crecientes de esta población a buscar su sustento fuera del área rural, constituyéndose esta situación de acentuada pobreza en la principal fuerza de expulsión del área de estudio, migrando principalmente hacia el área metropolitana de La Paz, en particular, a la ciudad de El Alto.

La Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz comprende territorio de 13 provincias, de las cuales siete pertenecen íntegramente a la región de la Cuenca, dos en gran parte a ella y las restantes cuatro sólo en pequeña proporción a la Cuenca altiplánica y mayormente a los Valles Interandinos. En total existen 42 secciones municipales en la región, de las cuales 30 corresponden en su integridad a la Cuenca del Altiplano de La Paz y las restantes 12, en mayor o menor grado, a los Valles Interandinos. Existe un total aproximado de 1.450 comunidades y asentamientos poblacionales en toda el área de la Cuenca.

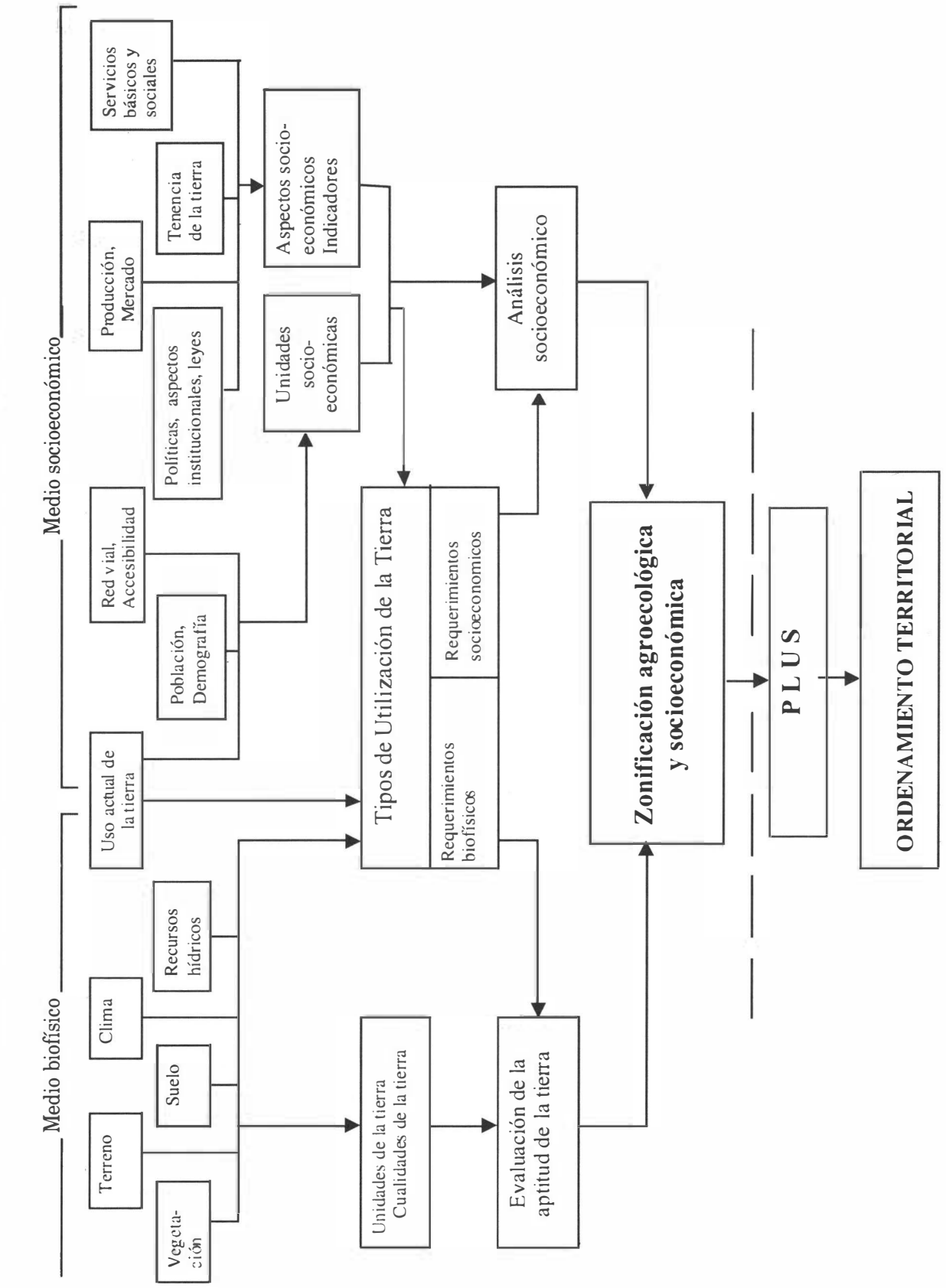
3. METODOLOGÍA APLICADA

La zonificación agroecológica y socioeconómica es uno de los instrumentos técnicos del Ordenamiento Territorial, necesario para definir planes de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, conservación del medio ambiente y, en un marco más amplio, de ocupación territorial y desarrollo económico. El proceso de la zonificación incluye, además de la recolección y levantamiento de la información sobre los recursos naturales renovables en base a la interpretación de imágenes LANDSAT TM y trabajo de campo a la escala de 1:250.000; y los aspectos socioeconómicos, el análisis de dicha información y la recomendación de uso de la tierra, base para la concertación del Plan de Uso del Suelo con los usuarios y actores sociales y productivos.

La metodología que se describe de modo sucinto a continuación está siendo aplicada por el Proyecto ZONISIG en las distintas áreas de estudio. El esquema metodológico sigue básicamente los patrones y estándares metodológicos de la FAO que cuentan con suficiente flexibilidad como para ajustarse a las variaciones que presentan dichas regiones en lo referente a las condiciones físico-biológicas de los recursos naturales renovables existentes y su uso, así como a los aspectos socioeconómicos. El Gráfico 2 muestra de modo esquemático el procedimiento metodológico seguido por ZONISIG.

Lo básico y fundamental en el proceso de la zonificación es la adecuada articulación entre los medios físico-biológico y socioeconómico. Base para ello es la evaluación de tierras que permite identificar y clasificar las aptitudes de uso de la tierra y sus factores limitantes, incorporando información relativa al uso actual,

Gráfico 2: Esquema metodológico de la zonificación agroecológica y socioeconómica



infraestructura, aspectos institucionales, de mercado y otros aspectos socioeconómicos, y se formula recomendaciones de uso y manejo de la tierra, fundamentales para planificar el aprovechamiento sostenible de la tierra. Se puede decir que la zonificación agroecológica y socioeconómica es un instrumento capaz de ajustarse a las particularidades de los recursos naturales y humanos existentes, así como a las características socioeconómicas de la población usuaria de la tierra, y de contribuir efectivamente a ordenar el desarrollo económico y social sobre bases sostenibles.

Los aspectos temáticos considerados son clima, terreno, suelo, agua (superficial y subterránea) y vegetación (productiva y no-productiva). Estos son caracterizados y analizados de acuerdo a los requerimientos de información de la zonificación y en consonancia con la escala de la zonificación (1:250.000).

La base común para el análisis de los factores físicos y biológicos son las unidades de terreno, las mismas que resultan de la identificación y delimitación de características homogéneas según criterios fisiográficos. Los resultados de esta información han sido sintetizados en mapas temáticos mediante el uso de un SIG y la base de datos.

La situación socioeconómica, la tecnología aplicada en el uso de la tierra, así como las características culturales y la trama institucional existentes y otros aspectos, condicionan la forma y opciones de utilización y manejo de los recursos naturales, así como las características favorables o adversas de estos recursos también condicionan las propias respuestas humanas. En caso que la población no cuente con las condiciones necesarias para hacer un manejo sostenible y un aprovechamiento eficiente e integral de los recursos naturales, es altamente probable que ello contribuya a acelerar los procesos de depredación y degradación de los recursos naturales y ahondar las condiciones de pobreza de la población.

Por ello el análisis del medio socioeconómico debe centrarse en conocer las formas actuales de aprovechamiento de la tierra, los recursos empleados en estas actividades, la situación socioeconómica de los usuarios de la tierra, así como en comprender el entorno inmediato y relevante para el aprovechamiento de la tierra al que están sujetos sus usuarios, tomando en consideración también las tendencias de evolución futura para identificar los cambios y ajustes requeridos en el tiempo. En general, para caracterizar el medio socioeconómico se consideran aspectos tales como uso actual de la tierra, población y dinámica demográfica; los servicios básicos y sociales, infraestructura, aspectos institucionales, culturales, de mercado y de política de desarrollo económico y social.

4. APTITUD DE LA TIERRA

Una de las etapas básicas en la realización de la zonificación agroecológica y socioeconómica, es la evaluación de la tierra para usos agrícolas, pecuarios y forestales. Toda recomendación de uso de la tierra debe basarse indefectiblemente, entre otros aspectos, en el conocimiento de la aptitud de la tierra relacionando el uso previsto en términos de productividad sostenible, y tomando en cuenta la vulnerabilidad de factores ambientales.

Se entiende por aptitud, la capacidad de producción de una determinada unidad de tierra para un tipo de utilización definido. La tierra puede considerarse en su estado «natural» o después de haberse introducido mejoras.

La metodología utilizada en la evaluación de la tierra se basa en la desarrollada por la FAO en 1976. Las actividades principales comprenden:

a) análisis de la información sobre el recurso tierra (suelos, vegetación, clima y otros) y aspectos socioeconómicos;
b) identificación de los tipos de utilización de la tierra a considerarse y la estipulación de sus requerimientos en términos de grados de cualidad;
c) a partir del análisis de las unidades de terreno y sus componentes, definición de las características y cualidades de la tierra y sus niveles críticos, expresados en rangos o grados;
d) comparación de los requisitos de los tipos de utilización de la tierra con las cualidades de las unidades de terreno, por componentes;
e) clasificación de la aptitud de la tierra.

Entonces, la aptitud de la tierra se establece comparando los grados de las cualidades de cada componente de las unidades de terreno (con o sin mejoramientos) con los requerimientos de los tipos de utilización considerados. La cualidad más limitante determina la clase de aptitud.

4.1 Tipos de utilización de la tierra.

En la definición de los tipos de utilización de la tierra se considera el nivel de manejo, el uso y disponibilidad de capital y el conocimiento técnico entre otros. Se han identificado los siguientes tipos de utilización relevantes para la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz.

a) Agricultura anual intensiva con cultivos introducidos

Este tipo de utilización se caracteriza por la producción de cultivos anuales con el uso de capital y tecnología. Se asume un buen conocimiento técnico que permite aplicar el manejo correspondiente. Se aplican insumos, como fertilizantes en pequeñas cantidades (nivel medio) y eventualmente riego. Las prácticas agrícolas de cultivo y de ordenamiento se basan en el uso de maquinaria motorizada. Como ejemplos de cultivos anuales intensivos se menciona la producción de papa, haba, cebada en grano, trigo y hortalizas como cebolla y zanahoria.

b) Agricultura anual extensiva con cultivos introducidos

No se utiliza capital significativo para el manejo del suelo. Consecuentemente no se aplican fertilizantes u otros insumos químicos. La fuerza predial empleada es principalmente del tipo manual o animal. En este tipo de utilización, existen grados intermedios y variantes que permiten apreciar en algunos casos un cierto nivel de manejo empleando tecnología local mejorada y niveles bajos de insumos. Como ejemplos de cultivos anuales extensivos se menciona la producción de papa dulce, haba, cebada en grano, trigo y hortalizas como cebolla y zanahoria.

c) Agricultura anual intensiva con cultivos andinos

Este tipo de utilización se caracteriza por la producción de cultivos anuales con el uso de capital y tecnología a aplicar. Se asume que existe un buen conocimiento técnico que permite aplicar el manejo correspondiente. La principal característica es que se producen cultivos cuyas variedades nativas están bien adaptadas a las condiciones severas de clima y suelo de la región. Se aplican insumos, como fertilizantes en pequeñas cantidades (nivel medio) y eventualmente riego. Las prácticas agrícolas de cultivo y de ordenamiento se basan principalmente en el uso maquinaria motorizada. Como ejemplos de cultivos anuales andinos se menciona la producción de papa amarga, papalisa, oca, tarwi y quinua.

d) Agricultura anual extensiva con cultivos andinos

No se utiliza capital para el manejo de la explotación o del suelo. Consecuentemente no se aplican fertilizantes u otros insumos químicos. La fuerza predial empleada suele ser del tipo manual o animal. La principal característica es que se producen cultivos cuyas variedades nativas están muy bien adaptadas a las condiciones severas de clima y suelo de la región. Como ejemplos de cultivos anuales andinos se menciona la producción de papa amarga, papalisa, oca, tarwi y quinua.

e) Ganadería intensiva con especies nativas (alpacas, llamas y vicuñas)

Se hace uso de capital y existe un elevado grado de conocimientos técnicos. Se aplican insumos en pequeñas cantidades acompañado por técnicas de manejo complementarias. La carga animal y la altura de corte son controladas y el pastoreo se realiza sobre campos nativos de alta y continua producción y/o sobre pasturas introducidas. El complemento alimenticio durante la época seca es el ensilaje y más comúnmente el heno de forrajes nativos y/o introducidos. Existe infraestructura moderna de producción y/o sanidad animal. El empleo de fuerza motorizada está restringido a la preparación del suelo y a la siembra de forrajes introducidos en pequeñas áreas.

f) Ganadería extensiva con especies nativas (alpacas, llamas y vicuñas)

No se invierte capital en la ordenación ni en el mejoramiento del suelo. En consecuencia no se aplican fertilizantes u otros insumos químicos. Generalmente la carga animal y la altura de corte son descontroladas y el pastoreo se realiza sobre campos nativos de moderada a baja producción y/o vegetación forrajera de sucesión secundaria (campos agrícolas en descanso y rastrojo). La infraestructura moderna de producción y sanidad animal es escasa o ausente. La fuerza empleada es predominantemente manual. Las técnicas de ordenación dependen, en gran parte, de los conocimientos locales.

g) Ganadería intensiva con especies introducidas (vacunos y ovinos)

Se hace uso de capital y existe un elevado grado de conocimientos técnicos. Se aplican insumos en pequeñas cantidades acompañado por técnicas de manejo complementarias. La carga animal y la altura de corte son controladas y el pastoreo se realiza sobre campos nativos de alta y continua producción y/o sobre pequeñas áreas de pasturas introducidas. El complemento alimenticio durante la época seca es el ensilaje y más comúnmente el heno de forrajes nativos y/o introducidos. Las especies animales introducidas criollas y mestizas son las más adaptadas a las condiciones de la Cuenca delAltiplano. Existe infraestructura moderna

de producción y/o sanidad animal. El empleo de fuerza motorizada está restringido a la preparación del suelo y a la siembra de la pastura en el caso de forrajes introducidos.

h) Ganadería extensiva con especies introducidas (vacunos y ovinos)

No se invierte capital en la ordenación ni en el mejoramiento del suelo. En consecuencia no se aplican fertilizantes u otros insumos químicos. Generalmente la carga animal y la altura de corte son descontroladas y el pastoreo se realiza sobre campos nativos de moderada a baja producción y/o vegetación forrajera de sucesión secundaria (campos agrícolas en descanso). Las especies animales adaptadas introducidas son criollas y mestizas. La infraestructura moderna de producción y sanidad animal es escasa o ausente. La fuerza empleada es predominantemente manual. Las técnicas de ordenación dependen de los conocimientos locales.

i) Reforestación y/o repoblamiento vegetal

La finalidad principal de este tipo de utilización es unicamente la protección del suelo y del medio ambiente (cuencas hidrográficas, áreas erosionadas o deforestadas, hábitat de la fauna silvestre, etc.) con el uso de especies vegetales nativas o exóticas. Estas pueden ser arbóreas, arbustivas o rastreras. Se invierte algo de capital en la adquisición y transporte de plantines (reforestación) y no se aplican regularmente fertilizantes u otros insumos químicos en el campo. Existe un cierto grado de conocimiento que permite aplicar las prácticas de ordenamiento y manejo correspondientes. La fuerza empleada es predominantemente manual.

4.2 Cualidades de la tierra

Se entiende por una cualidad de la tierra a un atributo de ésta que funciona como uno de los factores para pronosticar el comportamiento de un determinado uso. Las cualidades de la tierra consideradas son:

Para uso agrícola:

-disponibilidad de nutrientes en el suelo.
-disponibilidad de agua en el suelo.
-disponibilidad de oxígeno en el suelo.
-período libre de heladas
-resistencia a la erosión hídrica
-posibilidad de uso de implementos agrícolas.
-profundidad efectiva del suelo.
-ausencia de salinidad en el suelo.
-ausencia de sodicidad en el suelo.

Para uso pecuario:

-valor forrajero.
-altura de la planta forrajera.
-accesibilidad del terreno.
-altitud sobre el nivel del mar.
(ref. adaptabilidad del ganado),

Para reforestación y repoblamiento vegetal:

-disponibilidad de nutrientes en el suelo.
-disponibilidad de oxígeno en el suelo.
-ausencia de salinidad en el suelo.
-disponibilidad de agua en el suelo.
-período libre de heladas.
-ausencia de sodicidad en el suelo.

Los límites de los grados de las cualidades son establecidos en base a observaciones de campo, opiniones de expertos y literatura consultada, relacionando la productividad de los tipos de utilización de la tierra con las características de la tierra.

4.3 Clases de Aptitud de la Tierra

En el presente estudio se emplean cuatro clases de aptitud:

Clase I:	Aptitud buena
Clase II:	Aptitud regular
Clase III:	Aptitud marginal o restringida
Clase IV:	No apta.

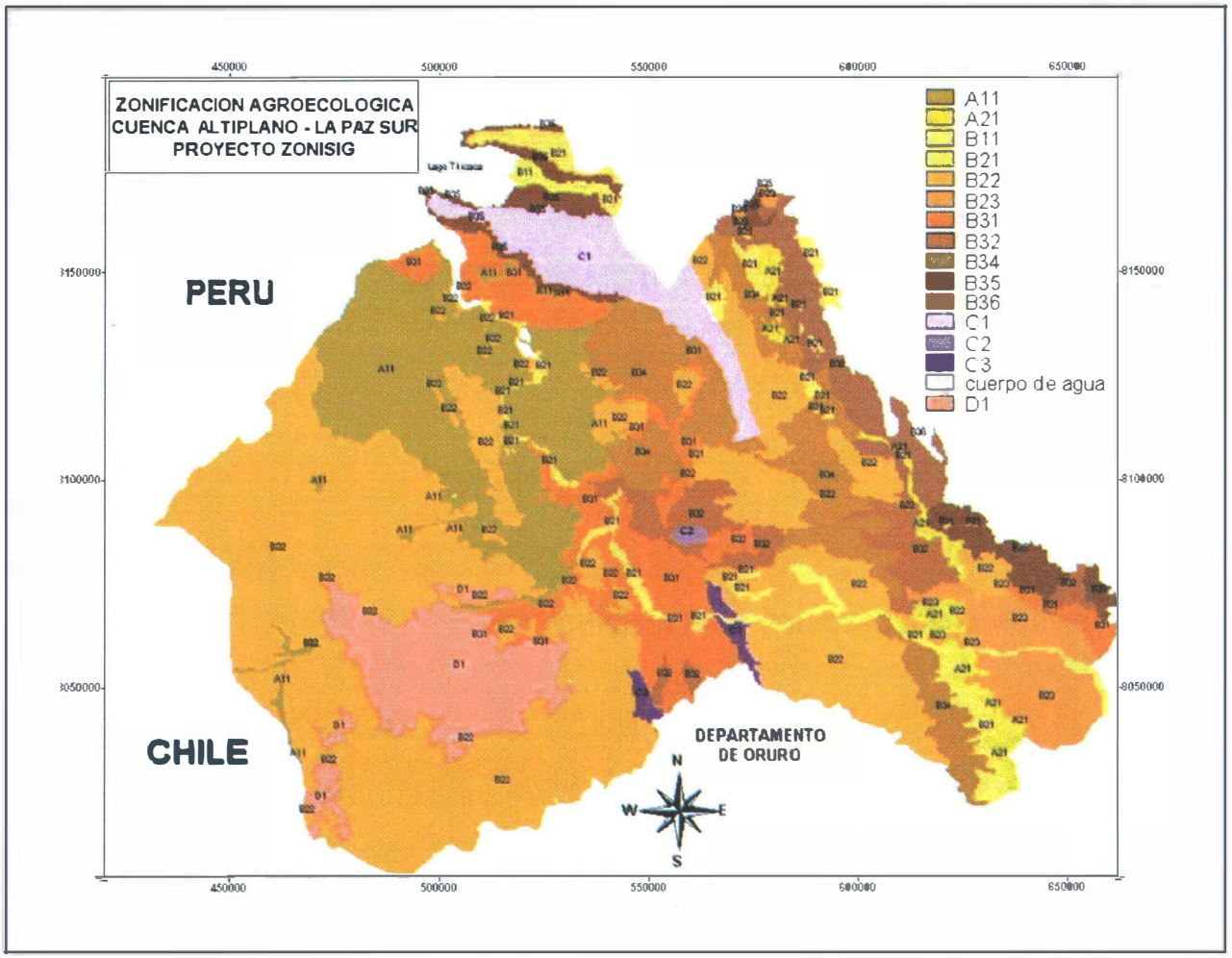
5. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA Y SOCIOECONÓMICA

La Zonificación agroecológica y socioeconómica de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz, identifica y recomienda usos de la tierra en correspondencia con su aptitud y otras variables, como ser las socioeconómicas. Tiene por objeto constituirse en la base para el PLUS departamental. Esta zonificación es la base de la planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ordenamiento territorial, ambos procesos esenciales para organizar el desarrollo económico y sostenible.

Para llegar a la Zonificación, se realizó un trabajo integral y multidisciplinario entre las diferentes especialidades. En este trabajo participaron expertos en recursos naturales, sistemas de información geográfica, economistas, sociólogos y planificadores regionales.

Para la región de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz se han distinguido 18 unidades de Zonificación, incluidas en 4 categorías mayores, tal como puede apreciarse en el Mapa 1 de Zonificación agroecológica y socioeconómica de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz (aquí representada solamente la sección sur). Las categorías son frecuentemente combinaciones de los tipos de utilización de la tierra descritos anteriormente.

Es importante señalar que en la región existen poblaciones importantes de vicuña, cuyo aprovechamiento puede constituir un complemento importante a las actividades agropecuarias. La vicuña es una especie de vida silvestre y hasta la fecha no existen pautas concretas definidas por las autoridades competentes respecto al modo de tratar la vida silvestre en los planes de uso del suelo. Dado que esta especie comparte los campos de pastoreo con los camélidos domésticos, se ha optado por incluir la vicuña dentro de las unidades de uso ganadero.



LEYENDA DE ZONIFICACIÓN ALTIPLANO SUR - LA PAZ

Código	Subcategoría de uso
	A. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO INTENSIVO
A11	Uso ganadero intensivo con especies nativas y extensivo con especies introducidas
A21	Uso ganadero intensivo con especies e introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos
	B. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO EXTENSIVO
B11	Uso agrícola con cultivos andinos e introducidos
B21	Uso ganadero extensivo con especies nativas e introducidas
B22	Uso ganadero extensivo con especies nativas
B23	Uso ganadero extensivo con especies introducidas
B31	Uso ganadero extensivo con especies nativas e introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos
B32	Uso ganadero extensivo con especies nativas e introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos
B34	Uso ganadero extensivo con especies nativas y agrícola extensivo con cultivos andinos
B35	Uso ganadero extensivo con especies introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos
B36	Uso ganadero extensivo con especies introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos
	C. TIERRAS DE USO RESTRINGIDO
C1	Protección de cuenca hidrográfica y uso ganadero extensivo con especies nativas
C2	Protección de suelo y uso ganadero extensivo con especies nativas
C3	Protección del suelo
	D. AREAS PROTEGIDAS
D1	Monumento Natural Nacional Ciudad de Piedra con uso turístico y ganadero extensivo con especies nativas

Mapa 1

Zonificación Agro-ecológica y Socioeconómica de la Cuenca del Altiplano de La Paz (sección sur.).

A. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO INTENSIVO: Son áreas con aptitud para la ganadería y aptitud limitada para la agricultura por las condiciones topográficas de suelo o de clima. En la actualidad estas áreas son generalmente de uso agropastoril y pastoril.

A1. Uso ganadero intensivo

A11. Uso ganadero intensivo con especies nativas y extensivo con especies introducidas.

A2. Uso ganadero intensivo y agrícola extensivo

A21. Uso ganadero intensivo con especies nativas e introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos.

B. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO EXTENSIVO: Son áreas desprovistas de bosques con aptitudes limitadas para la agricultura y la ganadería por las condiciones topográficas, de suelo o de clima. En la actualidad estas áreas normalmente son de uso agropastoril y pastoril.

B1. Uso agrícola extensivo

B11. Uso agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos.

B2. Uso ganadero extensivo

B21. Uso ganadero extensivo con especies nativas e introducidas.

B22. Uso ganadero extensivo con especies nativas.

B23. Uso ganadero extensivo con especies introducidas

B3. Uso ganadero extensivo y agrícola extensivo

B31. Uso ganadero extensivo con especies nativas e introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos.

B32. Uso ganadero extensivo con especies nativas e introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos.

B33. Uso ganadero extensivo con especies nativas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos.

B34. Uso ganadero extensivo con especies nativas y agrícola extensivo con cultivos andinos.

B35. Uso ganadero extensivo con especies introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos e introducidos.

B36. Uso ganadero extensivo con especies introducidas y agrícola extensivo con cultivos andinos.

C. TIERRAS DE USO RESTRINGIDO: Son áreas que, ya sea por fuertes pendientes, poca profundidad de los suelos, incipiente cobertura vegetal, no reúnen condiciones favorables para las actividades agropecuarias y forestales. La cobertura vegetal en estas tierras cumple un rol fundamental de regulación ambiental, por lo que se puede permitir un uso restringido, manteniendo su capacidad protectora. Incluye entre otras, las Tierras de Protección establecidas en la Ley Forestal.

C1. Protección de cuenca hidrográfica y uso ganadero extensivo con especies nativas.

C2. Protección del suelo y uso ganadero extensivo con especies nativas.

C3. Protección del suelo.

C4. Protección de recursos hídricos y fauna silvestre.

D. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: Son las áreas declaradas legalmente bajo protección por su valor biológico e importancia para la conservación de la biodiversidad, el paisaje y los valores culturales. Su grado de intervención humana permitida puede variar desde la protección absoluta hasta el uso

restringido y controlado, de acuerdo a las normas y categorías definidas por el órgano rector del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, al que pertenecen.

D1. Monumento Natural Nacional Ciudad de Piedra con uso turístico y ganadero extensivo con especies nativas.

Además, se pudo diferenciar áreas con aptitud para ciertas especies animales, como se refleja en el mapa de la zonificación del sur de la Cuenca paceña.

6. CONCLUSIONES

El contenido del documento de la Zonificación Agroecológica y Socioeconómica de la Cuenca del Altiplano de La Paz del Proyecto ZONISIG forma la base para el Plan de Uso del Suelo a nivel departamental. Para llegar al Plan de Uso del Suelo se requiere pasar por el proceso de la concertación con los actores sociales del departamento, actividad que no se realizó hasta la fecha por falta de la cobertura completa del Departamento de La Paz.

Además el documento y la información generada por ZONISIG forma la base para el desarrollo de planes de uso del suelo a nivel municipal y para los Planes de Ordenamiento Territorial.

Las unidades de zonificación delimitadas en base al análisis de sus potencialidades y limitaciones, se podría comparar con las unidades de uso actual. dicha comparación permite destacar aquella áreas que tienen potencialidades que hay que aprovechar. Para varias zonas se podría considerar usos más intensivos que los actuales. Los cambios en el uso actual son aplicables asumiendo que se cumplen, en el marco del desarrollo sostenible, con las condiciones básicas tanto técnicas como socioeconómicas mencionadas para el nivel general, como en casos específicos.

También se diferencian áreas, donde para llegar a la sostenibilidad se requiere una reducción de las actuales actividades agropecuarias o incluir un cambio en el manejo de éstas.

BIBLIOGRAFÍA

Documento: Zonificación Agro-ecológica y Socioeconómica de la Cuenca del Altiplano del Departamento de La Paz. Proyecto ZONISIG La Paz, 1998.

Investigaciones sobre la Biodiversidad y Conservación

Especiación en lagos antiguos

Por: *Patrick Martin* [1]

Palabras clave: lago antiguo, especiación, biodiversidad, Lago Titicaca.

RESUMEN

Existen aproximadamente diez lagos sobre la faz de la Tierra, los cuales son considerablemente más antiguos que la mayoría de los lagos existentes. Estos lagos antiguos son notables por la biodiversidad que albergan, que generalmente se caracteriza por elevadas proporciones de endemismos. Estos son centros de megadiversidad y constituyen el resguardo para especies relictuales, así como centro de origen de especies recientes y nacientes. Luego de una década aproximadamente, los lagos antiguos son objeto de una renovación de interés por parte de la comunidad científica internacional. Aparentemente la biodiversidad de estos lagos fue sub-valorada, a menudo debido a la falta de estudios, pero frecuentemente debido a la dificultad para distinguir las especies que son el resultado de una rápida e importante radiación evolutiva. La contribución de recientes ofertas en técnicas moleculares abre la posibilidad de resolver muchos problemas antes insalvables a partir de los datos morfológicos. De una manera sorprendente, la biodiversidad del Lago Titicaca parece especialmente baja, contrariamente a la de los otros lagos antiguos similares, además, esta biodiversidad se encuentra distribuida de una manera desigual entre los grupos taxonómicos. Un examen mas preciso muestra que la fauna del Lago Titicaca es poco conocida y que los representantes de la mayoría de los grupos son descritos a partir de colecciones aisladas y limitadas. Sin embargo no es imposible que el ambiente del lago sea desfavorable para algunos organismos. Por ello es necesario, un examen de las colecciones precedentes y una nueva colecta intensiva probando nuevos métodos. Una mejor comprensión del origen y de la calidad de la biodiversidad del Lago Titicaca es un requisito indispensable para orientar el manejo y gestión adecuada de este medio, sobre una base científica y en un contexto de desarrollo duradero.

[1] Real Instituto de Ciencias Naturales de Bélgica, Biología de aguas continentales, 29 rue Vautier, B-1000, Bruselas - Bélgica. Correo electrónico: Patrick.Martin@sciencesnaturelles.be; Tel.: +32/2/627.43.17; facsímil: +32/2/627.41.13.

SUMMARY

There are about a dozen lakes on Earth that are up to three orders of magnitude older than most other extant lakes. Ancient lakes are remarkable for the biodiversity they harbour, with generally high levels of endemicity. They are centers of megadiversity and act both as a refuge for relict species and as a cradle of recent and incipient speciation. Surprisingly, the biodiversity of lake Titicaca is rather low, in contrast to similar ancient lakes, and s furthermore unequally distributed over taxonomic groups. This is all the more unusual as, during its 3 million years of existence, lake Titicaca has suffered wide environmental vicissitudes, with periods of desiccation associated with fluctuations of the water level and increases in salinity. Such environmental instability is usually deemed to facilitate speciation. Closer scrutiny, however, shows that the fauna of Lake Titicaca is scarcely known and that representatives of most groups are described from insolated and limited collections only. However, the possibility that the environment of lake Titicaca is unfavorable for some organisms, which successfully invades other ancient lakes, cannot be ruled out. Clearly, re-examinations of former collections – some of them as yet unstudied – as well as new extensive sampling are required.

INTRODUCCIÓN

¿Qué es un lago antiguo?

El origen de la mayoría de los lagos que existen sobre la tierra se remonta a las últimas glaciaciones, desde el retiro de la capa glaciar continental en Europa del Norte y América ocurrida al final del Pleistoceno. Estos lagos no son más antiguos a 10.000 a 15.000 años (Gorthner, 1994; Rossiter & Kawanabe, 2000) y tienen una naturaleza efímera: desaparecerán probablemente durante los siguientes 100.000 años, esencialmente debido a la saturación de su cuenca por la sedimentación. Por el contrario, hay alrededor de una decena de lagos que han existido de una manera u otra, de forma ininterrumpida al menos desde hace 100.000 años hasta hace millones de años (Martens et.al., 1994; Martens, 1997). Estos lagos merecen la denominación de "lagos antiguos" (Fig. 1).

El término "antiguo" puede ser en sí mismo fuente de confusión en la medida en que, para el paleontólogo, un lago antiguo es un paleo-lago, sin importar si ha tenido una corta o larga duración de vida (Gorthner, 1994). En el presente caso tomaremos el punto de vista biológico y consideraremos que un lago antiguo es un lago actual, caracterizado por una larga duración de su vida evolutiva.

La mayoría de los lagos antiguos tienen un origen tectónico y deben su longevidad a fenómenos particulares. Entre ellos, los lagos Baïkal, Ohrid, Tanganyika y Malawi (Nyassa) son lagos del tipo "graben" es decir que reposan en una depresión bordeada de fallas tectónicas. La subsidencia de la depresión que los contiene les ha permitido persistir en el transcurso del tiempo, a pesar de la acumulación de una espesa capa de sedimentos (Hutchinson, 1957; Martín, 1994; Ribbink, 1994; Zalema, 1994). Por el contrario la aparición del Lago Titicaca está en estrecha relación con el emerger de la Cordillera andina, hace alrededor de 3 millones de años. Una

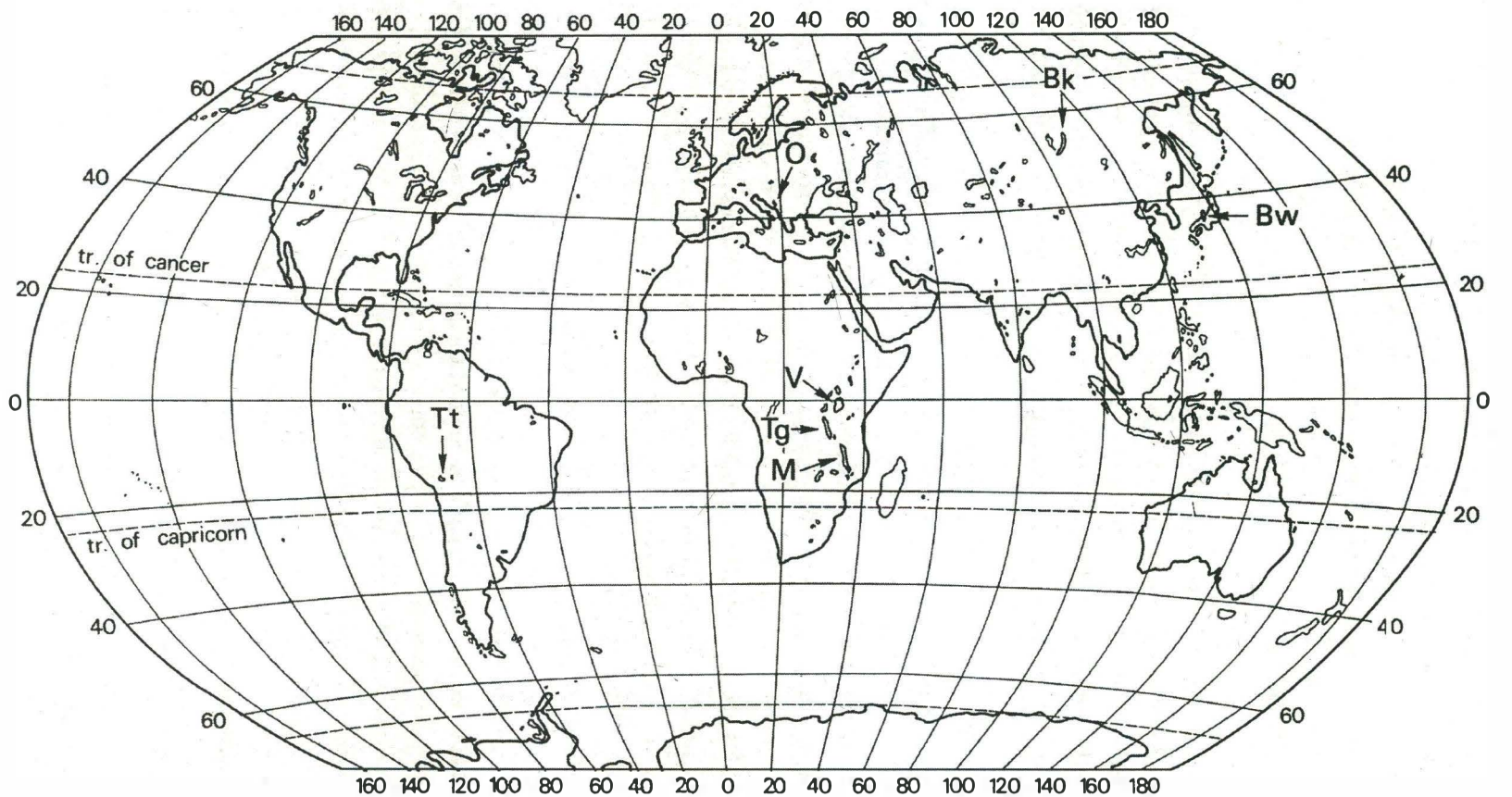


Figura 1

Localización geográfica de los lagos antiguos más importantes. Bk = Baïkal; BW = Biwa; O = Ohrid; M = Malawi (nyassa); Tg = Tanganyika; Tt = Titicaca; V = Victoria.

sucesión de fenómenos tectónicos han asegurado su perenidad, a pesar de las modificaciones climáticas severas y de las grandes variaciones en su tamaño y profundidad (Lavenu, 1992; Dejoux, 1994). El lago Biwa es de igual manera un lago tectónico que tiene una historia geológica muy movida, con períodos de sedimentación completa (Nakajima & Nakai, 1994). Sin embargo, se considera que un medio acuático ha existido siempre a partir de la formación de la cuenca sedimentaria del Biwa, hace alrededor de 4 millones de años.

UNA BIODIVERSIDAD EXCEPCIONAL

Los lagos antiguos están distribuidos en diferentes continentes (Fig. 1). Ellos presentan una gran variedad de características abióticas y bióticas de suerte que su agrupamiento en función de su gran edad puede parecer artificial. En los hechos, además de su antiguedad, todos comparten una característica única, que les da una importancia considerable: en todos estos lagos, la fauna de agua dulce ha llegado a niveles excepcionalmente elevados de diversidad, con numerosas especie endémicas y a veces incluso "un enjambre de especies".

Un "enjambre de especies" es un grupo de especies caracterizado por su condición monofilética, su endemismo y especiación (Coulter, 1991). Si bien los dos primeros criterios se explican por sí mismos, la especiación ha sido definida como "una desproporcionada abundancia de especies relacionadas dentro de un área geográfica circunscrita (Ribbink, 1984). Los amphipodos gammares del lago Baïkal constituyen un claro ejemplo de ese concepto, con 265 especies descritas actualmente, de las cuales 98% son endémicas (Kamaltynov, 1999). Más impresionante aún son los peces cíclidos de los grandes lagos africanos. Los lagos Victoria, Tanganyika y Malawi albergan respectivamente 500, 250 y 800 especies, de las cuales 98%, 99% y 99% son endémicas (Snoeks, 2000). En comparación, la ictiofauna entera de Europa del norte, marina y de agua dulce, ha sido estimada en solo 350 especies (Wheeler, 1978).

Una biodiversidad tan excepcional se explica por el hecho de que los lagos antiguos son ecosistemas relativamente aislados, a menudo considerados como el equivalente a las islas acuáticas (Rossiter & Kawanabe, 2000; McCune, 2000), en los cuales la biota ha tenido la oportunidad de desarrollarse y evolucionar durante cientos de miles a millones de años. En si, la biodiversidad es el resultado neto en una ecuación entre términos positivos, la especiación (proceso por el cual una especie aparece) y la inmigración, y de un término negativo, la extinción. Comprender la biodiversidad de un lago antiguo requiere del examen de cada término (Martín, 1996). Aunque no quede ninguna duda que, se han producido múltiples invasiones de fauna proveniente de otros cuerpos de agua vecinos, o que profundos cambios en el medio hayan podido causar extinciones de especies, queda ahora claro que la especiación autóctona es la principal fuente de biodiversidad de un lago antiguo (Martens, 1997).

Los lagos antiguos ofrecen entonces la oportunidad única de estudiar las especies en la cuna en la que han aparecido, y abordar los problemas biológicos tan fundamentales como son los mecanismos de la especiación. Cómo es posible que tantas especie próximas co-existan, cual es el rol de los factores biogeográficos, ecológicos y de comportamiento en la especiación, cuál es el rol de los cambios climáticos y de las influencias antrópica sobre la fauna, etc.

UNA BIODIVERSIDAD SUB-ESTIMADA

En el transcurso de los últimos diez años, los lagos antiguos han sido objeto de un renovado interés por parte de la comunidad científica internacional (Martens et.al.,1994; Martens, 1997; Rossiter & Kawanabe, 2000). La creación del Centro Internacional Baïkal para la Investigación Ecológica (BICER), destinado a promover el estudio del Lago Baïkal en un contexto internacional, ha sido sin duda el catalizador de este renovado interés. El desarrollo y aplicación de técnicas moleculares ha dado un impulso adicional al estudio de la fauna en los lagos antiguos, por las nuevas perspectivas que este método abre en el dominio de la sistemática, la ecología y la evolución.

Un resultado mayor de estos nuevos estudios sobre los lagos antiguos, es la toma de conciencia sobre la constante sub-estimación de su biodiversidad, aún en los grupos que se supone son bien conocidos. Los peces cíclidos del lago Malawi son un claro ejemplo. Si alrededor de 300 especies de cíclidos han sido descritas actualmente, un atento examen de los caracteres morfológicos, asociado a los datos moleculares, sugiere que un número equivalente de especies faltan por describir (Snoeks, 2000). Asimismo, si 265 especies y 81 sub-especies de gammares han sido recientemente descritas sobre una base morfológica (Kamaltynov, 1999), varios datos moleculares sugieren fuertemente que este número podría ser superior a 1000 especies (Väinölä & Kamaltynov, 1999). Esta constatación se explica esencialmente por la elevada velocidad en la cual estos grupos han evolucionado e irradiado, de manera que existe con frecuencia una sobreposición importante de caracteres que permiten el diagnóstico de especies (ver p. ej. Mourguiart, 1992). Snoecks (2000) estima que numerosas especies no han sido identificadas como tales, debido a la falta de estudios morfológicos registrados y porque las diferencias morfológicas entre especies próximas son extremadamente sutiles.

APORTES DE LOS ESTUDIOS MOLECULARES

Una tendencia mayoritaria que se destaca entre los estudios recientemente publicados sobre los lagos antiguos, es la utilización y la aplicación de técnicas moleculares a los antiguos problemas biológicos. Entre ellos los estudios que utilizan la amplificación por PCR (Polymerase Reaction Chain) y la secuencia de fragmentos homólogos de ADN se han desarrollado considerablemente (Hillis, et.al, 1996). La mencionada técnica presenta ventajas evidentes por el hecho que los datos moleculares son datos "objetivos" (las secuencias de ADN no dependen de la habilidad del científico que las estudia), por la polarización objetiva de estos datos (lo que permite evitar la utilización de un "ancestro hipotético" subjetivo, como es el caso frecuente para los datos morfológicos) o aún por la posibilidad de fechar los eventos de la especiación gracias a la calibración de un "reloj molecular".

Algunos ejemplos logrados en los estudios de los lagos Baïkal y Tanganyika permitirán ilustrar nuestro postulado. Dado el enfoque abordado por estos estudios, ellos son ilustrativos del género de estudio que podría beneficiar a los otros lagos antiguos en particular al Lago Titicaca.

ORIGEN DE LA BIODIVERSIDAD DEL LAGO BAÏKAL

Aunque el lago Baïkal ha sido el objeto de estudio de numerosos trabajos desde el siglo pasado, el origen de la fauna permanece desconocido y sujeto a numerosas controversias, en particular a causa de profundas

modificaciones ambientales que se iniciaron al final del Mioceno. Aunque la diversidad específica actual pueda resultar de la acumulación de biodiversidad a lo largo de 70 millones de años de historia del "rift" baikaliano, es igualmente posible que las modificaciones de finales del Mioceno hayan provocado extinciones seguidas de radiaciones adaptativas en algunos linajes sobrevivientes (Sherbakov, 1999).

Los análisis moleculares recientes de algunas "species flocks" baikalianos entre los más ricas en especies (Amphipodos, Gammaridae, Moluscos y peces Cottoidei) han revelado que los dos escenarios eran posibles, y han mostrado de igual manera que cada grupo había tenido una historia evolutiva compleja (Sherbakov, et.al., 1998; Sherbakov, 1999). Se muestra así que jóvenes ensamblajes de especies (Cottoidei y moluscos Baicaliidae) coexisten con grupos muy antiguos y probablemente polifiléticos (gammares y moluscos Choanomphalus), lo que mantiene la hipótesis que un enfriamiento general al inicio del Pleistoceno habría provocado modificaciones ambientales mayores, con un re-arreglo general de la fauna baikaliana. Solo algunos ensamblajes de especies recientes contienen líneas sobrevivientes antiguas.

FLUCTUACIONES DEL NIVEL DEL LAGO Y ESPECIACIÓN

La importancia del nivel del lago sobre la especiación ha sido demostrada en numerosas ocasiones tanto para el lago Baïkal como para el Tanganyika. En los dos casos, estos resultados habrían sido difíciles, casi imposible de obtener sin los datos moleculares.

Estudiando la diferenciación genética en el seno de poblaciones del gammare de litoral *Eulimno gammaarus cyaneus*, Mashiko et.al., (2000a, 2000b) han mostrado que existían dos grupos genéticamente distintos alrededor del lago. La distribución de estos dos grupos corresponde casi exactamente a la división batimétrica entre la cuenca norte y las cuencas central y sud, lo que sugiere que los dos grupos han estado espacialmente aislados en el tiempo, luego de una caída significativa del nivel de las aguas del lago Baïkal, durante el Cuaternario. El grado de separación genética entre las poblaciones es tal que la existencia de dos especies diferentes es fuertemente sugerida, aunque Mashiko et. al. no hayan dado el paso de asegurarlo.

El lago Tanganyika ofrece ejemplos aún más sorprendentes de la influencia de fluctuaciones mayores del nivel del lago sobre la radicación adaptativa de los peces cíclidos, sugiriendo la importancia de la separación geográfica sobre la especiación. El lago Tanganyika ha sufrido importantes cambios climáticos durante el Pleistoceno, que provocaron una disminución del nivel de sus aguas, de suerte que el lago se halló dividido en tres paleo-lagos distintos, probablemente por miles de años. Las poblaciones de cíclidos, peces extremadamente territoriales, se encontraron aisladas en la cuenca norte, central y sud, favoreciendo su divergencia evolutiva. Los trazos (huellas) de este evento histórico son aún visibles en la distribución de los haplophytes de ADN mitocondrial de las líneas de cíclidos Eretmodini (Verheyen et.al., 1996), así como en otros grupos de cíclidos. Una breve descripción de ello es dada por Martens (1997).

BIODIVERSIDAD DEL LAGO TITICACA

La biodiversidad del lago Titicaca tiene la reputación de ser relativamente débil, particularmente si es comparada con la fauna de otros numerosos lagos tropicales situados a altitudes menos elevadas (Dejoux,

1994). Esta observación se confirma de la comparación que se hace del lago Titicaca y otros lagos antiguos de edad similar (Tab. 1). Por ejemplo, sólo la fauna ictiológica del Malawi llega a una diversidad de 700 especies de cíclidos al menos, entre los que la mayoría son endémicos, mientras que el lago Titicaca no alberga más que 517 especies, todos los grupos zoológicos juntos, de los cuales sólo el 13% es endémico. Sólo el lago Biwa tiene una biodiversidad y una tasa de endemismos comparables al lago Titicaca pero con una superficie y un volumen de aguas considerablemente reducidos.

Tabla 1

Resumen de las principales características físicas y biológicas de algunos lagos actuales entre los más grandes y más antiguos

Lago	Edad (en Millones de años)	Profundidad max. (m)	Superficie (km2)	Volumen (km3)	Número de especies	Endemismos (%)
Baïkala	25-30	1637	31500	23000	1825	54
Tanganyikab	9-12d	1470	32600	18880	1119j	56
Malawic	4.5-8.6d	785	30800	8400	800i	99i
Caspiend	2-3	1025	384400	78700	1495	27
Victoriae	0.75	70	70000	2760	500i	99i
Titicaca	3	284	8448	8959	533	12
Ohridg	2-3	295	348	51	k	k
Biwah	4	104	674	28	517j	10j

(a) Martín (1994); (b) Coulter (1994); (c) Ribbink (1994); (d) Martens (1997); (e) Greenwood (1994); (f) Dejoux (1994); (g) Zalema (1994); (h) Nakajima & Nakai (1994); (i) peces cíclidos unicamente; los otros grupos son vistualmente desconocidos, Snoeks (2000); (j) excluyendo aves; (k) sin resumen detallado disponible.

Una diversidad tan baja parece aún más sorprendente al observar que el lago Titicaca ha sufrido numerosas e importantes vicisitudes ambientales en el transcurso de sus tres millones de años de existencia (desecación, fluctuaciones del nivel del agua, aumento de la salinidad; Dejoux, 1994; Mourguiart et.al., 1992, 1997), tantos factores de inestabilidad que habitualmente facilitan la especiación (Martens, 1997). Muchas razones podrían explicar el estado de esta diversidad, entre los que la ausencia de estudios de ciertos grupos zoológicos no es la menos importante. Algunos eventos de extinción de fauna probablemente se produjeron aunque es igualmente posible que el lago Titicaca constituya simplemente un ambiente inhóspito para ciertos organismos. De hecho, un examen más profundo de los conocimientos actuales sobre los principales grupos de organismos que habitan el lago Titicaca sugiere fuertemente que la biodiversidad actual de este lago es ampliamente sub-estimada. Sin querer ser exhaustivos, algunos ejemplos se citan a continuación para algunos grupos de animales que son corrientemente estudiados en el Instituto Real de las Ciencias Naturales de Bélgica (I.R.Sc.N.B.).

Amphipoda

Los amphipodos están representados en el lago Titicaca por una sola familia, los Hyallellidae (antiguamente Orchestidae; Baarnard & Barnard, 1983) y un solo género, *Hyalella*, que alberga una decena de especies la mayor parte de las cuales son endémicas (Dejoux, 1992; Dejoux, 1994). Mientras tanto, un examen reciente

de muestras de amphipodos relevados en el curso de la famosa "Expedición Percy Salden" en 1937 (Wilson, 1939) sugiere fuertemente que ese número de especies es ampliamente sub-estimado y que el lago Titicaca podría albergar una centena de especies distintas (Crawford et.al., 1993). Esta constatación es un ejemplo típico de problemas cuya resolución se podría alcanzar con la aplicación de técnicas moleculares, en combinación con los datos morfológicos.

Ostracoda

La familia de Limnocytherinae es un grupo clave de ostracodos en los Andes centrales (Mourguiart, 2000). Actualmente, sólo cuatro especies han sido señaladas en la literatura relativa al lago Titicaca (Martens, 1994) pero una veintena de especies podría existir, de las que la mitad serían endémicas (Mourguiart, 1992). Este grupo presenta una gran variabilidad morfológica y es un ejemplo característico de los límites de la utilización de los caracteres morfológicos en la identificación de especies, debido a la importante sobreposición de los caracteres diagnóstico (Mourguiart, 2000). Los resultados preliminares sugieren que la fauna actual de ostracodos del lago Titicaca no es una línea aislada sino solamente una fracción de radiaciones de gran amplitud que cubren los Andes enteros (Mourguiart, 2000). Aquí de nuevo, la complementariedad con los datos moleculares sería muy productiva.

Oligochaeta

La fauna de oligoquetos del lago Titicaca es poco diversificada, con 22 especies de los que sólo una, *Epiroddrilus antipodum*, es endémica (Martín, 1996). El género *Epirodrilus* en sí mismos no es propio del lago puesto que es mencionado en otras partes del mundo (Africa, Europa; Martín & Giani, 1995). Esta falta de diversidad es sorprendente para este grupo. Por ejemplo, el lago Ohrid, de una edad comparable al Titicaca pero mucho más pequeño en tamaño y volumen, alberga 23 especies de oligoquetos de los cuales 5 son endémicos. Esta particularidad ha llevado a Lafont y Juget (1992) a sugerir que el lago Titicaca podría ser un medio desfavorable para estos animales a raíz de la fuerte conductividad de sus aguas, o aún más por la ausencia permanente de oxígeno por debajo de 100 metros en el Lago Grande. Sin embargo, un examen más atento de la literatura (Lafont y Juget, 1992; Martín, 1996) muestra que el número de muestras estudiadas es muy bajo en relación al tamaño del lago, de manera que es muy probable que numerosas otras especies de oligoquetos queden por describir en el Titicaca.

Peces

Trichomycterus y *Orestias* son los dos géneros de peces originarios del lago Titicaca. El género *Orestias* es un ejemplo espectacular de radiación adaptativa rápida y reciente, con 22 especies conocidas actualmente, una de ellas *O. cuvieri*, que probablemente está extinta (Lauzane, 1992). Por tanto, este número de especies no es nada en comparación con las centenas de especies endémicas de cíclidos de los grandes lagos africanos y es por tanto más sorprendente considerando que los peces son considerados como un grupo en el que la tasa de especiación es particularmente elevada y rápida (McCune, 2000). Es poco probable que nuevas especies puedan ser descritas sobre una base morfológica, dado que este grupo debe ser bastante bien conocido,

teniendo en cuenta además del interés espontáneo que existe por este género de animales, no solamente por parte de las poblaciones locales, sino también de la comunidad científica. Por tanto, no es improbable que numerosas especies crípticas existan, cuya presencia no puede ser revelada sin la utilización de datos moleculares.

CONCLUSIONES

Estudios Futuros sobre el Lago Titicaca

Teniendo en cuenta este rápido panorama sobre la diversidad de algunos grupos del lago Titicaca, es claro que debe darse una prioridad al muestreo de gran envergadura de la fauna de este lago, paso preliminar indispensable a la descripción de nuevas especies y al conocimiento de base de esta fauna. La biodiversidad del lago Titicaca podría revelarse mucho más rica que la actual. La aplicación de nuevas técnicas moleculares, que han sido utilizadas con éxito en el estudio de la fauna de otros lagos antiguos, podría dar datos inéditos, difíciles o casi imposibles, de obtener con los datos morfológicos. En particular, estas técnicas deberían proveer, por primera vez, datos sobre la edad de las "species flocks", lo que puesto en relación con la historia del lago, debería permitir comprender mejor la importancia de las modificaciones ambientales sobre su evolución (modificaciones climáticas, fluctuaciones del nivel del agua, influencia antrópica).

Una mejor comprensión del origen y la calidad de la biodiversidad del lago Titicaca es una cuestión previa indispensable a una gestión racional de ese medio, sobre una base científica. En un contexto de desarrollo sostenible, es imperativo que se puedan combinar las exigencias a priori tan opuestas como la explotación del lago antiguo y la conservación de su diversidad biológica única en el mundo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco enormemente a los organizadores del primer Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca por el desarrollo de este evento, en particular a la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia y su Directora Ejecutiva de su Instituto para la Conservación e Investigación de la Biodiversidad, la Sra. Carmen Miranda, y a la Academia Real de Ciencias de Ultra Mar de Bélgica, bajo la conducción de su Secretaria Perpetua, la Sra. Yola Verhasselt. Hago un reconocimiento particular a Cynthia Silva por la traducción del texto original en francés al español.

BIBLIOGRAFÍA

Barnard, J. L. & C. M. Barnard, 1983. *Freshwater Amphipoda of the world. I. Evolutionary Patterns.* Hayfield Associates, Mt. Vernon, 358 pp.

Coulter, G., 1994. Lake Tanganyika. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 13-18.

Crawford, G. I., K. Harrison, R. J. Lincoln, & G. A. Boxshall, 1993. An introduction to the species flock of amphipods (Crustacea) of Lake Titicaca. *Workshop Speciation in Ancient Lakes - Evolution, Biodiversity, Conservation. 1-5 March 1993, Mont-Rigi, Robertville, Belgium.* Abstract Book: 18.

Dejoux, C., 1992. The Amphipoda. In C. Dejoux & A. Iltis (eds), *Lake Titicaca. A synthesis of limnological knowledge*. Monographiae Biologicae 68, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 346-356.

Dejoux, C., 1994. Lake Titicaca. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 35-42.

Gilson, H. C. (ed), 1939. The Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca in 1937 under the leadership of Mr H. Cary Gilson, M. A. *Trans. Lin. Society London*, third series, 1(1), 116 pp.

Greenwood, P. H., 1994. Lake Victoria. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 19-26.

Gorthner, A., 1994. What is an ancient lake ? In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 97-100.

Hillis, D. M., C. Moritz & B. K. Mable (eds). *Molecular Systematics*. Sinauer, Sunderland, 655 pp.

Hutchinson, G. E., 1957. *A treatise on limnology*. Volume I, Geography, physics, and chemistry. J. Wiley & Sons, New York, 1015 pp.

Kamaltynov, R. M., 1999. On the higher classification of Lake Baikal amphipods. *Crustaceana* 72: 933-944.

Lauzanne, L., 1992. Fish fauna. Native species. The *Orestias*. In C. Dejoux & A. Iltis (eds), *Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge*. Monographiae biologicae, vol. 68, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 405-419.

Lavenu, A., 1992. I. Origins. I.1. Formation and geological evolution. In C. Dejoux & A. Iltis (eds), *Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge*. Monographiae biologicae, vol. 68, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 3-14.

Maddox, J., 1989. Baïkal centre takes step forward. *Nature* 341: 481.

Martens, K., 1994. Ostracod speciation in ancient lakes: a review. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 203-222.

Martens, K., G. Coulter & B. Goddeeris, 1994. Speciation in Ancient Lakes - 40 years after Brooks. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 75-96.

Martens, K., B. Goddeeris & G. Coulter (eds), 1994. Speciation in Ancient Lakes. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44, 508 pp.

Martens, K., 1997. Speciation in ancient lakes. *Trends Ecol. Evol.* 12: 177-182.

Martin, P., 1994. Lake Baikal. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 3-11.

Martin, P., 1996. Oligochaeta and Aphanoneura in ancient lakes: a review. *Hydrobiologia* 334: 63-72.

Martin, P. & N. Giani, 1995. Two new species of *Epirodrilus* (Oligochaeta, Tubificidae) from Lake Nyasa and Tanganyika (East Africa), with redescription of *E. slovenicus* and *E. michaelseni*. *Zool. Scr.* 24: 13-19.

Mashiko, K., R. Kamaltynov, H. Morino & D. Yu. Sherbakov, 2000a. Genetic differentiation among gammarid (*Eulimnogammarus gammarus cyaneus*) populations in Lake Baikal, East Siberia. *Arch. Hydrobiol.* 148: 249-261.

Mashiko, K., R. Kamaltynov, H. Morino & D. Yu. Sherbakov, 2000b. Genetic differentiation of gammarid (*Eulimnogammarus cyaneus*) populations in relation to past environmental changes in Lake Baikal. In K. Minoura (ed), *Lake Baikal. A mirror in time and space for understanding global change processes.* Elsevier, Amsterdam: 299-305.

McCune A. R., 0000. How fast is speciation ? Molecular, geological, and phylogenetic evidence from adaptive radiations of fishes. In T. J. Givnish & K. J. Sytsma (eds), *Molecular Evolution and Adaptive Radiation.* Cambridge Univ. Press, Cambridge: 585-610.

Mourguiart, P., 1992. The Ostracoda. In C. Dejoux & A. Iltis (eds), *Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge.* Monographiae biologicae, vol. 68, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 337-345.

Mourguiart, P., D. Wirrmann, M. Fournier & M. Servant, 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. *C. R. Acad. Sci. Paris, Série II,* 315: 875-880.

Mourguiart, P., J. Argollo, T. Corrège, L. Martin, M. E. Montenegro, A. Sifeddine & D. Wirrmann, 1997. Changements limnologiques et climatiques dans le bassin du lac Titicaca (Bolivie), depuis 30 000 ans. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes,* 325: 139-146.

Mourguiart, P., 2000. Historical changes in the environment of Lake Titicaca: evidence from Ostracod ecology and evolution. In A. Rossetti & H. Kawanabe (eds), *Ancient lakes: biodiversity, ecology and evolution.* Advances in Ecological Research, vol. 31, Academic Press, San Diego: 497-520.

Nakajima, T. & K. Nakai, 1994. Lake Biwa. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 43-54.

Ribbink, A. J., 1994. Lake Malawi. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 27-33.

Rossiter, A. & H. Kawanabe, 2000. *Ancient lakes: Biodiversity, Ecology and Evolution.* Advances in Ecological Research, vol. 31, Academic Press, San Diego, 624 pp.

Salemaa, H., 1994. Lake Ohrid. In K. Martens, B. Goddeeris & G. Coulter (eds), Speciation in Ancient Lakes, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 44: 55-64.

Sherbakov, D. Yu, R. M. Kamaltynov, O. B. Ogarkov & E. Verheyen. 1998. Patterns of evolutionary change in Baikalian gammarids inferred from DNA sequences (Crustacea, Amphipoda). *Mol. Phylo. Evol.* 10: 160-167.

Sherbakov, D. Yu, 1999. Molecular phylogenetic studies on the origin of biodiversity in Lake Baikal. *Trends Ecol. Evol.* 14: 92-95.

Snoeks, J., 2000. How well known is the ichthyodiversity of the large East African Lakes ? In A. Rossetti & H. Kawanabe (eds), *Ancient lakes: biodiversity, ecology and evolution*. Advances in Ecological Research, vol. 31, Academic Press, San Diego: 17-38.

Väinölä, R. & R. M. Kamaltynov, 1999. Species diversity and speciation in the endemic amphipods of Lake Baikal: molecular evidence. *Crustaceana* 72: 945-956.

Verheyen, E., L. Rüber, J. Snoeks & A. Meyer, 1996. Mitochondrial phylogeography of rock-dwelling cichlid fishes reveals evolutionary influence of historical lake level fluctuations of Lake Tanganyika, Africa. *Phil. Trans. R. Soc. Lond* B 351: 797-805.

Wheeler, A., 1978. *Key to the Fishes of Northern Europe*. Frederick Warne, London.

Respuesta de variedades de quinua ante incrementos de la radiación ultravioleta solar

Por: *Eduardo R. Palenque*[1]

RESUMEN

La quinua es uno de los principales alimentos de la población altiplánica, y en especial, de la ribera del Lago Titicaca. Como toda especie vegetal, la quinua está expuesta a las elevadas dosis de radiación ultravioleta B (UVB) en el Altiplano Boliviano y resiente, por tanto, de los ciclos climáticos que afectan esa región, como son El Niño y La Niña, que están acompañados por variaciones de los niveles de radiación UVB solar, con respecto a las medias anuales. En este experimento se ha comparado la respuesta de diferentes variedades de quinua a diferentes condiciones de irradiación en el espectro de la UVB solar, llegándose a la conclusión que la respuesta no es uniforme sino que es posible seleccionar especies más resistentes a la UVB para ser sembrada preferentemente en períodos de crisis climática. Se detallan los métodos empleados y las posibles consecuencias para la economía de la región.

SUMMARY

The quinua is one of most important food item for the highlands Bolivian population and, especially, for the people on the riverside of the Titicaca Lake. As all vegetable species, the quinua is exposed to the high doses of UVB at the Bolivian highlands. Therefore it feels the effect of the climatic cycles that accur at the region. Climate phenomena, like el Niño and La Niña are accompanied by variations of the UVB radiation levels with regard to the annual stockings. In this experiment the response of different quinua varieties has been compared to different irradiation conditions in the spectrum of the solar UVB, being reached to the conclusion that the response is not uniform. So it is possible to select more resistant species to the UVB to be cultivate in periods of climatic crisis preferably. The paper explain the methods and the possible consequences detailed for the economy of the region.

[1] Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA), Instituto de Investigaciones Físicas (IIF) - UMSA, E-mail: palenque@o3-bolivia.org; edyruy@latinmail.com; Tel-fax (591-2) 2799155, Casilla 3164, La Paz, Bolivia.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una revisión de un trabajo previo (Palenque et al., 1997), realizado por un grupo de investigadores asociados al Laboratorio de Física de la Atmósfera, que por entonces aún llevaba el nombre de Laboratorio de Ozono y Radiación Ultravioleta. El laboratorio amplió el espectro de actividades, lo que motivó el cambio de nombre.

Entre los cambios globales más destaca el disminución o adelgazamiento de la capa de ozono, mucho más notoria en las regiones de latitudes altas, con el extremo del "agujero de ozono" sobre el continenteAntártico. La capa de ozono funciona como un filtro protector de la radiación ultravioleta que provienen del Sol; de manera tal que toda la radiación altamente dañina para los organismos vivos (denominada UVC) queda absorbida por las moléculas que forman el ozono a nivel estratosférico; también queda absorbida una gran cantidad de la radiación biológicamente activa (denominada UVB) y deja pasar la mayor parte de la radiación ultravioleta cercana (denominada UVA). Por el rango de longitudes de onda, o equivalentemente de energías, la UVB es la llega a interferir con muchos de los mecanismos fisiológicos de las plantas; en especial con los relacionados con el proceso de fotosíntesis. La capa de ozono se ve afectada por la presencia de cloro atómico activo, que proviene de los Cloro-fluoro-carbonos (CFCs). Estos forman una serie de compuestos químicamente inertes en condiciones ambientales comunes; pero, que por su largo tiempo de residencia en la atmósfera, el cual sobrepasa los 50 años (Brasseur y Solomon, 1986), llegan a alcanzar la estratósfera por simple difusión. Las corrientes de circulación global en la estratósfera arrastran los gases hacia los polos, en un mecanismo dominado por el giro de La Tierra sobre su eje, que arrastra a la atmósfera por un proceso de viscosidad (Salby, 1990). Los CFC, que son compuestos artificiales, y que no existen en forma natural en el planeta, son producidos mayoritariamente en latitudes medias del hemisferio norte, y lentamente se fueron acumulando sobre las regiones polares. Cuando los CFC se difunden por encima de la mayor porción de la capa de ozono, reciben suficiente radiación UVC, y se descomponen, liberando átomos activados de cloro. Estos generan una reacción catalítica que destruye moléculas de ozono con una gran eficiencia: un átomo de cloro puede destruir hasta diez mil moléculas de ozono antes ser neutralizado por otra especie gaseosa (Brasseur y Solomon, 1986). La gran cantidad de CFCs que actualmente ya ha sido liberada a la atmósfera y que está en proceso de difusión hacia la estratósfera hace predecir que la capa de ozono seguirá adelgazándose, o sea, disminuyendo su concentración, durante los próximos 50 años (Cacho, 1997). El espesor de la capa de ozono está distribuido en forma variable sobre la superficie terrestre; siendo más gruesa sobre las regiones polares y más delgada sobre las regiones tropicales. Aparentemente esto contradice la idea que en las regiones tropicales el ozono se forma por acción de la radiación solar. Sin embargo, la causa de esa distribución espacial es la dinámica estratosférica que distribuye el ozono formado sobre las regiones tropicales hacia las regiones polares. Como la reacción destructiva del ozono tiene lugar más sobre los polos, en especial sobre el austral, la cantidad total de ozono en la capa está disminuyendo a una tasa casi constante cada año.

El espesor de la capa de ozono también tiene una relación inversa con la cantidad de radiación ultravioleta (A y B) que llega a la superficie terrestre. Mientras mayor es el espesor de la capa de ozono sobre una localidad, menor es la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie; ya que la absorción es

mayor. Como se tiene que la capa de ozono seguirá disminuyendo durante los próximos 50 años, la intensidad de la radiación ultravioleta en superficie seguirá en aumento. El proyecto presentado aquí justamente analiza la respuesta de una especie vegetal a diferentes dosis de radiación UVB.

En Bolivia, la zona altiplánica, que incluye al sistema (TDPS) de la cuenca endorreica, recibe la mayor dosis de radiación UV, y al tener una mayor concentración de población que el resto del país, se hace prioritario un análisis de los efectos de la prolongada exposición a los rayos solares. Uno de esos efectos se hace más notorio en las especies vegetales, ya que una parte de la RUV hace competencia al proceso de fotosíntesis, inhibiendo parte de esa función, y afectando en forma adversa al desarrollo de las plantas. Este desarrollo reducido, en términos de producción agrícola de especies comestibles, podría dar lugar a bajas en el balance alimenticio de la población local.

Por todo lo anotado, se ha elegido a la quinua (*Chenopodium quinoa*, Wild.), en tres de sus variedades: Chucapaca, Robura y Sayaña, como muestra de estudio experimental. Siendo uno de los principales alimentos cultivados y consumidos por la población altiplánica, cualquier cambio en sus niveles de producción tiene inmediata repercusión en el bienestar de los pobladores andinos.

MÉTODO

Se siguió el desarrollo de un número limitado de plantas, cultivadas en dos lotes con condiciones de crecimiento idénticas en las variables de composición de suelo, tiempo de desarrollo, agua de riego, humedad relativa, temperatura ambiente e iluminación directa. La diferencia principal en las condiciones de crecimiento fue que un lote estuvo protegido de la radiación ultravioleta solar por una cubierta plástica. Esta cubierta fue del mismo tipo que los campesinos altiplánicos utilizan para construir los invernaderos, cuyo material recibe el nombre de Agrofilm. Además, de un estudio previo en nuestro laboratorio, se cuenta con las características del mismo, tanto en sus propiedades ópticas como filtro de radiación solar, como de la degradación de las mismas en el proceso de solarización.

Se tomaron tres variedades de quinua: Chucapaca, Robura y Sayaña, a fin de poder evaluar y analizar las variaciones en composición final de las plantas, y así no quedar fijados a la respuesta de una única variedad, lo que podría no ser representativo del proceso. Las tres variedades de semillas seleccionas fueron gentilmente entregadas por la estación Patacamaya, y fueron puestas a germinar en condiciones idénticas. Después de dos días de imbibición, fueron sembradas en macetas plásticas para poder controlar los nutrientes del suelo y no tener interferencia de sales con el agua proveniente de fuentes cercanas. Para evitar sesgos estadísticos en los datos, se sembraron entre ocho y doce semillas en cada una de las 34 macetas por cada variedad y por cada lote, con un total de 204 macetas. Considerando que no todas las semillas germinarían, y que una vez que germinaron, no todas las plantas sobrevivían hasta la etapa de fructificación, se obtuvo una cantidad aceptable para realizar tanto el seguimiento del crecimiento en plantas representativas, como para el muestreo de hojas, que realiza un cierto daño a la planta elegida para el muestreo.

Las plantas estuvieron separadas en dos lotes: El lote A estuvo expuesto directamente a la radiación solar, salvo por una cubierta de malla milimétrica que cumplía las funciones de protegerlo del granizo y disminuir la radiación visible en una cantidad similar a la cubierta del otro lote. El lote B estuvo bajo la sobra de una cubierta de Agrofilm, que es un plástico laminado que absorbe hasta el 95% de la radiación ultravioleta B, en especial la radiación solar directa. También se le colocó unos filtros laterales para evitar la radiación ultravioleta difusa; pero dispuestas de tal manera que permitían un libre intercambio de aire y humedad, de manera que ambos lotes estuvieron siempre a las mismas condiciones climáticas. La especial geometría de la cubierta del lote B evitó la formación de un efecto invernadero local, lo que nos garantizó la uniformidad de las condiciones de crecimiento.

Se realizó un seguimiento en el desarrollo de las plantas, tanto en características morfológicas: altura de las plantas, número de hojas, área foliar, etc. Como de compuestos químicos (metabolitos) que sirvieron de indicadores de la influencia de la RUVB: clorofilas, flavonoides y azúcares, con medidas sistemáticas y periódicas de todos esos parámetros. Las variables morfológicas no representan intervención alguna en el desarrollo de las plantas, pero para poder medir la concentración de los compuestos químicos, se requiere tomar muestras de parte de las hojas, lo cual afecta al índice fotosintético de cada planta. Las muestras se analizaron posteriormente en el laboratorio.

Las variables morfológicas se tomaron durante varios estados del desarrollo de las plantas, las muestras para la cuantificación de compuestos químicos se tomaron antes de la fructificación y después de la maduración de semillas, y la determinación de las variaciones a nivel de estomas, al final del crecimiento, cuando las semillas ya estaban maduras.

Las clorofilas fueron extraídas a partir de discos cortados directamente de las hojas de las plantas. La extracción de los pigmentos clorofilianos se realizaron en base a acetona al 80% en luz roja. Los carotenoides se midieron simultáneamente a las clorofilas y con el mismo método. Los flavonoides fueron extraídos en base a metanol acidulado. Los azúcares solubles se determinaron mediante una prueba colorimétrica a partir del método de fenol sulfúrico. Las tres medidas fueron sometidas a pruebas de espectrofotometría obteniéndose los resultados mostrados en los gráficos.

El análisis de los datos incluyó un control estadístico a fin de minimizar las variaciones intrínsecas que representa la evaluación de trabajos con organismos vivos. En este caso, el espacio muestral se separó por lote y variedad, rechazándose aquello que sobrepasan una desviación mayor a tres veces la desviación estándar de su lote.

RESULTADOS

Las plantas del Lote A, expuestas directamente al sol, y que recibieron una mayor dosis de RUV (37.5 MJ/m^2) presentan en general, un menor crecimiento en cuanto a la altura apical de cada una de las plantas. Cuantitativamente, las plantas del Lote A tienen una altura que en promedio es el 70 % de las plantas del Lote B, protegido de la RUV, ya que sólo recibió 1.9 MJ/m^2.

En cuanto a la superficie foliar, las cifras obtenidas de las plantas de ambos lotes no marcan ninguna diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, el tamaño de las hojas del Lote B es sistemáticamente mayor que las del otro lote. La compensación se produce en términos del número de hojas, y sobre todo en el tiempo de la permanencia de las hojas en el tallo. También se ha notado una mayor longitud de peciolo en los ejemplares del Lote B.

La relación de peso fresco/peso seco es también mayor en el Lote B y constante para las tres variedades, lo que induce a pensar en algún mecanismo de retención de agua que funciona activado por la RUV, probablemente como un indicador general de la cantidad total de radiación solar recibida por la planta.

La concentración de clorofilas muestra una ligera correlación con la exposición a la RUV, pero con diferente gradiente para cada una de las variedades. La variedad robura es la que presenta una mayor concentración total de clorofila, seguida de la variedad sayaña y la chucapaca. Se propone continuar el estudio para determinar los mecanismos de acción de la RUV sobre la inhibición de la fotosíntesis y los mecanismos alternativos que toman las plantas.

La concentración de flavonoides muestra una gran correlación con la exposición a la RUV que va en forma directa, pero con diferente gradiente para cada una de las variedades. La variedad sayaña es la que presenta mayor concentración total de flavonoides, seguida de la variedad robura y la chucapaca. Esta última, empero, presenta la mayor tasa de diferencia entre los lotes A y B; es decir, es la variedad en la cual la concentración relativa de flavonoides tuvo mayor incremento. Considerando lo que se conoce del papel protector de los flavonoides como substancias protectoras del tejido vegetal ante la RUVB, se puede concluir que la variedad chucapaca está mejor adaptada que las otras dos.

Luego de la determinación de las concentraciones de los azúcares solubles para cada lote, se puede observar que la variedad chucapaca muestra la mayor sensibilidad a la RUV recibida durante su desarrollo. Esta variedad presenta una concentración total de azúcares que está cercana al doble de la presentada por las otras dos variedades, las cuales tienen valores finales que prácticamente no difieren entre ellos, y que además son casi constantes durante el tiempo de desarrollo de la planta.

Otro tipo de respuesta a la RUV, se tiene en que las plantas del Lote A desarrollaron una mayor cantidad de estomas adaxiales, en relación a las plantas del Lote B, independientemente de la variedad considerada. Esta diferencia morfológica tiene una repercusión en la fisiología de la planta que se pretende estudiar con mayor detalle.

CONCLUSIONES

Se siguió el desarrollo de las plantas de quinua desde su germinación hasta la producción de frutos, durante un ciclo vital de las mismas, desde finales de diciembre de 1996 hasta principios de abril de 1997, en concordancia con la estación de lluvias, excepcionalmente larga en ese año.

Se observó que el tiempo de desarrollo de la quinua no está influenciado por la RUV, ya que las etapas fenológicas de ambos lotes se produjeron en forma simultánea.

El crecimiento de las plantas presenta una dependencia con las dosis de RUV recibidas, ya que las plantas protegidas por el filtro, tienen una mayor altura, y hojas más grandes, aunque simultáneamente muestran una mayor debilidad ante la manipulación, a causa de una mayor cantidad de agua en los tejidos. Se propone un estudio sobre el mecanismo de inducción a la retención de agua ante la baja dosis (1.9 MJ/m^2) de RUV recibida. La diferencia en altura está reflejada en la distancia entre nudos, medida linealmente sobre el tallo central.

La variedad chucapaca es la que mejor adaptabilidad a la RUV presenta, en cuanto a la producción de compuestos de defensa, del tipo de los flavonoides. El orden de adaptabilidad continúa con las variedades robura y sayaña respectivamente.

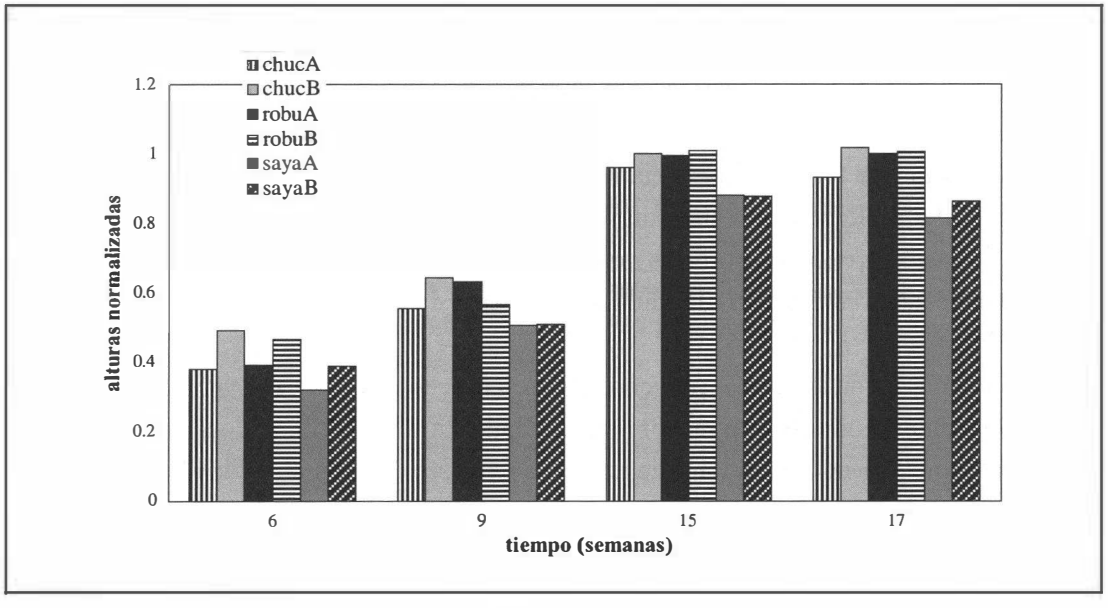


Figura 1
Evolución de tamaños

La figura 1 muestra en forma comparativa la evolución del tamaño de los ejemplares de quinua. El lote A recibió RUV solar, ya que fue cultivado en condiciones de cielo abierto. El lote B prácticamente no recibió RUV solar, ya que fue cultivado debajo de las cubiertas plásticas que le sirvieron de filtro para ese rango. Obsérvese que las distintas variedades tienen desarrollos diferentes (sayaña tiene un tamaño mucho menor que las otras dos). Además, la diferencia de tamaños entre los lotes A y B (con y sin RUV) es mayor en los primeros estado de crecimiento.

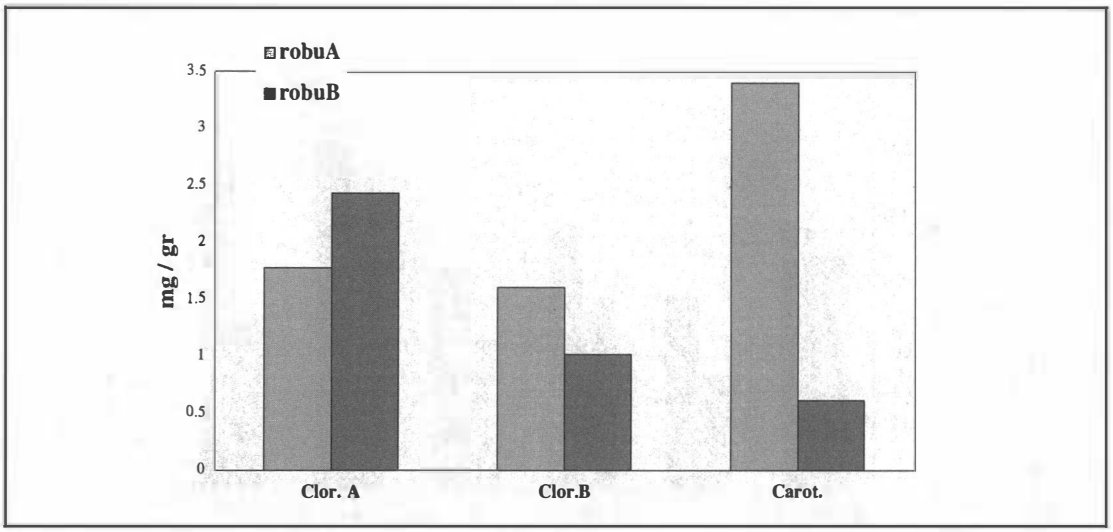


Figura 2
Comparación de la concentración de cromóforos en la variedad robura

La figura 2 muestra en forma comparativa la concentración de los cromóforos (Clorofila tipoA, Clorofila de tipo B, Carotenoides) entre las plantas de variedad robura cultivadas con RUV solar (loteA) y sin RUV (lote B). Nótese la gran diferencia en el contenido de los carotenoides. La escala del eje vertical está en miligramos (mg) de cromóforo contenidos en cada gramo (gr) de peso seco de planta.

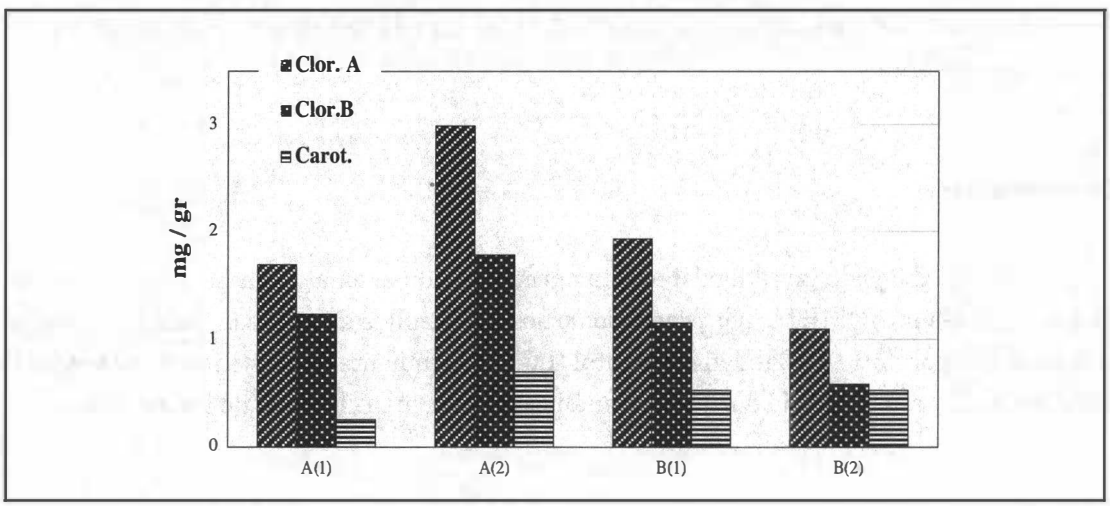


Figura 3
Evolución de los cromóforos en la variedad chucapaca

La figura 3 muestra en forma comparativa la evolución de la concentración de los cromóforos (Clorofila tipo A, Clorofila de tipo B, Carotenoides) entre las plantas de variedad chuapaca cultivadas con RUV solar (lote A) y sin RUV (lote B). Los datos del primer grupo (1) corresponden a la etapa previa a la fructificación y los del segundo grupo (2) a cuando las semillas ya habían madurado.Nótese la gran diferencia en el contenido de los carotenoides del lote A. La escala del eje vertical está en miligramos (mg) de cromóforo contenidos en cada gramo (gr) de peso seco de planta.

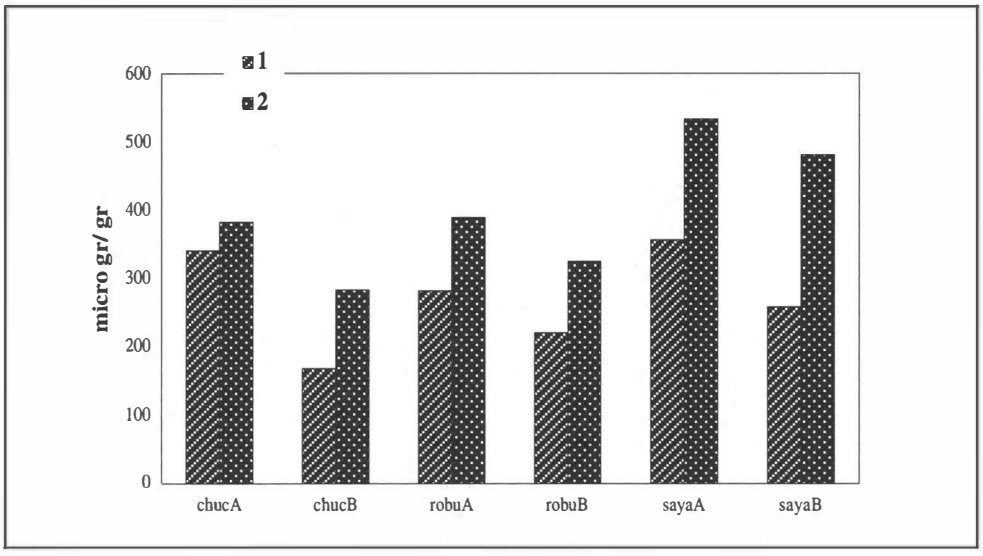


Figura 4
Evolución de la concentración de flavonoides

La figura 4 muestra en forma comparativa la evolución de la concentración de los flavonoides en las diversas variedades cultivadas con RUV solar (loteA) y sin RUV (lote B). Los datos del primer grupo (1) corresponden a la etapa previa a la fructificación y los del segundo grupo (2) a cuando las semillas ya habían madurado. Nótese la mayor concentración de flavonoides en la variedad sayaña, ya que el loteA tiene menos flavonoides que el lote B. La escala del eje vertical está en microgramos (mg) de flavonoides contenidos en cada gramo (gr) de peso seco de planta.

AGRADECIMIENTOS

El autor, junto con el grupo de investigadores está agradecido al personal de la Estación Experimental de Patacamaya, dependiente del IBTA, por proporcionarnos las semillas de quinua. También agradecemos a los asistentes del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) dependiente del Instituto de Ecología (IE) de la UMSA, por la ayuda proporcionada durante los análisis para la cuantificación de los metabolitos.

BIBLIOGRAFÍA

Brasseur, G y Solomon, S.1986. Aeronomy of the Middle Atmosphere, D.Reidel Publishing Company, segunda edición. Boston.

Cacho, J. 1997. El agujero de ozono, Ed. Paraninfo, Madrid.

Palenque, E.R. et al., 1997. Revista Boliviana de Física, vol.3, p.120-128.

Salby, M.L. 1990. Fundamentals of Atmospheric Physics, Academic Press, Nueva York.

Identificación de la variabilidad y sus flujos de comercialización de los Tubérculos Andinos (TAs) en la zona circunlacustre del Lago Titicaca

Por: *Victor Iriarte* y *Enrique Carrasco* [1]

RESUMEN

En la zona circunlacustre del Lago Titicaca por los estudios realizados desde la campaña 1998-1999 y 1999-2000 se han identificado 15 ferias agrícolas donde se comercializan tubérculos andinos (papa, oca, papalisa e isaño), la red caminera existente a orillas del Lago Titicaca a permitido identificar tres flujos marcados de comercialización de tubérculos andinos, que inician primeramente en la península de Copacabana Provincia Manco Kapac, el segundo flujo esta comprendida al lado opuesto de la península y se inicia en la zona fronteriza de Janq'o Janq'o, con destino a Puerto Acosta y Escoma (provincia Camacho) y la tercera se inicia en la parte Este del lago en la zona fronteriza del Desaguadero y Tiwanacu (Provincia Ingavi). Todos estos flujos tienen como destino final los grandes mercados de la Ciudad de El Alto y la ciudad de La Paz, inclusive a la ciudad de Oruro principalmente a partir de la zona del Desaguadero. En estos flujos y ferias se han podido apreciar la variabilidad de TAs: 48 variedades nativas de papa (*Solanum tuberosum ssp andigena*), 40 variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), nueve variedades de *papalisa (Ullucos tuberosus*) y seis variedades de isaño (*Tropaeolum tuberosum*), toda esta variabilidad es manejada y comercializada por agricultores mayores (35-85 años) en las ferias comunales de la zona circundante al Lago Titicaca, en cada uno de estos puntos las intermediarias llegan a rescatar estos productos andinos para luego comercializarlos en las ferias de la 16 de Julio en la ciudad del Alto, en la feria de la zona del Cementerio, mercados Uruguay, Rodríguez; de estos mercados se distribuyen a otros mercados como los de Villa Fátima y las ferias ubicadas en la zona Sur de la ciudad de La Paz.

[1] Fundación PROINPA, Adbon Saavedra y Guachalla, Edificio Marconi, Piso 2, N°820, Telef. (591 2) 2416966, E-mail: v.iriarte@proinpalp.org

SUMMARY

At the surrounding area of the Titicaca Lake, we carried out this studies during the campaigns 1998-1999 and 1999-2000. We visited 15 agricultural fairs where Andean tubers are marketed (Papa, Oca, Papaliza, Isaño). Following the network road along the Titicaca lake, we identified three commercial flows for Andean tubers trade. The first begins at the peninsula of Copacabana (Provincia Manco Capac), the second flows to the opposed side of the peninsula and it begins at the border Janq'o Janq'o, area, going to Puerto Acosta and Escoma (Provincia Camacho). And the third begins at the Eastern part of the lake in area of the Desaguadero River and Tiwanacu (Provincia Ingavi). All these commercial flows have destination at the cities of El Alto and La Paz, while the third one can move toward the city of Oruro starting from the area of the Desaguadero River.

We were able to appreciate 48 native varieties of potato (*Solanum tuberosum*), with great variability on their local names, 40 *ocas* varieties (*Oxalis tuberosa*), 6 *papalisa* varieties (*Ullucos tuberosus*) and 9 *isaño* varieties (*Tropaeolum tuberosum*). These products are cultivated and marketed by older farmers (35 – 85 years old) in the traditional fairs from the surrounding area to the Titicaca,Lake. In each sale point, the merchants or middlemen arrive for stocking the Andean products for their offer in the fairs of the "16 de Julio" at the El Alto city. Also, they go to the fair at the Cemetery, Uruguay Market and Rodríguez Market. These last ones are considered as fairs for arrival of the Andean products, while those of distribution are in Villa Fátima and in the South area of the city of La Paz.

INTRODUCCIÓN

Los asentamientos humanos en el área cicunlacustre del lago Titicaca ayudaron a domesticar especies de tubérculos (papa, oca y otros) y pseudo cereales como quínua y cañihua. Este proceso de domesticación es peculiar sólo en algunas partes del planeta. Actualmente son centros importantes de conservación *in situ* de la variación genética de estas especies. Por lo tanto es necesario realizar esfuerzos para apoyar la agricultura tradicional de ésta zona mediante la revalorización de las variedades locales.

Para ello es necesario inventariar la biodiversidad y entender las practicas actuales de las familias campesinas como los flujos tradicionales de germoplasma y paralelamente apoyar al mejoramiento de la calidad de la semilla.

La diversidad de variedades nativas, existentes en los diferentes pisos ecológicos, en la actualidad están reduciéndose gradualmente debido a una serie de aspectos, por ejemplo, los socioculturales, los fitopatológicos, y otros de carácter abiótico como las heladas y sequías.

Por tanto es importante considerar como alternativas que eviten esta reducción, cuantificar la variabilidad (Vander Zaag, 1980), que permita contribuir a preservar la diversidad genética e incrementar la producción y productividad, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al progreso de los agricultores dedicados a su cultivo.

OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la revalorización de tubérculos andinos de importancia local, mediante la Identificación de la variabilidad y sus flujos de comercialización de los tubérculos andinos (TAs) en la zona circunlacustre del Lago Titicaca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la variabilidad de TAs. en campos de agricultores y en ferias circundantes a la zona circunlacustre del Lago Titicaca..
- Identificar flujos de comercialización de TAs en la zona circunlacustrre del lago Titicaca.
- Inventariación de las variedades de papas nativas manejadas por las familias campesinas y su efecto en las variedades más antiguas.

1. Variabilidad de tubérculos andinos en la zona circunlacustre del Lago Titicaca

Cuadro 1

Inventariación de la variabilidad de ocas (*Oxalis tuberosa*) en el Altiplano boliviano campaña 1998 - 99.

Feria agrícola	Variedades de oca	N° de variedades de oca
Puerto Acosta	Wari Kayu, Ch'iar qhini, Aph'illa, Muru alq'a A, Muru alq'a B, Quini, Ch'ismi, Sucreña, Xanq'u chismi, Xanq'u quini, Lluchu q'aya, Quillu qhini, Alq'a ch'ismi, Xanq'u ch'ismi	14
Escoma	Sucreña, Savaciri, Xanq'u sabaciri, Murualq'a, Ch'ismi, Qhini, Chismi 1. Waca Lik'i, Ch'ismi 2, Renglo apilla, Achacana ph'ara, Quini apilla, Ch'iar apilla,Xanq'u ch'ismi, Wari kh'aya, Luk'i sabaciri, Sabaciri Rosado, Wila qhini, Quini apilla, Chiar ch'ismi	20
Moroq'ollo	Apilla quini, Ch'ismi, Ch'iar apilla, Xanq'u quini, Lolisa apilla, Lluchu apilla, Moq'o quini, Ch'ismiraqui, Lolisa, Quini oca, Murualq'a, Xanq'u oca, Anajaya, Quillu quini	14
Batallas	Lliki oca, Qhilla sunt'i, Xanq'u quini, Wila oca, Quillu oca, Apilla quini, Apilla, Wari oca, Chismi	9
Tiwanacu	Apilla qhini, Apilla, Q'illu apilla, Janq'o apilla, Lluch'u apilla	5
Copacabana	Quillu apilla, Qhilla sunt'i, Quini apilla, Xanq'u ch'ismi, Ch'iar ch'ismi, Ch'ismi, Quillu oca, Isleño, Asuhuri, Paceño, Lluchu oca, Apilla, Xanq'u apilla loq'a, Wari Kayu	14
Viacha		0
Total variedades diferentes		40

Resultados preliminares indican a la zona con mayor variabilidad a la feria agrícola de Escoma con 20 variedades de ocas, donde participan familias campesinas provenientes de los valles y como segunda feria de importancia es considerada la feria de Copacabana con 14 variedades de ocas (Cuadro 1).

La variabilidad de papalisa (*Ullucus tuberosus*) en las ferias agrícolas tradicionales circundantes al Lago se registró de siete a nueve variedades y de Izaño (*Tropaeolun tuberosum*) de tres a seis a variedad en cada una de las ferias mencionadas.

Cuadro 2

Inventariación de la variabilidad de ocas (*Oxalis tuberosa*) en campos de agricultores de la zona circunlacustre del lago Titicaca, campaña 1998-1999.

	Variabilidad de tubérculos Andinos					Zonas de corroboración		
Paqaures	**Jutilaya Chico**	**Cariquina Grande**	**Cariquina Acosta**	**Collasuyo Grande**	**Juphi**	**Batallas**	**Ancoraimes**	**Puerto**
Wacalik'i	Janq'o chismi	Humawaculla	Janq'o chismi	Sucreño	Sawaciri	Quini oca	Chiar aphilla	Loqu'e lulu
Janq'o chismi	Quini aphilla	Janq'o chismi	Chiar chismi	Quillu qhini	Sucreño	Quillu oca	Loqh'elulu	Sucreña
Lampaya	Sucreña	Wila chismi	Janq'o luk'i	Phuti quini	Wila quini	Janq'o Quini	Manzanilla	Janq'o chismi
Chiar chismi	Wila quini	Chiar chismi	Wari chuchu	Jacha qhini	Phuti quini	Wari chuchu	Sucreña	Janq'o quini
Sucreña	Chiar chismi	Lawa quini	Quini aphilla	Chiar chismi	Janq'o quini	Loquelulu	Qu'ella sunthy	Quella sunthi
Quini aphilla	Wari chuchu	Loquelulu	Quella sunthi	Luk'i quini	Wari lluch'u	Quella sunth'i	Loquelulu	Jacha quini
Wila chismi	Janq'o aphilla	Quella sunthi	Loquelulu	Juch'us quini	Muruallqa	Huma huaculla	Huma huaculla	Quillu quini
Wari chuchu	Quini phuti	Wari chuchu	Waca lik'i	Wila chismi	Quini aphilla	Sucreña	Chiar aphilla	Lampaya
Huma waculla	Jacha quini	Sucreño	Wila chismi	Sucreño	Phuti aphilla	Janq'o chismi	Janq'o quini	Chiar aphilla
Janq'o aphilla	Muru alq'a	Allq'a chismi	Huma waculla	Muruallqa	Wacalik'i		Qella sunthy	Janq'o chismi
Moxosa	Luk'i	Wila Lampaya	Wila luk'i	Janqó quini	Wila chismi		Chismi	Chismi
Lawa quini	Waca lik'i	Janq'o quini	Quillu quini	Luk'i phuti	Wari Caya			Chiar chismi
Wila phuthi	Wila chismi	Pasta	Jach'a quini	Wacalik'i	Chismi phuti			
Loqu'e lulu	Loqh'e lulu	Mollo alq'a	Sucreña	Jacha chismi	Chiar chismi			
Janq'o aphilla	Janq'o quini	Quillu quini		Sawaciri	Wila luk'i			
Murualq'a	Wari kayo	Waca lik'i		Lap'a phuti	Janq'o chismi			
Waca lik'i	Quella sunthi	Amajaia		Waca khar aphilla	Quillu aphilla			
	Phuti quini	Wila champaja			Chiar aphilla			
	Manzana apilla	Quillu chismi			Loquelulu			
	Chusllunq'u	Solterito			Misti apilla			
	Jacha quini				Jach'a phuti			
	Achacan quini							
17	22	20	14	17	21	9	11	12
Variedades diferentes de oca = 35								
Número total de familias diagnósticadas = 111 + 34 =145								

La información recopilada en 111 familias campesinas ha permitido identificar preliminarmente 40 variedades de oca en las zonas de Paqaures, Jutilaya, Cariquina Chico, Cariquina Grande, Collasuyo y Juphi Grande (Cuadro 2).

Las 35 variedades de oca permitieron identificar a estas zonas con alta variabilidad de ocas comparada con las encontradas 16 variedades diferentes identificadas en las zonas de Batallas, Ancoraimes y Puerto Acosta.

Cuadro 3

Recopilación de información de la variabilidad de ocas en familias campesinas de la zona circunlacustre del lago Titicaca, campaña 1998-99.

Número de familias diagnosticadas por zona						Número de familias por zona		
Paqaures	Jutilaya	Cariquina Chico	Cariquina Grande	Collasuyo	Juphi Grande	Batallas	Ancoraimes	Puerto Acosta
10	15	18	14	9	11	9	8	7
Población total por zona								
68	85	64	60	50	80			
Total familias diagnosticadas = 77						Total familias diagnosticadas = 24		

De seis zonas evaluadas y comprendidas en alrededores de la feria de Escoma 77 familias campesinas colaboraron para la identificación de la variabilidad de ocas, los resultados obtenidos han permitido corroborar a la feria de Escoma como feria con mayor presencia de variabilidad, asimismo los resultados registrados de las 24 familias ubicadas mas distantes a Escoma contribuyeron para confirmar a la feria de Escoma donde se comercializa la mayor variabilidad. (Cuadro 3)

Cuadro 4

Recopilación de información por zona de la variabilidad de papas nativas manejada en familias campesinas de la zona circunlacustre del Lago Titicaca, campaña 1998-99.

Variedades nativas de papa						Variedades nativas de papa		
Paqaures	Jutilaya	Cariquina Chico	Cariquina Grande	Collasuyo	Juphi Grande	Batallas	Ancoraimes	Puerto Acosta
Azagoni	Sani Imilla	Ajanhuiri	Zapallo	Sani Imilla	Janq'o Imilla	Sani Negra	Sani Imilla	Sani Imilla
Igusa	Azagoni	Bola luky	Wacha Paceña	Wacha Paceña	Wila Imilla	Wacha Paceña	Wila Imilla	Azagoni
Pali Negra	Choque pito	Janq'o Imilla	Ajanhuiri	Allq'a Imilla	Zapallo	Qetu Luk'i	Isla	Choque pito
Ñoscha								
(Chulina)	Pali Negra	Wila Imilla	Wila Imilla	Wila Imilla	Condor Cayo	Moroq'o Luk'i	Waycha Paceña	Pali Negra
Caulina	Ñoscha							Ñoscha
	(Chulina)	Zapallo	Allq'a Imilla	Sani Negra	Igusa	Chojlla Luk'i	Chiar Imilla	(Chulina)
Choque pito	Caulina	Condor Cayo	Condor Cayo	Chiar Imilla	Sani Imilla	Pali Negra	Sani Negra	Caulina
Surimana	Allq'a Imilla	Igusa	Sani Negra	Janq'o Imilla	Wacha Paceña	Janq'o Imilla	Moroq'o Luk'i	Allq'a Imilla
Isla	Surimana	Sani Imilla	Sani Imilla	Choque pito	Isla	Sani Imilla	Janq'o Imilla	Surimana
Bola luky	Isla	Azagoni	Azagoni	Surimana	Sani Negra	Wila Imilla	Allq'a Imilla	Isla
Sakampaya	Sani Negra	Choque pito	Igusa	Isla	Janq'o Imilla	Sakampaya	Wila Ajanhuiri	Sani Negra
Janq'o Imilla	Ajanhuiri	Pali Negra	Pali Negra		Pali Negra	Chiar Imilla	Sakampaya	Chiar Imilla
Qetu Luk'i	Bola luky	Ñoscha (Chulina)	Ñoscha (Chulina)		Chiar Imilla		Surimana	Waycha Paceña
Zapallo	Janq'o Imilla	Caulina	Caulina				Palis	
Wacha Paceña	Wila Imilla	Allq'a Imilla	Choque pito				Condor Cayo	
Ajanhuiri	Zapallo	Surimana	Surimana				Zapallo	
Wila Imilla		Isla	Isla					
Allq'a Imilla		Sani Negra	Bola luky					
		Chiar Imilla	Sakampaya					
			Janq'o Imilla					
			Qetu Luk'i					
17	15	18	20	10	12	11	15	12
Número de variedades de papa nativa por zona								

Las zonas de Cariquina Chico y Cariquina Grande presentan mayor variabilidad de papas nativas (Cuadro 4) con relación a las otras comunidades, registrándose entre 18 y 20 variedades, estas comunidades se caracterizan como valles interandinos, asimismo por sus potencialidades para la producción familias campesinas de los valles concurren a estas comunidades en la época de la cosecha de papa para intercambiar entre productos de las zonas altas y productos de las zonas bajas.

La variabilidad de ocas existentes y papas nativas (Cuadros 1), (Cuadro 2) y (Cuadro 4) indican a las zonas de Paqaures, Jutilaya, Cariquina Chico y Cariquina Grande como comunidades con alta variabilidad de importancia para las familias campesinas.

La variabilidad de ocas existentes en estas zonas son comercializadas como semilla desde el mes de agosto hasta el mes de octubre en la feria de Escoma, y por los intermediarios son realizados los flujos de comercialización desde Puerto Acosta hacia Janq'o Janq'o perteneciente al hito fronterizo entre Bolivia y Perú, otras veces son comercializadas a la feria de Huancané perteneciente al lado peruano, por la proximidad a estas comunidades con alta variabilidad de ocas, las familias campesinas también llegan a comercializar pero en menos magnitud en forma de mezclas (ch'alis) en la feria agrícola de Chinaya donde concurren las familias de ambos países.

Asimismo la preferencia de variedades de oca fresca en la feria que se considera estacional solamente para algunos meses se puede comercializar solamente con algunas variedades, pero el consumo familiar de año redondo es de forma de Q'aya (congelada pisada y secada) Humaqay'a (tubérculos de oca expuesta en agua por lo menos una semana, congelado y deshidratado) elaborada a partir de todas sus variedades, este proceso de elaboración no descrimina alguna de las variedades de oca, esto permite que se mantengan en el tiempo en las familias campesinas con estas formas de consumo alimenticio.

Cuadro 5

Variabilidad de tubérculos andinos manejados por las familias campesinas en la zona de Cariquina Grande – Provincia Camacho (zona circunlacustre).

Familia y edad	Variabilidad por cultivos			
	Oca	Papa nativa	Papalisa	Isaño
Maria Quispe 52, Toribio Sillu 56 años	(10)	(23)		
Francisco Sillu 68, Petrona Quispe 65	(6)	(27)		1
Lorenza Sillu 45, Vicente Mamani 50	(10)	(13)	(1)	1
Simona Sillu 50, Vicente Patana 55	(9)	(30)	(2)	1
Tereza Mamani 30, Marcelino Sillu 35		(13)		2
Jacinto Sillo 36, Sebastiana Mamani 36	(15)	(31)	5	5
Lucio Mamani 28, Vorah Ali 25	(11)	(32)	5	4
Gabino Blanco 33, Maria 36	(10)	(30)	3	1
Fabiana Mamani 50, Cosme Sillu 52	(7)	(25)		2

Familia y edad	Variabilidad por cultivos			
	Oca	Papa nativa	Papalisa	Isaño
Severina Ali 62 Vda.	(9)	(11)	5	3
Albertina Torres 35, Modesto Quispe 40	(10)	(34)	4.	2
Sebastiana Mamani 45, Evaristo Roldán 50	7	(26)	3	1
Miguel Corina 30, Maria Torres 35	(8)	(28)	4	1
Elias Roldán 30, Cristina	(7)	(31)	3	2
Juan Mamani 35, Francisca Quispe 29	(6)	(30)		
Teófilo Torres 35, Gregoria Corina 40	(12)	(37)	6	3
Victoria Blanco 30, Guillermo Mamani 35	(6)	(26)	3	2
Juana Sillu 30, Remigio Ali 45	(7)	(27)	(5)	2
Rosa Blanco 45, Carlos Corina 40	(19)	(5)		

En la Comunidad de Cariquina Grande por su orden de importancia desde el habito alimenticio de la familia campesina el cultivo de la papa y de la oca son consideradas de primera importancia, seguida por el cultivo de la papalisa e isaño, el número de variedades de papa, oca, papalisa e isaño es mayor en familias campesinas en edades entre a 35 - 85 años (Cuadro 5), en cambio en familias campesinas menores a 35 años o matrimonios jóvenes por la educación occidental recibida y por los cambios en los hábitos alimenticios van disminuyendo la variabilidad en cada uno de estos cultivos.

Cuadro 6

Inventariación de las variedades de papas nativas manejadas por las familias campesinas y su efecto en las variedades más antiguas.

Variedades antes de ser semilleristas 1994	Variedades sembradas después de ser semilleristas	Variedades perdidas
Badankoyo, Chola paceña, Sotamari, Luck'i, Sakampaya, Milagro, Cardoso negro, Cardoso rojo, kaysu, Koyllos, Pucamama, Surimana, Churi chojllo, Cojo Pedro, Waca maymuru, Pisicayo, Misikatu, Totojqollo, Ajahuiri, Kor'iwarak'u, Qamarada, Papapino, Huankusullu, Tantachoqui.	Waycha, Alfaalfa, Runa Toralapa, Gendarme, Revolución, Kolli, Sani Negra, Milagro, Pali Rojo, Pali Negra, Sotomari, Imilla negra, Lukí, Sakampaya, Sani negra, Cojo Pedro, Pucumama, Churi chojllo, Surimana, Zapallo Koyllo, pepino.	Badankoyo, Chola paceña, Waca maymuru, Pisicayo, Misikatu, Totojqollo, Ajahuiri, Kor'iwarak'u, Qamarada, Papapino, Huankusullu, Tantachoqui.
24	21	12

En la época de los patrones (antes de la reforma agraria, 1952) solamente se cultivaban algunas variedades mas preferidas como la Imilla Negra, Badankoyo, Chola paceña y la luk'i (Cuadro 6)que eran destinadas para su consumo en fresco y para su transformación en Tunta, estas variedades eran cultivadas en las mejores parcelas de la hacienda, en cambio las variedades menos importantes eran cultivadas por las familias campesinos en parcelas aisladas, estas variedades eran consideradas por los patrones como las variedades pobres que eran utilizadas tan solamente para el autoconsumo de la familia campesina humilde explotada (pongos).

La introducción de nuevas variedades y de más calidad, también están permitiendo a los agricultores cambiar de sistema de producción de semilla en esta década, al someterse a una metodología de producción de semilla dentro el sistema formal, propuestas por entidades semilleristas, este sistema a provocando aislamientos del resto de sus cultivos tradicionales para la producción de semilla de alta calidad, consideradas por estas entidades como focos de infección y transmisores de patógenos. Al presente las costumbres y los sistemas de producción han permitido desaparecer de sus zonas 12 variedades nativas de papa consideradas por ellos como las variedades más antiguas o variedades de los abuelos.

Cuadro 7

Variedades de ocas identificadas en principales ferias de la península de Copacabana – Zona circunlacustre del Lago Titicaca.1999-2000

Feria	Variabilidad	N° total de variedades
S. de Ojje	Quillu Apilla, Janqó Quini, Quini o Sawaciri, Sawasiri rosado, Macura, Wari chuchu, Isleño, Janq'o apilla	9
Parquipujiu	Macura, Solterito o Paceñita, Puca mama apilla, Quillu Apilla, Janqó Quini, Chiara quini, Quini o Sawaciri, Sawasiri rosado, Quillu oca, Waca likí, Chiar Chismi, Wila Chismi, Isleño, Wari chuchu, Janq'o apilla.	15

Por la cercanía a la feria de Parquipujiu de las comunidades del país vecino del Perú familias campesinas concurren vía caminera con su variabilidad de ocas (Cuadro 7) principalmente de la conunidad de Apillani, esto ha permitido formar una feria más grande comparada con la feria de Santiago de Ojje donde concurren familias campesinas mas distantes también del Perú, ademas vía lacustre, esto es el reflejo del menor número de variedades registradas. En cada una de estas ferias las intermediarias que concurren en transporte público (flotas) realizan el acopio de los tubérculos para destinarlos los productos a principales mercados de la ciudad de La Paz.

Cuadro 8

Variedades de ocas identificadas en parcelas de agricultores de la península de Copacabana – Zona circunlacustre del Lago Titicaca 1999-2000

Comunidad	Variabilidad	N° total de variedades	N° de familias
Sawiña	Macura, Solterito o Paceñita, Puca mama apilla, Quillu Apilla, Janqó Quini, Chiara quini, Lluchu apilla, Quini o Sawaciri, Sawasiri rosado, Quillu oca, Chiar Chismi, Wila Chismi, Isleño, Wari chuchu, Janq'o apilla, Janq'o luk'i	16	11
S. de Ojje	Lluchu apilla, Humawaculla, Quillu Apilla (Cochabamba), Janqó Quini, Quini o Sawaciri, Sawasiri rosado, Macura, Wari chuchu, Llauri, Isleño, Janq'o apilla, Janq'o Chismi, Chiara Chismi, Janq'o Chismi, Paceñita.	14	10
Parquipujiu	Wila lukí Cheje, Lluchu apilla, Macura, Solterito o Paceñita, Puca mama apilla, Quillu Apilla, Janqó Quini, Chiara quini, Quini o Sawaciri, Sawasiri rosado, Quillu oca, Waca likí, Chiar Chismi, Wila Chismi, Isleño, Wari chuchu, Llauri, Janq'o apilla, Janq'o luk'i, Janq'o Chismi	18	18
Total			39

En parcelas de los agricultores la comunidad de Parquipujiu (Cuadro 8) por los resultados preliminares obtenidos se ha podido identificar 18 variedades de ocas con relación a la comunidad de Sawiña que presenta 16 variedades y en menor número de variedades que se registro en la comunidad de Santiago de Ojje. Esta mayor variabilidad obtenida en campos de agricultores es como resultado del intercambio realizado entre parientes familiares, amigos y por la mano de obra ofrecida para la cosecha en ambos países del lado Peruano y Boliviano, asimismo por la entrada y salida de la variabilidad de semillas de oca por las zonas de control fronterizo existentes en estos lugares de Bolivia y Perú.

Cuadro 9

Principales ferias agrícolas tradicionales en la zona circunlacustre del Lago Titicaca 1999-2000.

Días	Ferias tradicionales				
	Provincias				
	Camacho	Omasuyos	Los Andes	Ingavi	Manco Cápac
Lunes					
Martes					
Miércoles					
Jueves	Puerto Acosta	Moroq'ollo	Batallas		
Viernes	Pacaures				Santiago de Ojje
Sábado	Janq'o Janq'o		Batallas		Kasani Parquipujiu
Domingo	Puerto Acosta Escoma Chinaya	Ancoraimes		Tiwanacu Desaguadero	Copacabana

En la zona circunlacustre del Lago Titicaca por los estudios realizados desde la campaña 1998-1999 y 1999-2000 se han identificado (cuadro 9) 15 ferias agrícolas tradicionales donde se comercializan los tubérculos andinos, la vía caminera existentes a orillas del Lago Titicaca a permitido identificar tres flujos marcados de comercialización de tubérculos andinos, que se inician primeramente (Fig. 1) en la península de Copacabana Provincia Manco Kapac, el segundo flujo esta comprendida al lado opuesto de la península y se inicia en la zona fronteriza de Janq'o Janq'o, con destino a Puerto Acosta y Escoma (provincia Camacho)y el tercero se inicia en la parte Este del lago en la zona fronteriza del Desaguadero y Tiwanacu (Provincia Ingavi), todos estos flujos tienen como destino de los tubérculos andinos a la Ciudad del Alto y la ciudad de La Paz incluso con flujos de los tubérculos andinos a la ciudad de Oruro a partir de la zona del Desaguadero.

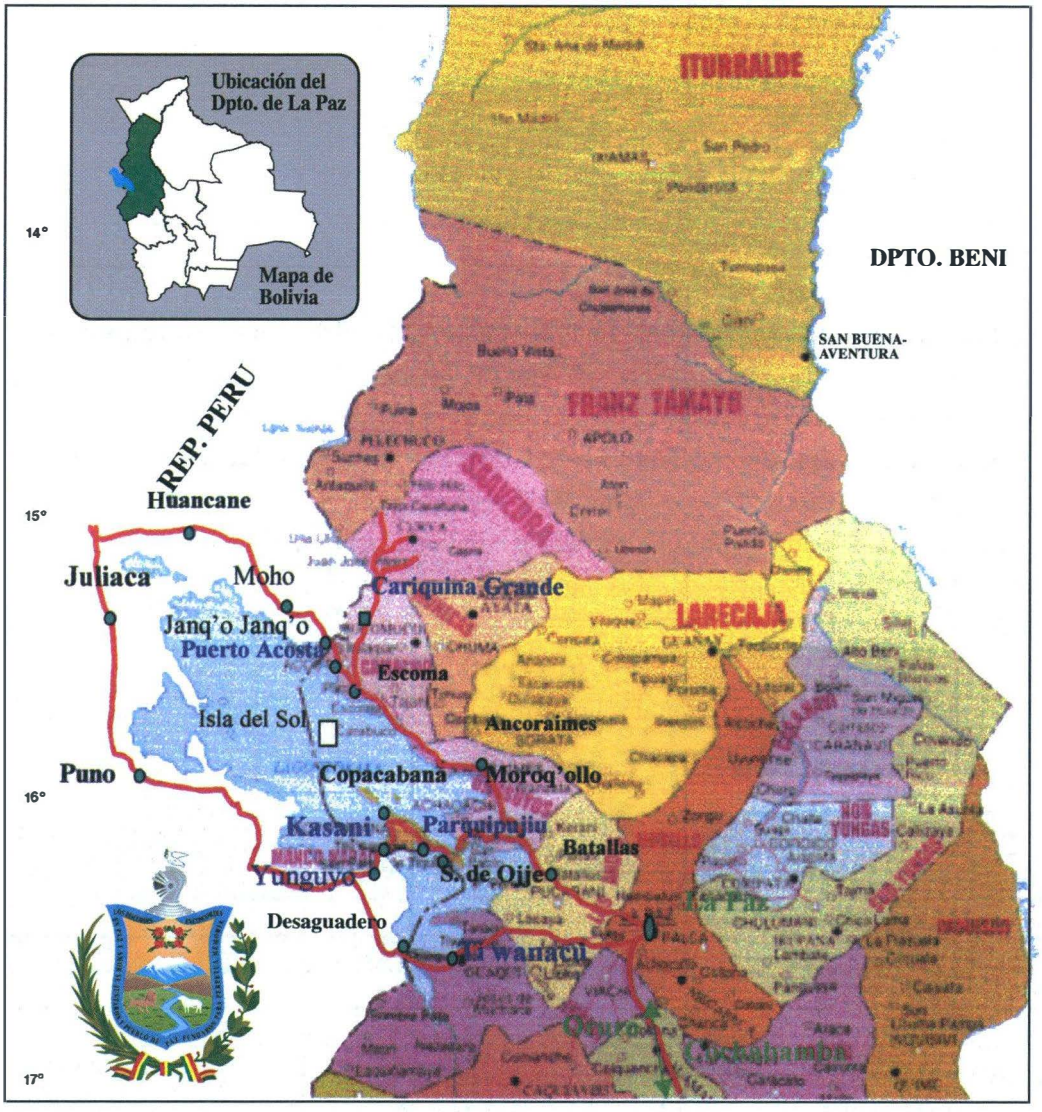


Figura 1
Principales ferias agrícolas de la zona circunlacustre del Lago Titicaca y sus nexos a través de las vías camineras con la ciudad de El Alto y La Paz. INE 1999.

En estos flujos se ha podido apreciar que la mayor variabilidad es manejada por la gente de edad cuando comercializan las familias campesinas en el momento de la venta de los tubérculos andinos. Este también se aprecia en la gente con mas edad particularmente en las mujeres de la comunidad de Cariquina Grande donde llegan a manejar con mayor número de variabilidad en sus parcelas de producción asimismo cuando realiza la comercialización en la feria de Chinaya, Pacaures y Escoma, siendo contrario en jóvenes menores a 30 años, esta disminución de la variabilidad es probablemente según comentarios de los ancianos como una consecuencia de la migración temporal a las ciudades realizada después de la cosecha hasta la época de la siembra cuando se presenta nuevamente en su comunidad, con nuevos conocimientos occidentales.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Se identificaron 15 ferias agrícolas tradicionales donde se comercializan los tubérculos andinos, con tres flujos marcados de comercialización de tubérculos andinos, que inician primeramente en la península de Copacabana (Provincia Manco Kapac), el segundo flujo esta comprendida al lado opuesto de la península y se inicia en la zona fronteriza de Janq'o Janq'o, con destino a Puerto Acosta y Escoma (Provincia Camacho) y el tercero se inicia en la parte Este del lago en la zona fronteriza del Desaguadero y Tiwanacu (Provincia Ingavi).

- Los tuberculos andinos identificados en campos de agrícultores y ferias circundantes al lago Titicaca fueron 48 variedades nativas de papa (*Solanum tuberosum ssp andigena.*), 40 variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), nueve variedades de *papalisa (Ullucos, tuberosus*) y seis variedades de isaño (*Tropaeolum tuberosum*).

- La variabilidad es manejada en campos de agricultores y comercializada por agricultores mayores (35-85 años) en las ferias comunales de la zona circundante al Lago Titicaca, en cada uno de estos puntos las intermediarias llegan a rescatar estos productos andinos para luego comercializarlos en las ferias de la 16 de Julio en la ciudad del Alto, en la feria de la zona del Cementerio, mercados Uruguay, Rodríguez; de estos mercados se distribuyen a otros mercados como los de Villa Fátima y las ferias ubicadas en la zona Sur de la ciudad de La Paz.

BIBLIOGRAFÍA

Vander Zaag, 1980. Potato producction and utilization in the wold.

INE, MDSP, 1999. Bolivia un mundo de potencialidades, Atlas Estadístico de Municipios.

Diversidad de flora en las islas Taquile y Amantani, Puno, Perú

Por: *Elías Condori Robles*[1]
y *Ana Paola Galván Llacho*[2]

RESUMEN

El Titicaca, lago navegable más alto del mundo con un área de 8.562 km^2, situado en el altiplano Peruano - Boliviano, alberga islas de importancia como son: Taquile y Amantani con superficie y población significativa, que presentan costumbres y desarrollo sociocultural peculiar. Taquile, se ubica entre 69° 41' 10" L.O. y 15° 45' 15" L.S., y Amantani entre 69° 42' 37" L.O. y 15° 39' 40" L.S.; a 3.818 msnm.

Teniendo como objetivos: Determinar las especies que constituyen principales comunidades vegetales y índice de diversidad existente, como resultado de la influencia del hombre que modificó con la transformación del medio, la cobertura vegetal. De esta manera contribuir al conocimiento del recurso flora y su estado de conservación en las islas Taquile y Amantani, lugares de importante actividad turística en Puno.

Cada una de las islas presentan elementos florísticos representativos desarrollados en forma natural, determinando de un total de 44 familias, 89 géneros y 112 especies. Taquile presenta 23 familias y 56 especies, agrupadas en 12 comunidades; Amantani 80 especies agrupadas en 35 familias, que forman 16 comunidades. Mientras que el índice de Simpson muestra un 0.703 (70.3%). Dicha diversidad tiene diferentes utilidades, como medicinal, generadoras de energía (leña), para construcción, aromáticas, entre otras.

Hoy el turismo que constituye una de las fuentes económicas para el poblador isleño, representa un rol importante en la conservación de la vegetación, siendo necesario implementar acciones que constituyan alternativas en el mantenimiento de su conservación.

1 Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano, E – mail: ecrobles@ozu.es, Puno – Perú.
2 Consultoria conservación de biodiversidad y estudios ambientales, COBESAM – Puno. Telefonos: (51 54) 366189, (054) 665931, (054)969173; Telefax: (054) 352992, E – mail: galvan@ozu.es

SUMMARY

The system formed by the Titicaca Lake, is locate at the Bolivian and Peruvian highlands. Its immense extension has countless natural places that harbor an enormous biodiversity. Taquile is an important island located between 69°41´10˝ of west longitude and 15°45´15 ´´ of south latitude, at 3818 msnm whose surface has a considerable extension and where a significant human population inhabits.

The objective of Taquile Island study was to determine both, the species and the vegetation communities. Likewise, we estimate the level of diversity; and the changes due to of the human activity that altered it and modified this environment, with the construction of platforms to increase the agricultural frontier, and develop their own vegetation landscape. We determinated the percentage of vegetation covering, as well as, the index of corresponding diversity. We obtain 56 floristic species grouped in 23 families and 12 communities of terrestrial and aquatic character. The index of diversity of Simpson shows a 0.703.

It is important to point out that the tourism activity constitutes a main source of economy for the Taquile Island's residents, so we should promote this complementary activity for the conservation and maintenance of the vegetation.

The island of Amantaní is located at the Lake Titicaca, among the 15°39´40" of south latitude and 9°42´37" of west longitude. This altitude is 3818 msnm and the surface is about 9.28 Km2.

The Island presents areas with platforms for agriculture, stones quarries and cattle raising sectors. The flora of Amantaní presents representative floristic elements, where a total of 80 species has been determined, grouped in 35 families that conform 18 communities, both terrestrial and aquatic formations. The tourism is a complementary activity in the insular resident's. It is a economic important source, while plays an important rol on the biodiversity conservation, making necessary the implementation of actions that promote this alternative in pro of the maintenance of the flora and fauna resources of the island.

INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca, presenta características propias en la formación geomorfológica y en su biodiversidad, albergando una flora y fauna altoandina, la vegetación, esta representada por gramíneas y dicotiledóneas herbáceas. Encontrando también numerosas especies arbustivas y muy esporádicamente formaciones de relictos de bosques, que posiblemente en épocas pasadas formaban bosques de gran desarrollo y cobertura, constituidos por especies arbóreas de *Polylepis y Buddleja*, distribuidas en muchas zonas del altiplano peruano, asociados con *Chuquiraga, Parastrephia, Eupatorium, Baccharis,* etc.

La vegetación que caracteriza las dos islas: Amantani y Taquile derivan de la acción antrópica, utilizando este medio como terreno de cultivo previamente acondicionado en andenes, para diferentes especies cultivadas adaptadas en el altiplano, desplazando así a las especies de plantas nativas a lugares cada vez más estériles.

Otro aspecto fundamental es la temperatura ambiental que en el año no presenta variaciones significativas en ambas islas, donde las amplitudes térmicas no son muy marcadas, debido a que presenta un microclima con un promedio de 11.1 °C.

La formación nativa forestal también ha sido objeto de una devastación por la utilización de las especies arbóreas por el hombre como leña o para la construcción de sus viviendas, existen especies arbóreas que caracterizan la zona alto andina, de los géneros: *Buddleja* y *Polylepis*, propio de los Andes, en las 2 islas, aproximadamente desde 1950 han sido reemplazadas por forestaciones de *Eucalyptus y Cupressus*. El género *Eucalyptus* en la isla Amantani, se ha adaptado alcanzando un gran desarrollo llegando hasta 35 m de altura, tiene gran preferencia por su desarrollo aparentemente rápido, en comparación a las especies nativas que tienen un porte mediano y presentan un tallo generalmente torcido en comparación de las especies arbóreas introducidas.

La importancia que presentan estas dos islas, desde punto de vista turístico, es promisorio ya que, son visitados por turistas nacionales y extranjeros, en ambas islas no existen alojamientos u hoteles, la misma que es proporcionada por las viviendas de los mismos habitantes. Esta modalidad es tal vez la parte atractiva para algunos visitantes por lo que tienen la oportunidad de estar en contacto con las mismas vivencias de los isleños (Prochaska; 1990).

Figura 1
Vista Panorámica de la isla Taquile.

OBJETIVOS

El objetivo para la realización de este estudio fue el determinar las especies que constituyen principales comunidades vegetales en las islas Taquile y Amantan, así como determinar el indice de diversidad existente.

ÁREA DE ESTUDIO

Cuadro 1
Ubicación y principales características de las islas

Característica	Isla Taquile	Isla Amantani
Ubicación geográfica	69°41'10" longitud oeste y 15°45'15" latitud sur	69°42'37" longitud oeste y 15°39'40" latitud sur
Altitud	De 3.818 a 4.074 msnm.	De 3.818 a 4.130 msnm.
Área	5.72 km^2	9.28 km^2
División y organización	6 suyos: Kcalayano, Chuño pampa, Kollino, Huayllano, Estancia y Kallata pampa suyo.	4 suyos: Estanciasuyo, Ocosuyo, Orcosuyo y San Cayano.
Población	1.700 habitantes aprox.	Aprox. 3.000 habitantes.

Ambas islas presentan un bello e impresionante ambiente natural y su población manifestaciones culturales importantes. La agricultura, ganadería y turismo ,son las principales actividades económicas para el poblador isleño.

MATERIAL Y MÉTODOS

De campo: Cuadrantes, wincha, herramientas (pala, cuchillo, tijera de podar), bolsas de polietileno, cinta maskingtape, formularios y cuaderno, lápices, cámara fotográfica, altímetro.

De gabinete: Claves dicotómicas, carta nacional, imagen satelital, material de escritorio.

El estudio de las comunidades vegetales, comprende la determinación de composición florística y su estructura, constituida por la organización de los individuos en un espacio. Se ha determinado el número de especies, clasificación (claves, fotografías, herbario, etc.), formación de asociaciones y cobertura expresada en diferentes escalas, utilizando cuadrantes de 1 m^2 para herbaceas y transectos para arbóreas, con muestreo aleatorio. El grado de diversidad a través del Indice de Simpson. Asimismo el diálogo directo con el poblador isleño para el conocimiento de la utilidad de cada especie y los diferentes cambios que se han producido en dichas islas.

RESULTADOS

Composición florística: Las islas presentan un número importante de especies de flora nativa, con diferente utilidad para el poblador que habita estos lugares.

Isla Taquile: Se han determinado 23 familias y 56 especies, agrupadas en 12 comunidades.

Isla Amantani: Identificadas 80 especies en 35 familias, que forman 16 comunidades.

Cuadro 2

Comunidades y especies vegetales en la isla Taquile

Comunidad	Principales especies
De *Alchemilla pinnata y Cassia tomentosa*	*Alchemilla pinnata, Gnaphalium spicatum, Pennisetum Astragalus garbancillo, Trifolium amabile, Taraxacum officinalis, Rumex cuneifolius, Lepechinia meyeni, Juncus arcticus y Mimulus glabratus.*
De *Colletia spinosissima y Minthostachys andina*	*Colletia spinosissima, Minthostachys andina, Siphocampylus tupaeformis, Stipa ichu, Hieracium cf. padcayense, Lepechinia meyeni* y Helechos.
De *Achyrocline alata y Viguiera Pfanzii*	*Achyrocline alata, Viguiera pflanzii, Bidens andicola, Bidens tripinerva, Siphocampylus tupaeformis, Tagetes mandoni, Minthostachys andina, Eragrostis cilianensis y Stipa mucronata, Bomarea involucrosa.*
De *Parastrephia quadrangulare*	*Parastrephia quadrangulare, Lupinus paniculatus, Colletia spinosissima, Sporobolus virginicus y Eragrostis cilianensis.*
De *Margyricarpus pinnatus*	*Margyricarpus pinnatu, sAstragalus arequipensis, Gentianella sp. Sporobolus indicus, Calandrina ciliata, Chersodoma iodopappa y Bidens triplinerva.*
De *Minthostachys andina*	*Minthostachys andina y Parastrephia quadrangulare.*
Herbáceas de zonas Húmedas	*Juncus arcticus, Mimulus glabratus, Rumex cuneifolius, R. obtusifolius, Gnaphalium spicatum, Stevia mandoni, Hordeum muticum, Medicago hispida, Erodium cicutarium y Erodium malacoides.*
Matorral ralo	*Colletia spinosissima, Achyrocline alata, Parastrephia quadrangulare Franseria artemisioides, Stipa plumosa, S. obtusa, Agave americana, Solanun nitidum, Cassia hookeriana, Siphocampylus tupaeformis.*
Bosque ralo de *Buddleja coriacea*	*Buddleja coriacea, Buddleja incana, Colletia spinosissima, Cantua buxifolia, Achyrocline alata, Eupatorium gilbertii y Parastrephia quadrangulare.*
De *Eucalyptus globulus*	*Eucalyptus Cupressus macrocarpa*
Acuática arraigada	*Elodea potamogeton, Myriophyllum quitense y Cladophora glomerata*
Acuática flotante	*Lemna giba*

Cuadro 3

Comunidades y especies vegetales en la isla Amantani

Comunidad	Principales especies
Pajonal reducido	*Bouteloua simplex, Pennisetum clandestinum, Sporobolus virginicus,Paspalum sp,. Eragrostis cilianensis, Festuca dolichophylla, Trifolium pratense, Medicago hispida, Distichlis humilis, Verbena litoralis, Seneci clivicolus, Oxalis corniculata, Juncus arcticus*
Herbáceas	*Cassia hookeriana, Minthostachys andina, Sipa mucronata, Viguiera pflanzii, Muehlenbeckia vulcanica, Lepidium chichicara, Bidens pilosa, Eragrostis cilianensis, Bromus catharticus, Bromus unilioides. Bryum argenteum, Marchantia polymorpha, Oxalis corniculata*
de *Cassia hookeriana*	*Viguiera pflanzii, Urtica urens, Briza monandra, Eragrostis cilianensis.*
Rupícolas	*Lecanora, Verrucaria, Tillandsia capillaris Bryum argenteum*
De zonas rocosas	*Adiantum sp., Ophioglossum crotalophoroides, Pteris sp., Minthostachys andina Stipa ichu, Eragrostis cilianensis, Cajophora horrida, Bromus unilioides, Baccharis tricuneata Ephedra americana Vulpia megalura, Aristida adscencionis, y Geranium filipesPolypodium subumbellata, Pteris sp., Asplenium fragilis, Ophioglossum crotalophoroides*
De *Cajophora cirsiifolia*	*Cajophora cirsiifolia*, asociada con *Stipa mucronata, Bidens andicola var: cosmanta, Minthostachys andina*, s *Viguiera pflanzii*
De Cactáceas	*Opuntia exaltata, Lobivia corbula, Opuntia sp. Dermatocarpon miniatum, Verrucaria sp.*
De *Adesmia* y *Margyricarpus*	*Margyricarpus pinnatus, Adesmia miraflorensis, Verbena litoralis, Verbena microphylla, Stipa mucronata, Bidens triplinerva, Stipa ichu, Bromus unilioides, Trifolium repens* y *Trifolium pratense*
De *Werneria* y *Ranunculus*	*Werneria sp., Ranunculus praemorsus, Calamagrostis vicunarum, Lupinus sp., Geranium filipes, Bidens andicola, Chenopodium ambrosioides, Tagetes mandoni y Trifolium pratense*
De *Lugonia lysimachioides*	*Lugonia lysimachioides*, asociadas con *Gnaphalium vira-vira, Minthostachys andina, Hieracium cf. padcayense.*
De Gramíneas.	*Festuca dolichophylla, Briza monandra, Stipa mucronata, Stipa brachyphylla, Aristida adscencionis y Festuca orthophylla; Quinchamalium procumbens, Eupatorium sp., Lobivia corbula.*
De *Salpichroa* y *Geranium.*	*Salpichroa hirsuta, Geranium filipes,Gnaphalium vira-vira «wira-wira, Hypseocharis bilobata, Marchantia polymorpha*
De *Buddleja coriacea*	*Minthostachys andina, Viguiera pflanzii y Eupatorium sp*
De *Ribes brachybotrys.*	*Ribes brachybotrys y Cantua buxifolia.*
De *Eucalyptus glogulus*	*Eucalyptus globulus*
Acuática arraigada	*Elodea potamogeton, Myriophyllum quitense e Isoëtes lacustres Cladophora glomerata.*

Figura 2
Asociaciones vegetales de herbáceas, arbustivas (*Buddleja coriacea*) y arboreas (*Eucalyptus globulus*), isla Amantani.

Diversidad: El indice de simpson muestra un 0.703 (70.3%).

Factores Negativos: La conservación de flora nativa se ve perjudicada por:

- Presión al habitat (antrópica).
- Sobrepastoreo; carga animal alta, que perjudica el tapíz vegetal natural
- Ampliación de las áreas de cultivo e intensidad en la actividad agrícola

Figura 3
Restos de construcciones pasadas, que le dan una característica particular atractiva, isla Taquile.

RECOMENDACIONES

- La construcción y mantenimiento de andenes constituye una estratégica de conservación de suelo, flora nativa y cultivos.
- Se tiene una vegetación representativa para procesos de conservación, con las especies *Buddleja y Polylepis*, siendo necesario implementar un plan de recuperación y forestación con estas especies nativas evitando especies introducidas, dicha actividad debe realizarse con participación de la población y del turista.
- El turismo actividad complementaría tiene un rol importante en el mantenimiento de esta diversidad, siendo necesario implementar acciones alternativas a desarrollar.
- Establecer un sistema de educación ambiental a diferentes edades, que permita la revaloración de nuestros recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

A la naturaleza por brindarnos los recursos naturales, valiosos para el sostenimiento del sistema altoandino y nuestras vidas.

A los pobladores de las islas Taquile y Amantani, por permitir la realización de nuestras actividades y su participación indispensable en el desarrollo de dicha investigación.

A las instituciones que incentivan la investigación de nuestros recursos y permiten la difusión de nuestro trabajo: Universidad nacional del altiplano, Puno y Academia Nacional de Ciencias de Bolivia.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilo et al., 1991. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología*. Edita Secretaría técnica centro de publicaciones, ministerio de obras públicas y transportes, Madrid - España.

Condori E., 1991. *Flora de los alrededores de Puno*. I Congreso Nacional de Ecología. Iquitos - Perú.

Chahuares E., Astete M. 1993. *Identificación de zonas agroecológicas para el desarrollo agropecuario de la sub región Puno*. Investigación: Órgano de Difusión de la Dirección Universitaria de Investigación. Puno – Perú.

Choquehuanca D. 1997. *Impacto ambiental de la actividad turística en la vegetación endémica de la bahía de Puno*. Universidad Mayor de San Simón. Tesis Maestría, Medio Ambiente. Cochabamba - Bolivia.

De Morales C., 1995. *Bolivia Medio ambiente y ecología aplicada*. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia.

Dejoux C. Iltis A., 1991. El Lago Titicaca; síntesis del conocimiento limnológico actual. ORTOM-HISBOL. La Paz - Bolivia.

INEI 1994. *Compendio Estadístico 1993-94. Departamento de Puno.* Dirección ejecutiva de estadísticas regionales. Lima - Perú.

Dirección Regional Agraria. 1997. *Ejecución y perspectivas de la información agrícola a nivel de unidad departamental.* Puno – Perú.

Farnsworth R. 1988. *Screeening plants for new medicines*. ed. E. O. Wilson y F. M. Peter (Eds) Biodiversity. Nacional Academy Press, Whashington D. C.

INEI. 1996. *III Censo nacional agropecuario, resultados definitivos. Departamento de Puno.* Tomos II, III y IV. Lima – Perú.

Galiano W. 1995. *El Género Polylepis en los andes del sur del Perú*. VI Congreso nacional de botánica. Cusco - Perú.

Laguna W. 1994. *Protección del medio ambiente y desarrollo sustentable de flora y fauna andina.* Memoria seminario uso y aprovechamiento de las aguas del Lago Titicaca. La Paz - Bolivia.

Liberman M., et al. 1995. *La isla del Sol en el lago Titicaca (Bolivia). Descripción de la vegetación.* II Simposio internacional desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña: Manejo de áreas frágiles en los andes. Huarina – Bolivia.

Manrique M. 1994. *Reserva de flora y fauna en el sistema TDPS*. Memoria Seminario: Uso y aprovechamiento de las aguas del lago Titicaca. La Paz – Bolivia.

Moraes M. 1993. *Botánica sistemática de plantas superiores*: UNSA. Instituto de Ecología. La Paz – Bolivia.

Mostacero J., Mejía F. 1993. *Taxonomía de fanerogamas peruanas*, 1a ed., Editorial Libertad EIRL. Trujillo – Perú.

Prochaska R. 1990. *Taquile: Tejiendo un Mundo Mágico.* Ed. Arius S.A. Lima - Perú.

Ramos B. 1987. *La economía de las unidades familiares de la isla Amantani,* Tesis: Ing. Economica. Universidad nacional del altiplano de Puno - Perú.

Rivas O. 1994. *Análisis de las Actividades turísticas en Áreas Naturales.* Chile.

Tovar O. 1990. *Tipos de vegetación, diversidad floristicas y estado de conservación de la cuenca del Mantaro,* Universidad nacional agraria la Molina, Lima - Perú.

Conservación, usos y manejo de la Totora
(Schoenoplectus tatora)

Por: *Alberto Lescano Rivero*[1]

RESUMEN

Los totorales se ubican en 7 zonas hidromórficas del Lago Titicaca sector peruano, en una extensión de 26,623 has. de suelo plano, estando expuestas a efectos climáticos, en épocas de inundación o en épocas de sequía.

El PELT desde 1992 ha recuperado y sembrado 2,984 Has en áreas hidromórficas del Lago Titicaca sector peruano, beneficiando a 62 comunidades campesinas, a las que se les ha impartido además capacitación y orientación técnica. Se ha validado la mejor técnica de reimplante. Para la plantación del totoral, la mejor época de siembra es de agosto a diciembre, iniciando con la selección del área de reimplante, limpieza, marcación, selección del mejor semillero de plántulas, aplicando técnicas del apisonado, de la piedra, de la champa y de la Lloquena.

La mala utilización de los totorales se debe a varios factores: no se permite el rebrote, hay abundante ganado vacuno, se corta sin planificación y hay poco un interés del comunero para manejar y cuidar los totorales. Sin embargo, es utilizada en diversas formas por los campesinos lugareños, principalmente en la alimentación animal, en la construcción de techos de viviendas, en la construcción de balsas de transporte y quesanas de diferente grosor, en el consumo humano, utilizando la raíz y la parte sumergida del tallo, también se usa como medicina, en la artesanía local y como sustrato.

SUMMARY

The totorales are located at 7 hydromorphic areas of the Titicaca Lake, Peruvian sector. It cover an extension of 26,623 has. of plane floor, being exposed to climatic effects, in flood times or in dry seasons.

1 Av. El Sol 839, Telf. (51 54) 352825 Fax (51 54) 352392, E-Mail: peltorg@pelt.org , Puno - Perú.

Since 1992, the PELT has recovered and cultivated 2,984 has. benefiting to 62 rural communities at the coast of the Lake. Where we have also been imparted training and technical orientation. The best reimplante technique has been validated there. For the plantation of the totoral, the best time for cultivation is from August to December, beginning with the selection of the reimplante area, cleaning, marking, selecting of the best plántulas, and by applying techniques of the rammed, of the stone, of the champa and of the Lloquena.

The bad use of the totorales is due to several factors: the regrown is not allowed, there is abundant bovine livestock who eat them, cutting without planning and there is little an interest of the comunero to manage and to take care of the totorales. However, it is used in diverse forms by the rural villagers, mainly in the animal feeding, in the construction of roofs of housings, in the construction of rafts of transport and quesanas of different diameter, in the human consumption, using the root and the submerged part of the shaft, it is also used as medicine, in the local art crafting and as sustrato.

UBICACIÓN DE LOS TOTORALES EN EL LAGO TITICACA

La presencia de totorales en áreas hidromórficas del Lago Titicaca, se presentan por efecto del nivel del suelo a la orilla del lago, los cuales cuanto mas plano sea la orilla existe la probabilidad de crecimiento de la totora y no toda la ribera del lago tiene esta característica. La presencia de la totora también esta afectada por las condiciones climáticas, en épocas de inundación o en épocas de sequía con la subida o bajada del nivel del lago la cual afecta directamente en el totoral.

Como se aprecia en el mapa, en el Lago Titicaca sector peruano se ha identificado 7 zonas principales de presencia de totora, como son las zonas de Moho, Conima, zona de Vilquechico, zona de el lago Arapa, Zona del río Ramis, Zona de Puno, Zona de Chucuito, Zona de Ilave, Zona de Pomata y Yunguyo, y Zona de Zepita y Desaguadero.

La zona de mayor área de totorales es la de Puno, Capachica, Coata, Huata y Paucarcolla, en donde existe 13,371 Has, le sigue la zona del río Ramis y la zona de Ilave, Acora y Pilcuyo que están sobre los 4.000 Has. y le sigue la zona de Arapa donde existe 1.523 Has. Las demás áreas si bien son menores todas tienen importancia socioeconómica en la población ribereña.

Resumiendo, en el Lago Titicaca sector peruano existe 26.623 Has de las cuales 14.694 son de características densas y 11.929 Has son semidensas y ralas, pero también existe la posibilidad de repontenciar 39.325 Has. que reúnen las condiciones necesarias para el reimplante.

BIOMETRÍA DE LA TOTORA

El comportamiento productivo de la totora está en función a los cambios climáticos por la presencia de las lluvias, observando un retardo en el crecimiento en los meses de mayo a agosto, presentando una coloración

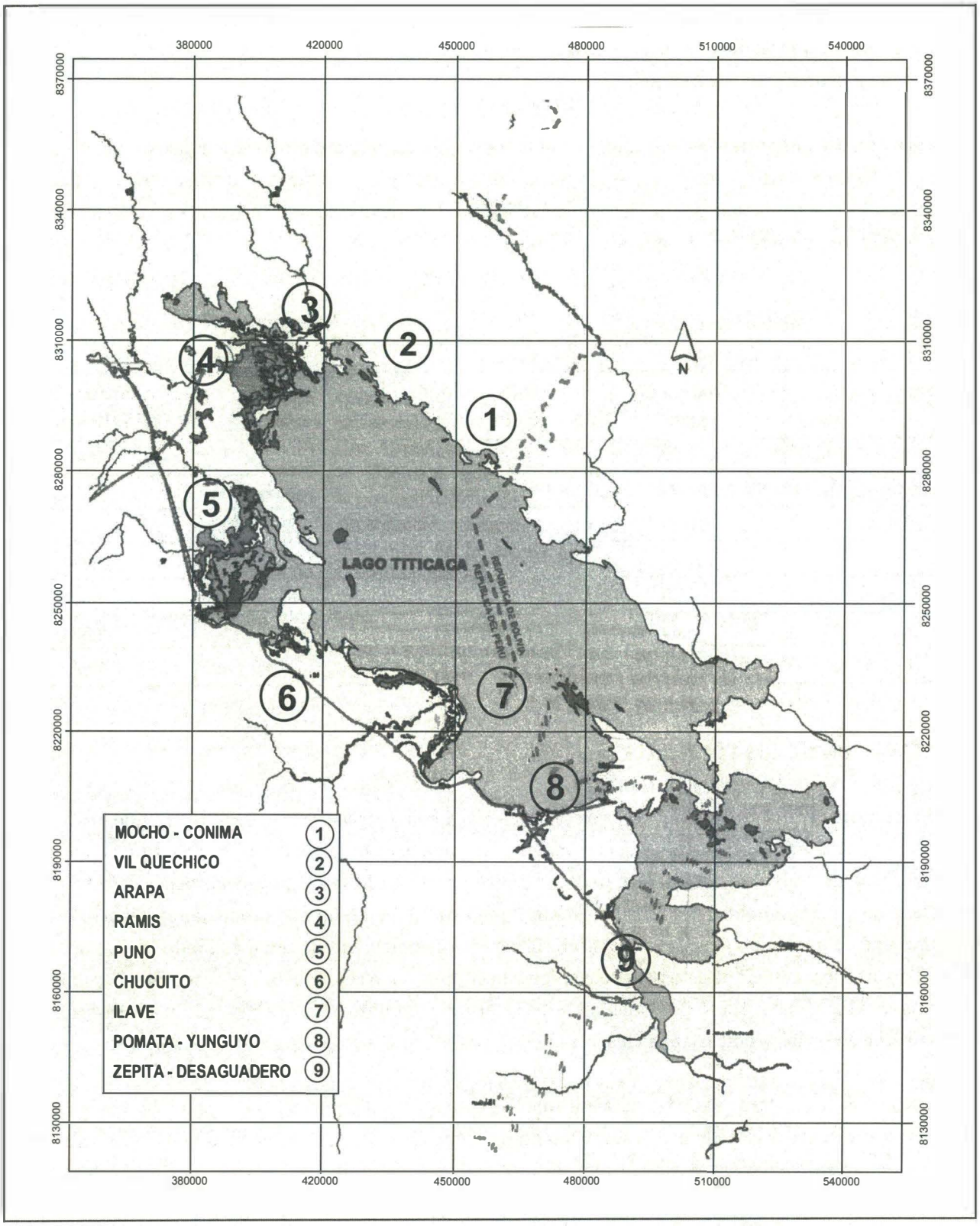


Figura 1
Áreas identificadas con cobertura de totorales.

amarillenta con tendencia a café, mientras que en los meses de septiembre a diciembre el crecimiento es normal, mientras que en diciembre a abril el crecimiento es el máximo de 1.5 cm por día la cual coincide con la estación de primavera y de lluvias.

Una característica importante de la totora es la densidad en su crecimiento, refiriéndose a la cantidad de tallos por metro cuadrado, complementado con la altura del tallo a partir del rizoma, característica que determina la mayor o menor producción y productividad. Los resultados encontrados en las evaluaciones del año 2000, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1

Características biométricas de la totora

Provincia	Producción Kg/m2	Productividad TM/Ha/año	Densidad Tallos m2	Altura de Tallos m.
Chucuito	9.60	96.00	284	1.53
Yunguyo	8.00	80.00	264	3.18
El Collao	10.60	106.00	385	1.83
Puno	11.25	112.50	345	2.37
Huancané	8.50	85.00	388	1.97
Azangaro	8.00	80.00	250	2.80
PROMEDIO	10.22	102.27	336	2.08

CONSERVACIÓN DE LOS TOTORALES

- **Plantación de los totorales.** El Proyecto Especial Lago Titicaca desde 1992 ha venido realizando actividades de manejo y conservación del ecosistema totora, incrementando las áreas de totora en las zonas hidromorficas del Lago Titicaca sector peruano, logrando hasta la fecha la recuperación de 2.984 Has. beneficiando a 62 comunidades campesinas que tienen este recurso en sus propiedades. Dentro de este programa de recuperación y manejo de los totorales se ha complementado con actividades de capacitación para el mejor uso y manejo de este recurso, así como la organización comunal con la formación de comités de manejo de totora, constituido por miembros de la propia comunidad, logrando en los últimos años la sistematización de las técnicas aplicadas.

La propagación de la totora se puede realizar mediante dos instancias fisiológicas de la planta. La propagación vegetativa que se realiza mediante la semilla sexual, la que normalmente se presenta en el Lago Titicaca, pero por condiciones adversas de clima y presencia de ganado no permite su desarrollo, además que el poder germinativo es bajo 10% lo que no permite su desarrollo eficiente.

La otra instancia fisiológica para la reproducción de la totora, es mediante la propagación asexual, la que es practicada desde los ancestros, utilizando los esquejes o plántulas que son resembradas en otros lugares.

Esta practica durante la ultima década el PELT ha logrado desarrollar las técnicas las que fueron sistematizadas de acuerdo a las condiciones dele substrato, estableciendo la calidad de la plántula a utilizar considerando el tamaño que debe ser de 20 cm x 20 cm x 10 cm, numero de yemas, rizoma, y densidad apropiada de plantación estableciendo que debe ser del tipo cuadrado, es decir 2.0 m x 2.0 m entre plántula y plántula y 2.0 m entre filas, con una densidad de 2,500 plántulas por Ha., permitiendo de este modo que en el periodo de 8 meses de siembra se logre una producción de 32 TM Ha. (80 tallos m2) y en un periodo de 24 meses alcanzar una producción de 200 TM Ha con una densidad de 375 plántulas por m2).

BIOTOPO DEL TOTORAL

Los totorales ubicados en el Lago Titicaca constituyen el medio y hábitat natural donde se desarrollan muchas especies de flora y fauna, conformando un ecosistema natural para el crecimiento de las especies, conformando a su vez una belleza paisajística que le da un mayor atractivo y condiciones socioeconómicas a las poblaciones asentadas en el lugar, permitiendo mejores posibilidades de desarrollo y bienestar familiar.

- La flora en los totorales

La totora por su característica estacional, alberga una variedad de especies de flora, las que debido a las variaciones del nivel del lago regulan la presencia de las especies las que responden de acuerdo a su ecología y fenología, motivo por la cual a la totora se le considera como principal en dominancia y ecosistema dentro de la provincia Biogeografía del Lago Titicaca. La totora presenta dos etapas de vida, una primera sumergida acuática y la otra área, compartiendo con especies acuáticas, flotantes y aéreas.

Las principales especies sumergidas que desarrollan su ciclo de vida dentro del agua son los llamados Llachos, que son el *Elodea patomogeton,* Yana Llacho, el *Patomogeton estrictus* Chilca Llacho y *Mirophylus melatinoides* el Hinojo Llacho. También se encuentra en abundancia la especie *Chara* sp. la que constituye 1 3 de toda la vegetación sumergida, la *Lemna gibba* denominada lenteja de agua, que es flotante y abunda en los lugares con procesos de eutrofización y también existen junto con la totora otras plantas inferiores, como fitoplancton, Diatomeas, Algas, etc.

- La fauna en los totorales

De acuerdo a las evaluaciones realizadas, los totorales del Lago Titicaca albergan 60 especies de aves, 15 especies de anfibios, 12 especies de peces y 18 especies de zooplancton y aun no se ha determinado con exactitud las especies de invertebrados, los que en conjunto forman un biotopo importante dentro de la cadena trófica del ecosistema, considerando que la totora juega un papel importante para la permanencia de todas estas especies que viven en ella, permitiéndoles desarrollar sus ciclos de vida, actuando como substrato, escondite, área de preproducción y alimentación, tanto de las especies nativas y las exóticas que llegan temporalmente al totoral.

Figura 2
Características del totoral Denso (promedio de 400 tallos por metro cuadrado).

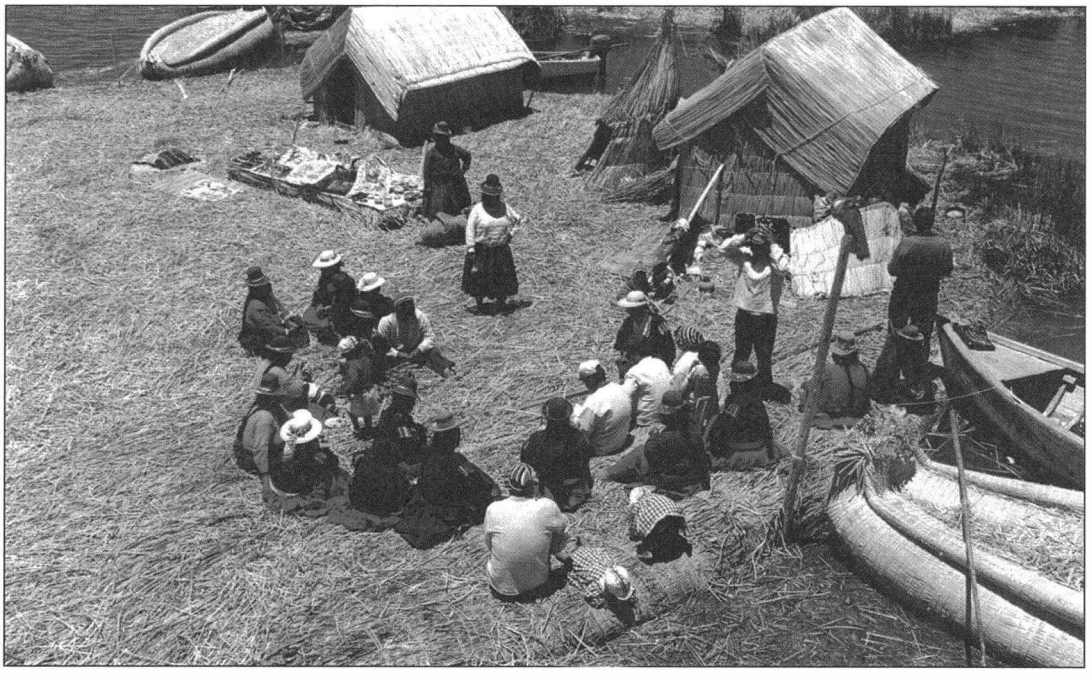


Figura 3
Reunión del Comité Comunal de Totora, planificando el manejo y usos.

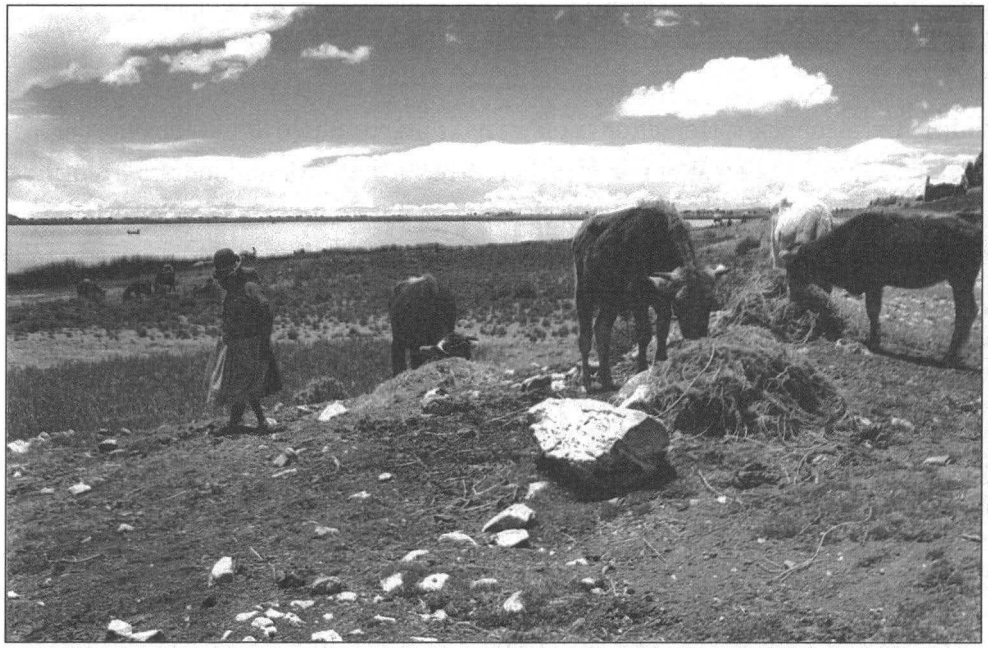


Figura 4
El Llacho que crece asociado con la totota es utilizado en la alimentación animal.

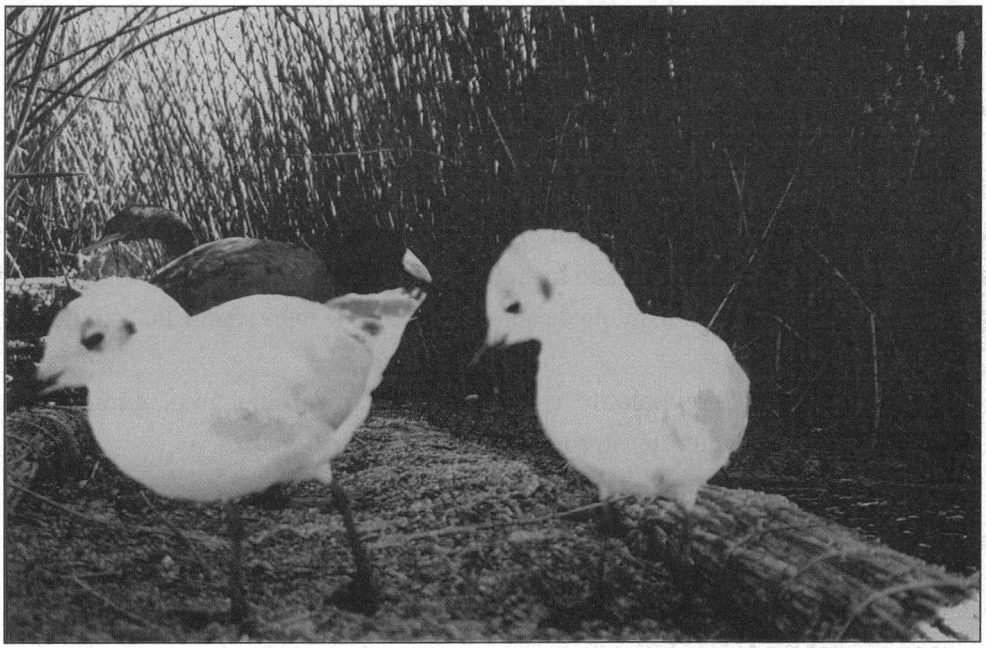


Figura 5
La avifauna en el Hábitat de la totora.

MANEJO DE LA TOTORA

Según la legislación peruana, la totora está considerada dentro de los productos forestales de importancia socio económica, la que esta sujeta a control y autorización de extracción, debiéndose realizar mediante un contrato con el Sector Agricultura.

Bajo estas condiciones, el manejo sostenido de la totora no es practicado en forma eficiente por las comunidades campesinas, debido a que no existe una coordinación estrecha entre comunidades para utilizar la totora de acuerdo a las necesidades, además que el acopio se realiza a libre criterio y de acuerdo a las necesidades del momento, sobre toda por la escasez de forrajes los que sustituyen y complementan con la totora.

El totoral, por lo general se pierde debido a que el productor realiza varios cortes al año, no permitiendo el rebrote eficiente o en otros casos no lo cosecha dejando que se madure demasiado y se pierda, dando lugar a que tenga que quemar el totoral con graves consecuencias para la estabilidad de ecosistema. El otro problema de deterioro es la presencia frecuente de ganado vacuno que consume directamente la totora, destruyendo las plántulas en rebrote y como consecuencia de las inundaciones o sequías que se presentan, destruyendo las áreas de totorales y por último en muchos casos no existe un interés de parte del comunero para manejar y cuidar los totorales, para lo cual se ha realizado campañas de educación ambiental y capacitación.

La practica de extracción de la totora, requiere de una destreza y conocimiento de las características de la totora que se desea cortar, utilizando los instrumentos adecuados, tales como la Hoz, la Rutuna y la Quinina, que se utilizan de acuerdo a la profundidad del totoral.

PLANTACIÓN DE LOS TOTORALES

Para lograr los éxitos necesarios de la plantación del totoral, se requiere ejecutar una serie de actividades, con la finalidad de lograr que la totora plantada brote y crezca en poco tiempo, considerando que la mejor época de siembra es a partir del mes de agosto hasta diciembre, considerando que en esa época el nivel del lago es menor y existe disponibilidad de mano de obra comunal y se debe seguir las siguientes actividades.

- Seleccionar el área de reimplante, realizando una limpieza del área, eliminando los Llachos y otras especies que pudieran estorbar el crecimiento de la totora.
- Marcar el área seleccionada para la siembra, utilizando estacas o postes de los cuales se tesa un cordel para alinear las plántulas, de tal manera que se forme el cuadrado 2.0 x 2.0 x 2.0 m.
- Seleccionar el mejor semillero para la extracción de las plántulas, las que deben ser vigorosas para permitir su crecimiento y desarrollo.
- Una vez que se tenga la plántula fresca, máximo de 24 horas, se procede a la siembra propiamente dicha, para lo cual se puede aplicar diferentes técnicas, que se aplicarán de acuerdo principalmente a la profundidad del agua y disponibilidad de materiales y herramientas, las que pueden ser:

- Técnica del apisonado 0.0 - 0.8 m
- Técnica de la piedra 0.8 - 1.50 m.
- Técnica de la champa 0.8 - 1.50 m.
- Técnica de la Lloquena 1.00 - 1.50 m.

Figura 6
Plantación de totora ejecutada por la comunidad.

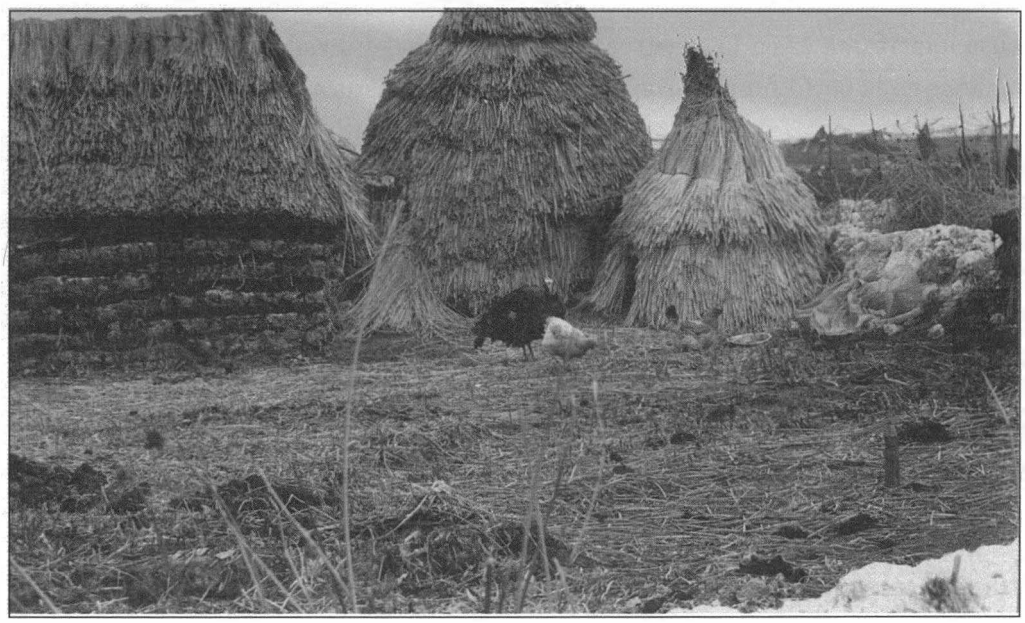


Figura 7
Uso de la totora en la construcción de viviendas.

El distanciamiento de plántula a plántula debe ser de 2.00 m y de fila entre fila de 2.00 m, logrando una densidad de 2,500 plántulas por Ha.

USOS DE LA TOTORA

La totora, es una ciperácea que crece en forma natural en la orilla del lago Titicaca principalmente, siendo una de las especies vegetales mas utilizada en diversas formas por los campesinos lugareños, de los cuales se puede mencionar las siguientes:

- En la alimentación animal, en forma fresca y verde, utilizada para el engorde de ganado vacuno, ovino y animales menores, además de vacas en producción. Es importante como alimento, por que contiene 12 a 29% de materia seca, 5 a 12 % de proteína bruta, 18 a 39% de fibra bruta, 6 a 9 % de cenizas, 1.0 a 2.5 % de grasa, además contiene ciertos niveles de Calcio, Magnesio, Fósforo y Yodo. Los niveles de digestibilidad sobrepasa el 60% dependiendo de la parte morfológica consumida.

- La totora normalmente se suministra al ganado combinando con Llacho, en una combinación de 6.0 Kg por 2.00 Kg respectivamente y en muchos casos se utiliza sub productos de cosecha, tales como pajas y broza de cebada y avena que son los cultivos sembrados en la ribera del lago.

- La importancia de la utilización de la totora como alimento, radica en el hecho que un vacuno engordado con totora tiene mejor rendimiento y calidad de carcasa, que no merma después del sacrificio, motivo por la cual la mayor concentración de ganado vacuno del departamento de Puno se encuentra en el anillo circunlacustre del Lago 224.000 cabezas que representan el 38% de la población.

- Otro uso importante es en la construcción de viviendas, utilizado para la confección de los techos, combinando en la parte superior con paja de chillihua o festuca.

- En la construcción de balsa de transporte y quesanas, que son las mas conocidos para el uso de transporte y otros que se le da a las quesanas que son confeccionadas de diferente grosor de acuerdo al uso.

- En el consumo humano, utilizando la raíz o Sa'qa y la parte sumergida del tallo denominado Chullo, alimentos que contiene alto porcentaje de yodo y es agradable para su consumo.

- Como medicina, es utilizada para evitar el bocio por el contenido de yodo, la raíz es utilizada para curar tumores consumido en forma de infusión, cenizas del tallo se utiliza para borrar cicatrices en la piel, y curar heridas y la flor o chumi es utilizada para aliviar dolores y curación de la gripe.

- Se utiliza en infinidad de modalidades, como es la artesanía y como sustrato.

Figura 8
Uso de la totora en la confección de las quesanas utilizadas en el hogar.

Figura 9
S'aqa y chullo, partes de la totora con fines de alimentación humana.

BIBLIOGRAFÍA

PELT - ALT - PNUD.- Evaluación de la Totora en el Perú. Estudio 21.02, Puno, Marzo del 2000

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE. Programa de desarrollo sostenido de totorales. Documento informe Puno - Perú, 1996

PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA.- Superficie y biomasa de los totorales en el lago titicaca e influencia del nivel del lago. Puno, Perú, 1993.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS.- Plan Director Global Binacional de'Protección - prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del sistema TDPS.- Estudio del Medio Natural. Volumen N° 10. 1993- Perú -Bolivia.

LEVIEL, D.; ORLOVE, B.- El Lago Titicaca. Puno, Perú. 1991.

Informe preliminar de la reactualización de la información de ictiofauna del Lago Titicaca

Por: *Francisco Osorio y Jaime Sarmiento*[1]

RESUMEN

No se han encontrado diferencias en la comparación de la evaluación de parámetros biológicos (sex ratio, talla de madurez sexual, periodos de reproducción, factor de condición (K) y alimentación) obtenidos entre 1979 y 1981 por el convenio UMSA - ORSTOM con idénticas evaluaciones auspiciadas por RAMSAR entre 1995 y 1996. El análisis incluye dos especies endémicas, el carache negro (***Orestias agassii***) y el punkhu (***Orestias luteus***); además del pejerrey (***Basilichthys bonariensis***) especie introducida.

Sin embargo, haber comparado estos parámetros, con más de 10 años de diferencia y no haber encontrado diferencias, no se interpretaría como si estas poblaciones de peces estuvieran siendo afectadas por diversos impactos antropicos que ocurren en el lago Titicaca. Las tres especies evaluadas no han tenido rendimientos similares de captura, durante el convenio UMSA - ORSTOM el carache negro (***O. agassii***) era la especie más numerosa, superando ampliamente al punkhu (***O. luteus***) y el pejerrey (***B. bonariensis***). Este informe RAMSAR ha evaluado 1100 ***O. luteus***, 858 ***O. agassii*** y 759 ***B. bonariensis***.

SUMMARY

They have not been differences in the comparison of the evaluation of biological parameters (sex ratio, size of sexual maturity, periods of reproduction, condition factor (K) and feeding) obtained in 1979-1981 by the agreement UMSA–ORSTOM with identical type of evaluations by RAMSAR project between 1995 and 1996. The analysis includes two endemic species, the carache (***Orestias agassii***) and the punkhu (***Orestias luteus***); and the pejerrey (***Basilichthys bonariensis***) introduced species.

[1] Colección Boliviana de Fauna. Telf.: (591 2) 2795364. E-mail: iecbf@ceibo.entelnet.bo. La Paz - Bolivia.

However, to have compared these parameters, with more than 10 years of difference and do not have found significant differences, it would not be interpreted as if these populations of fish were not being affected by the diverse impacts anthropogenic that has been happening at the Titicaca lake. The evaluated species have not had a similar yield of capture, during the work of the agreement UMSA-ORSTOM, the species ***O. agassii*** were the most abundant, overcoming in a lot the fishings of ***O. luteus*** and ***B. bonariensis.*** In this report the number of samples evaluated through the RAMSAR Project was: 858 samples from O. ***agassii, 1166*** from ***O. luteus*** and ***759*** from ***B. bonariensis.***

INTRODUCCIÓN

Con apoyo de RAMSAR entre 1995 y 1996 se ha investigado la ictiofauna del lago Titicaca, como parte de este estudio se evaluó cinco parámetros: sex ratio, talla de madurez sexual, periodos de reproducción, factor de condición (K) y alimentación, que se comparan con los obtenidos entre 1979 y 1981 a través del convenio UMSA – ORSTOM. Este análisis incluye dos especies endémicas, el carache (***Orestias agassii***) y el punkhu (***Orestias luteus***); además del pejerrey (***Basilichthys bonariensis***) especie introducida.

MÉTODOS

Las localidades y el esfuerzo de pesca fueron similares a los utilizados por el convenio UMSA – ORSTOM; en el lago Menor 3 localidades (Toqueriri, Taraco y Silaya), y en lago Mayor otras tres (Yumani, Parajachi y Santiago de Huata). La captura de peces fue a través de una batería de redes agalleras experimentales (8 mm, 10 mm, 12 mm, 15 mm). Para todos los casos los datos se han analizado considerando el lago Mayor y el lago Menor por separado y finalmente para el conjunto del lago Titicaca.

- Sex Ratio

Para el Sex ratio se ha realizado la observación directa de gónadas, expresado como el porcentaje de machos en relación al conjunto de machos y hembras.

- Talla de Madurez Sexual

Se determino la talla de madurez sexual cuando en una determinada talla se encontró el 50 % de individuos sexualmente maduros. Se ha considerado seis estados de madurez para las hembras, inmaduras en los estados 1 y 2 (H-) y hembras maduras los estados 3 a 6 (H+). En los machos son tres estados sexuales, inmaduros estado 1 (M-), y maduros los individuos en estado 2 y 3 (M+) (Loubens et al 1984).

- Periodo de Reproducción

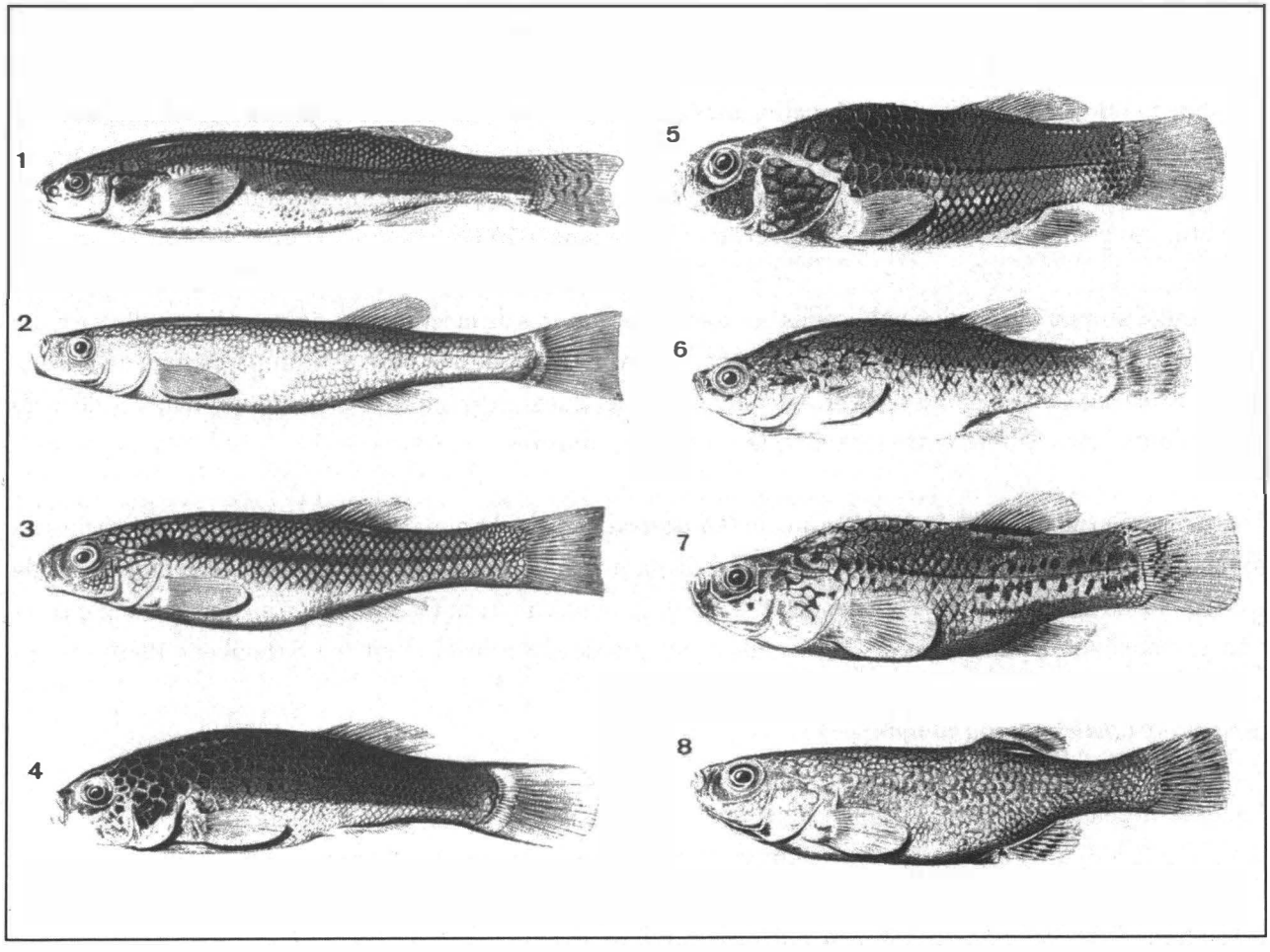
Para el análisis de los periodos de reproducción se ha considerado seis bimestres, de enero - febrero hasta noviembre – diciembre. Para cada periodo se ha calculado los porcentajes de individuos en estado de reproducción; hembras 3 - 6 (H+) y machos 2-3 (M+)

- **Índice de Condición**

El índice de condición o estado de gordura ha sido estudiado para las tres especies: ***O. agassii, O. luteus*** y ***B. bonariensis*** utilizando el índice de condición $K= 10^5P/L^3$ donde: P es el peso en dg y L la longitud estándar en mm (Loubens y Sarmiento 1985; Loubens 1989).

- **Alimentación**

El régimen alimenticio fue estudiado en individuos seleccionados aleatoriamente durante las diferentes campañas de pesca, con una lupa binocular y contenidos frescos. Considerando un análisis cualitativo se ha utilizado el método de ocurrencia, con el número de estómagos que contienen un determinado ítem se ha calculado el porcentaje correspondiente. Se incluyó evaluaciones para determinar posibles variaciones por sexo y por talla, considerando seis clases de tamaño, con intervalos de 30 mm, entre 20 y 200 mm.



Principales Orestias del Lago Titicaca.
(1: *O. pentlandii;* 2: *O. ispi;* 3: *O. forgeti;* 4: *O. agassii;* 5: *O. luteus;* 6: *O. olivaceus sensu* Lausanne, 1982; 7: *O. albus juvenile;* 8: *O. mulleri*).

RESULTADOS

1. Sex Ratio

a) ***O. agassii*** (carache negro)

En ***O. agassi***, en general se puede observar que a partir de un porcentaje de machos bastante elevado, próximo pero menor a 50%, se produce su disminución machos que se hace muy débil entre los 110 y 140 mm de LS, posteriormente es prácticamente nulo en tallas más grandes. El análisis del sex-ratio para el lago Menor y lago Mayor en forma separada, muestra en general variaciones similares. Cuando se analiza los datos sin diferenciar por talla, se observa que existen significativamente menos machos (41.74%) que hembras, y que esta diferencia se acentúa con la talla.

b) ***O. luteus*** (punkhu)

En el caso de ***O. luteus*** se observa que a partir de un porcentaje de machos bastante elevado, próximo pero superior a 50%, se produce una disminución en el porcentaje de machos que se hace muy débil entre 126 y 140 mm de LS y, posteriormente, es prácticamente nulo para especimenes más grandes. El análisis del sex-ratio para el lago Menor y lago Mayor en forma separada, muestra en general variaciones similares. Cuando se analiza los datos sin diferenciar por talla, se observa que, aunque existen menos machos (48.80%) que hembras, en general la proporción es relativamente próxima a 50%.

Resultados similares han sido publicados por diferentes autores de la ictiofauna nativa del lago Titicaca. La mayoría de las especies presenta una evolución similar del sex-ratio: a partir de un porcentaje de machos bastante elevado, alrededor de 50 % en los individuos más chicos, se produce una disminución hasta alcanzar valores muy bajos o nulos entre los individuos de tallas mayores.

Loubens & Sarmiento (1985) señalan que en ***O. agassii***, hasta 80 mm de LS, la proporción de machos es aproximadamente 42%, entre 80 y 110 es 34% y disminuye hasta 14% en individuos de 140 mm; a partir de los 155 mm de LS, solo se registran hembras. Un caso similar ocurre con ***O. luteus*** que hasta 95 mm mantiene una proporción próxima a 50%, disminuyendo rápidamente al 8% en 115 mm de LS (Loubens 1989).

c) ***Basilichthys bonariensis*** (pejerrey)

La identificación del sexo fue posible a partir de los 51 y 75 mm de LS en machos y hembras. Según Loubens & Osorio (1988) en ***B bonariensis*** la talla en que se reconoce el sexo es 150 mm de LS.

Considerando los lagos Menor y Mayor, entre los individuos jóvenes se encuentran más machos que hembras, entre 180 y 240 mm la proporción entre sexos es similar. El porcentaje de machos continúa descendiendo hasta un mínimo de 10% a tallas mayores. En tallas mayores a 300 mm, hay un macho por cuatro hembras, y a 370 mm la proporción es de 7 hembras por un macho.

Entre 150 a 275 mm de LS, se presenta una paridad de hembras y machos. A mayores tallas el porcentaje de machos decrece, a mayores a 300 mm de LS, la proporción de machos es de menos del 20%-(es decir solo un macho por cada cuatro hembras).

Según Loubens & Osorio (1988) indican que en los individuos jóvenes hay netamente más machos que hembras, luego hay paridad entre los 180 mm y 240 mm. Seguidamente el porcentaje de machos continua disminuyendo hasta un mínimo de 10%, después del cual hay un leve incremento que sin embargo estadísticamente no es significativo debido al número limitado de observaciones.

2. Tallas de madurez sexual

a) ***Orestias agassii*** (carache negro)

LAGO MENOR

La Talla de madurez sexual para hembras de ***O. agassii*** en el lago Menor se ha establecido en la talla de 56 LS (57%). En los machos la talla de madures sexual es menor, respecto a las hembras, el 93 % de machos a partir de 41 m de LS están ya maduros. A partir de esta talla la presencia de machos maduros es alta, superando permanentemente el 75 %.

LAGO MAYOR

En hembras del Lago Mayor, determinar la talla de madurez sexual es difícil, las tallas pequeñas no están bien representadas. Se observa una tendencia de hembras maduras a partir de 61 mm (66 %). La situación de los machos es similar, las capturas de tallas pequeñas es baja. Del mismo modo que en el lago Menor, los machos maduran prematuramente que las hembras.

Según Loubens & Sarmiento (1984) los ***O. agassii*** del lago Menor alcanzan la talla de madurez sexual a los 60 mm los machos y de 65 mm (LS) las hembras. En el lago Mayor los resultados indican una talla poco menor para hembras (60 mm).

b) ***Orestias luteus*** (punkhu)

LAGO MENOR

La Talla de madurez sexual para hembras de ***O. luteus*** en el lago Menor se ha establecido en la talla de 91mm LS (54%), con un comportamiento similar al de ***O agassii***. En los machos la talla de madurez sexual es menor, respecto a las hembras, el 93 % de machos a partir de 41 mm de LS están ya maduros. A partir de esta talla la presencia de machos maduros es alta, superando el 75%.

LAGO MAYOR

Para hembras del lago Mayor, determinar la talla de madurez sexual es difícil, las tallas pequeñas no están suficientemente bien representadas. Sin embargo, se observa una tendencia de hembras maduras a partir de 61 mm (66 %). La situación de los machos es similar a las hembras, las capturas de tallas pequeñas fue baja y no están bien representadas, De igual manera que en el lago Menor, muestran una tendencia a madurar más prematuramente que las hembras. Para ***O. luteus***, Loubens (1989) reporta una talla de madurez sexual de 75 mm para machos y 82 mm para hembras.

c) ***Basilichthys bonariensis***

Para hembras de pejerrey se constata que todos los individuos de más de 350 mm muestran signos claros de gametogénesis en cualquier período del año. Los porcentajes en función al tamaño dan tallas de madurez sexual de 280 mm para hembras y 180 mm para machos. Las tallas mínimas de maduración son 210 mm para hembras y 140 para machos. La hembra inmadura más grande fue de 344 mm, por lo que el intervalo de maduración para hembras se encuentra entre 201 y 344 mm.

Loubens & Osorio (1988) indican procesos gametogénicos en cualquier estación del año y reportan la talla de madurez sexual de 280 mm y tamaño mínimo de maduración en 201 mm para las hembras de pejerrey, en el caso de los machos consideran la talla de madurez sexual de 180 mm y tamaño mínimo de maduración en 140 mm.

3. Períodos de reproducción

a) ***Orestias agassii*** (carache negro)

Se analizaron 500 hembras de carache negro (***O. agassii***), 316 del lago Menor y 184 del lago Mayor. Primero fueron analizadas mayores a 100 mm y posteriormente desde 40 mm de LS. En machos se analizaron 358 individuos, 143 del lago Mayor y 215 del lago Menor, inicialmente individuos mayores a 85 mm y posteriormente incluyendo desde 40 mm de LS.

LAGO MENOR

En hembras mayores a 100 mm la reproducción es alta durante todo el año, con más intensidad entre marzo y octubre con un pico en marzo-abril, y con menos intensidad entre noviembre-diciembre. Los estados sexuales 4, 5 y 6, es decir próximos o en reproducción, son altos todo el año. Si se consideran hembras estado 5 podemos notar un máximo entre septiembre y febrero (38 a 44 %) con individuos con óvulos maduros y un mínimo en mayo-junio (23%).

Como en el caso de las hembras, en los machos >85 mm, se observa la presencia de una alta proporción de individuos maduros (> 75%) durante todo el año. La proporción es en general mayor al 93% con un mínimo de 75% en el período mayo junio.

Considerando todas las hembras (40-189 mm de LS) se observa un máximo de reproducción en dos periodos (mayo-junio y septiembre-octubre) con uno de transición (enero-febrero). Los mínimos se producen en los bimestres marzo-abril y noviembre-diciembre, con un periodo de transición, julio-agosto.

Cuando se considera el total de machos (47 a 178 mm LS) se observa una alta proporción de individuos en reproducción en los periodos de julio agosto a noviembre diciembre y un mínimo entre enero y junio (75 y 80%).

LAGO MAYOR

En el Lago Mayor, hembras mayores a 100 mm con el máximo de individuos en reproducción se encuentran en períodos de mayo-junio hasta septiembre-octubre, con un mínimo en períodos noviembre-diciembre hasta marzo-abril. Sin embargo, como en el caso del lago Menor la proporción de hembras maduras es siempre alta, mayor a 60%. La situación es más acentuada en los machos >85 mm, en los que se encuentra todo el año una proporción mayor a 95%.

Considerando todas las hembras (43-172 mm LS) se observa un máximo entre marzo y agosto, y un mínimo de septiembre a febrero. La proporción de hembras maduras es mayor a 40% todo el año. En el caso de los machos (43-143 mm LS) la proporción es alta durante todo el año, con un mínimo de 94% en noviembre-diciembre.

Según Loubens y Sarmiento (1985) la proporción de hembras entre los estados 4, 5 y 6, es decir en reproducción o próximo a la reproducción es alta durante todo el año, variando alrededor del 75 % en el lago menor. Considerando las hembras en estado 5 se presenta un máximo de julio a octubre (55 a 60%) de individuos con huevos maduros y un mínimo en noviembre-diciembre con solo 25%. En consecuencia el periodo de reproducción dura todo el año con variaciones estacionales débiles de intensidad, y un máximo de julio a octubre. Además consideran que la evolución genital de una hembra comprende un paso único por los estado 1 y 2, seguidos de una serie de ciclos 3,4, 5 y 6 y retorno al estado tres, de manera interrumpida hasta la muerte.

b) Orestias luteus (punkhu).

Se han analizado 597 hembras de ***O. luteus*** para todo el lago Titicaca, 173 corresponden al lago mayor y 424 al lago menor. Se realizaron dos análisis considerando inicialmente solo hembras mayores a 100 mm de LS, posteriormente los análisis incluyen todas las hembras.

LAGO MENOR

Cuando se analizan hembras mayores a 100 mm (104 individuos), la reproducción es alta durante todo el año. Presentan alta intensidad, incluyendo tres períodos, enero – febrero, julio – agosto y septiembre octubre,

durante los cuales la proporción de hembras en reproducción es mayor a 90 % y desciende a 73,6 % en el periodo noviembre – diciembre.

Analizando dos grupos de machos, individuos de LS mayor a 85 mm y todos los individuos se observa que los individuos >85 mm, presentan una alta proporción de individuos maduros (>90% durante todo el año). La proporción más baja (90%) se registra durante el período de julio-agosto.

Cuando se analizan todas las hembras (419 individuos) la reproducción es moderada durante todo el año, con mayor intensidad entre enero y junio, próxima al 59 %, y con menor intensidad (23,6 %) entre julio y diciembre.

En el caso de todos los machos, se observa entre septiembre y junio una proporción superior a 97% de machos se encuentran en reproducción. Durante el período julio-agosto, la proporción desciende hasta 91%, permaneciendo muy alta.

LAGO MAYOR

Las hembras de ***O. luteus*** mayores a 100 mm (126 individuos) presentan una reproducción alta durante todo el año, con mayor intensidad entre marzo y octubre (90%), descendiendo en el periodo noviembre – diciembre (78,9 %).

Como en el caso del Lago Menor, en el Lago Mayor los machos han sido analizados en dos grupos: individuos de LS mayor a 85 mm y todos los individuos. Entre los machos >85 mm, se observa la presencia de un 100% de individuos maduros durante todo el año.

Cuando se observa los análisis de todas las hembras (173 individuos) la reproducción es alta durante todo el año, con mayor intensidad entre enero y agosto (85,7 %) y en menor intensidad entre septiembre y diciembre (76,6%). Cuando se analizan todos los machos, se observa que la proporción alcanza al 100% durante el período de enero a agosto, con proporciones de 95% el resto del año (septiembre-diciembre).

En consecuencia para ***O. agassii*** y ***O. luteus*** se puede concluir que el periodo de reproducción cubre todo el año con variaciones estacionales débiles. En otras especies de ***Orestias***, la situación es similar que se caracteriza por una sucesión ininterrumpida de las fases 3-6, desde que se alcanza la madurez sexual hasta la muerte (Loubens 1989)

c) Basilichthys bonariensis

No se ha encontrado dimorfismo sexual externo. El sexo y el estado sexual son reconocidos por examen de las gónadas con la ayuda eventual de un microscopio. El reconocimiento es posible entre aproximadamente los 51 y 75 mm de LS en machos y hembras

Se han analizado 412 hembras de pejerrey (***B. bonariensis***), 231 del lago Mayor y 182 del Menor. Inicialmente los análisis consideraron hembras mayores a 300 mm y posteriormente todas las hembras, entre 51 - 475 mm de LS. En el caso de los machos se han analizado 346 individuos correspondiendo al lago Mayor 216 y 130 al lago Menor.

LAGO MENOR

En hembras mayores a 300 mm los estados de inmadurez (1 y 2) no han sido observados a lo largo del periodo de estudio. La proporción de madurez más baja es para el estado 3 (8,7 %), mientras para los estados 4-6, es decir en estado de reproducción o próximas a la reproducción, llega a 91,3 %.

Cuando se analizan machos de pejerrey mayores a 300 mm de LS (7 individuos) se observa el 100% de machos maduros (estados 2 y 3) en tres períodos (marzo-abril, julio agosto, noviembre diciembre). En machos mayores a 300 mm de LS, el estado 1 (inmaduro) no han sido encontrado.

Cuando se analizan todas las hembras del lago Menor (182 individuos) se observa un incremento en la intensidad de reproducción en el periodo julio – agosto con una proporción de 50 %. Sin embargo, los estados de inmadurez sexual 1 (H-) llega a 47, 2 %. Hembras en "franco" proceso de maduración 3 (H+) la proporción es 14,3 %. Si se considera a todas las hembras en estado de reproducción o próximas a la reproducción H+ (4 - 6), la proporción es 25,8 %.

En machos de pejerrey del lago Menor (130 individuos) se observa una alta proporción de individuos en reproducción durante todo el año, excepto en el período septiembre-octubre que registra solo el 6.25 % de individuos en reproducción. Sin embargo, los estados de inmadurez sexual 1 (M-) llegan a 22.3%. Si se considera a todos los machos en estado de reproducción o próximos a la reproducción 2-3 (M+), la proporción es 77.3%.

LAGO MAYOR

Cuando se consideran solo hembras mayores a 300 mm (15 individuos) se observa que la reproducción es pobre durante todo el año, con mayor intensidad en el periodo julio – agosto (80%). Es importante indicar que no se obtuvieron pescas de hembras de pejerrey en los periodos enero – febrero, marzo – abril y noviembre – diciembre. No se han obtenido hembras inmaduras en estado 1(H-), sin embargo la proporción de hembras en el estado 2 llega a 6,6 %. Observamos que la proporción de hembras en "franco" proceso de maduración (estado 3) es 33,3 % y para hembras próximas o en reproducción (H+) el porcentaje sube a 60 %. En el lago Mayor durante el año de estudio no se han capturado machos de pejerrey mayores a 300 mm.

Cuando se analizan todas las hembras del lago Mayor (231 individuos) se observa un incremento en la intensidad de reproducción en dos periodos, mayo - junio y julio – agosto en ambos casos con 17 %. Sin embargo, los estados de inmadurez sexual 1 (H-) llega a 74 %. Hembras en "franco" proceso de maduración

3 (H+) la proporción es 9 %. Si se considera a todas las hembras en estado de reproducción o próximas a la reproducción (estados 4 - 5), la proporción es 9 %.

En el caso de todos los machos de pejerrey (216 individuos) se observa una alta proporción de individuos en reproducción durante todo el año. Noviembre – diciembre es el periodo con menos individuos reproductivos (26%). Los estados de inmadurez sexual 1 (M-) llegan a 58%. Si se considera todos los machos en estado de reproducción (M+) o próximos a la reproducción (estados 2 -3), la proporción es 42 %.

Si consideramos el análisis del total de hembras del lago Mayor y Menor (414 individuos), la reproducción es baja a lo largo del año. Durante mayo-junio se observa la mayor proporción de hembras en reproducción o próximas a la reproducción (33 %), descendiendo a 6 % en enero-febrero. En todos los periodos excepto mayo-junio (0%) se observa hembras en estado inmaduro (H 1) alcanzando porcentajes de hasta 71 % en dos periodos (mayo abril y noviembre diciembre) mientras que durante el periodo julio agosto el 12 % corresponde a hembras en "franco" proceso de madurez (estado 3).

Cuando se analizan todos los machos (346 individuos) se observa que la proporción de individuos en reproducción (M+) es relativamente más alta durante el año, el período de septiembre octubre es el más bajo (24%), alcanzando un máximo (85%) en mayo – junio. Machos inmaduros (M-), estado 1 se encuentran durante todo el año en más del 15 % con un máximo en septiembre-octubre con 76 %.

Como en el caso de ***O. agassii***, los diferentes ciclos de maduración individual no son sincronizados en razón de la constancia de los principales parámetros físico químicos, climáticos y biológicos. Entre óvulos maduros, se encuentran oocitos en maduración, lo que parece indicar que un segundo ciclo anual es posible ya que el proceso de maduración en peces por lo general dura algunos meses (Loubens & Osorio 1988).

4. Factor de condición

a) ***O. agassii*** (carache negro)

LAGO MENOR

Se ha observado que variaciones del factor de condición (K) en función de la talla son notables, acentuadas y variables con las estaciones (lluviosa y seca), además que no existe diferencia entre machos y hembras, también se constató que no ocurre ningún ciclo estacional del índice de condición, cualquiera que sea el grupo de talla considerado y la región.

LAGO MAYOR

En el lago Mayor las variaciones del factor de condición de ***O. agassii*** es similar a lo que ocurre en el lago Menor, sin embargo, los promedios son mayores y se advierte que las tallas mayores se ajustan más a los promedios de las tallas más pequeñas.

b) O. luteus (punkhu)

LAGO MENOR

El factor de condición de ***O. luteus*** presenta promedios más altos que los reportados para ***O. agassii***, sin embargo el comportamiento es similar, las variaciones de K en función de la talla son notables, acentuadas y variables con las estaciones (lluviosa y seca).

LAGO MAYOR

Las variaciones del factor de condición de ***O. luteus*** en el lago Mayor tiene un comportamiento similar que en el lago Menor, sin embargo, es notoria una mayor variación respecto a los promedios mensuales.

En general se observa que para las dos especies de ***Orestias***, la condición no varía con el sexo, y tampoco existen variaciones estacionales significativas probablemente en función de la estabilidad ambiental y a la modalidad de reproducción.

El estado de gordura (K) estudiado para ***O. agassii*** (Loubens & Sarmiento 1985) y ***O. luteus*** (Lauzanne 1982) consideran que el coeficiente no varía con el sexo y de manera general permanece estable durante todo el año para una región dada. Según estos autores esta estabilidad podría deberse a factores ambientales constantes del medio, como también a la modalidad anual de reproducción (puestas fraccionadas escalonadas en el año y ausencia de sincronización de los ciclos individuales). Sin embargo un estudio regional más específico resalta, para una especie dada, muestra pequeñas variaciones del coeficiente de condición, esto sugiere que estas variaciones podrían ser de origen genético. Habría, en estos peces poco móviles, panmixia incompleta con principio de diferenciación de los stocks génicos (Lauzanne 1991).

Loubens y Sarmiento 1985, observaron que las variaciones de K en función de la talla son siempre notables, a veces acentuadas y además variables con las estaciones (lluviosa y seca). Se encontró además que no existe diferencia entre machos y hembras en lo que se refiere al índice de condición, también se constató que no se encuentra ningún ciclo estacional del índice de condición cualquiera que sea el grupo de talla considerado y la región. Variaciones locales del índice de condición pueden presentarse, sugiriendo la presencia de variaciones fenotípicas locales (Loubens 1989).

c) Basilichthys bonariensis

LAGO MENOR

Los estudios están más completos para el lago Menor. No aparece ningún ciclo de la condición, aun si algunas muestras tienen un promedio significativamente diferente de otras. Estas heterogeneidades pueden ponerse a cuenta de muestras muy pequeñas con respecto a la variabilidad bastante fuerte del parámetro. El índice global de condición muestra en particular una notable estabilidad de octubre de 1979 a diciembre

1980. Para ejemplares grandes, los resultados son incompletos pero no dejan de vislumbrar ninguna variación importante. Se encuentra pues para ***B. bonariensis*** la estabilidad de la condición ya puesta en evidencia para una especie de biología diferente, ***O. agassii*** (Loubens y Sarmiento 1985). Esta estabilidad y el escalonamiento para el año entero del periodo de reproducción son características biológicas muy raras, reflejos de condiciones de medio particularmente constantes que aparentemente sólo han sido encontradas en los lagos del Este africano (Loubens y Sarmiento, op. cit.).

LAGO MAYOR

Para el lago Mayor, los resultados son incompletos, sin embargo, muestran una tendencia a un mejor peso con relación a los peces del lago Menor, a partir de 150 mm. Los pejerreyes pelágicos grandes del lago Mayor dispondrían de presas abundantes en bancos de ***Orestias ispi***, pequeña especie pelágica viviendo habitualmente en aguas profundas y así raramente presente en la parte meridional del lago Menor. Se observa que K varía fuertemente con la talla, pasando de 1,11 para un individuo de 150 mm hasta 1,44 para un individuo de 400 mm. Los resultados de K muestran que no existen diferencias entre sexos. No parece que existan variaciones notables durante el ciclo anual.

5. Alimentación

a) ***O. agassii*** (carache negro)

En ***O. agassii*** se han identificado 11 ítems alimenticios. El ítem dominante son anfípodos, en 67.3% de los individuos observados. Los chironomidos se encuentran entre los más consumidos con 24.6%, las macrofitas con el 21.5%, cladoceros con 20.83% y algas con 19.9%. Los restantes ocho ítems se encuentran en proporciones más reducidas usualmente menores al 7%.

Generalmente son los mismos ítems dominantes cuando se analiza en función al sexo, regiones y talla. Sin embargo en tallas menores (21 - 50 mm) la proporción de anfípodos (57.14%) es notablemente inferior a la que se presenta en individuos de tallas superiores-que alcanza al 74% (51 - 200 mm). En tallas menores se presenta el incremento en el consumo de ítems como ostrácodos (33.3%) y chironomidos (42.8%).

Se han encontrado diferencias entre contenidos del lago Mayor y el lago Menor, con un aumento notable de la proporción de estómagos con cladóceros (30.8%) y algas (31.78%) en el lago Mayor, mientras en el lago Menor son 7.2% y 3.8% respectivamente, y de macrofitas 35.2% en el Lago Menor, mientras en el LAGO MAYOR llegan al 11.5%.

Cuando se compara los contenidos por sexo la diferencia es mínima y se presenta principalmente en los ítems menos frecuentes, en el lago Menor y Mayor lo más significativo es el mayor consumo de ovas por parte de machos, mientras los hemípteros son más consumidos por hembras, aunque esta diferencia es mas estrecha.

La alimentación de ***O agassii*** es variada incluyendo ítems de pequeña talla, animales o vegetales, presentes en la cintura vegetal y puede ser considerado eurífago.

Loubens y Sarmiento (1985) han estudiado el régimen alimenticio de ***O. agassii***, en el Lago Menor donde señalan el mayor consumo de zooplancton (60%) seguido por algas (40%), mientras otros ítems son menos frecuentes.

Otros reportes señalan que en el lago Mayor se ha observado el predominio de anfípodos principalmente y larvas de insectos que representan el 80% de los ítems encontrados; el zooplancton corresponde solo al 16% (Loubens et al. 1984, Loubens y Sarmiento 1985).

b) O. luteus (punkhu)

En ***O. luteus*** se han identificado 11 ítems alimenticios. El ítem dominante son anfípodos, con el 78.5% de los individuos observados. Es destacable el consumo de moluscos con el 54.9%. Los restantes nueve ítems se encuentran en proporciones más reducidas usualmente menores al 7% de los estómagos observados.

Comparando por tallas, los ítems dominantes son los mismos, aunque se observa variaciones en las frecuencias en función de la talla. Los individuos de tallas menores (20 - 50 mm) ingieren un menor número de ítems, 4 en comparación a 11 de tallas intermedias, con un dominio neto de anfípodos que se encuentran en el 100% de las evaluaciones. El consumo de moluscos desciende a 12.5%, mientras en las tallas intermedias llegan al 60%.

Variaciones entre el lago Mayor y Menor son poco notables y ocurren principalmente en ítems consumidos con baja frecuencia, como chironomidos que alcanzan a 8.4% en el lago Menor y solo a 1.7% en el lago Mayor y algas que se registraron en el 6.75% del lago Menor y 0% en el lago Mayor. La frecuencia con anfípodos y moluscos se encuentra cerca a 75% y 60 % en ambas partes del lago. Cuando se compara los contenidos del lago Menor y Mayor por sexo ocurre lo mismo que con ***O. agassii***, se manifiesta una diferencia mínima principalmente en los ítems menos frecuentes.

Loubens et al (1984) indica que la dieta de ***O. agassii*** en individuos perimacrofíticos es variada. La especie se alimenta de organismos de talla pequeña, pudiendo considerarla eurífaga. Si se relaciona con el factor de condición, bastante estable en el ciclo anual, se puede considerar que la especie dispone de un aporte constante de recursos alimenticios.

Según Loubens et al. (1984), jóvenes de ***O. luteus*** se alimentan de zooplancton y anfípodos, y adultos de moluscos. Observaciones realizadas en 38 individuos entre 76 y 112 mm, indican lo siguiente: zooplancton 22%, moluscos 72% (principalmente gasterópodos) y anfípodos 39%.

La alimentación de ***O luteus*** es variada incluye individuos de pequeña talla, animales o vegetales, de la cintura vegetal y puede ser considerado eurífago, siendo notable el consumo de moluscos.

c) Basilichthys bonariensis

En ***B. bonariensis*** se han identificado 14 ítems alimenticios. El ítem dominante es anfípodos, 61%, los cladóceros también se encuentran entre los ítems más consumidos con 24.6%, los chironómidos con el 12%, destacando los peces con el 12%. Los restantes diez o ítems se encuentran en proporciones reducidas inferiores al 4%.

Aunque de manera general los mismos ítems son dominantes cuando se analiza en función al sexo, regiones y talla. Sin embargo en tallas menores (50 - 100 mm) la proporción de anfípodos y cladoceros, 69% y 24%, respectivamente son dominantes, con una frecuencia muy baja de peces. En tallas intermedias se presenta un incremento en consumo de chironomidos que puede llegar a 20%, aunque siguen siendo dominantes los anfípodos con proporciones superiores a 55% y los cladóceros que se encuentran entre el 23 y 44%. En tallas superiores a 350 mm se incrementa de forma notable la ictiofagia, registrándose peces en mas del 50% de los individuos analizados.

No se han encontrado diferencias cuando se compara el lago Mayor y el Menor, los ítems dominantes, en ambas regiones son anfípodos y cladóceros, la diferencia más notable es la presencia de chironómidos en 29% de los estómagos del lago Menor, que alcanza solo al 3% del lago Mayor. Cuando se compara los contenidos por sexo la diferencia es mínima y se presenta principalmente en los ítems menos frecuentes.

La alimentación de ***B. bonariensis*** es variada incluyendo individuos de pequeña talla, animales o vegetales, presentes en la cintura vegetal y puede ser considerado ictiófago.

Los ejemplares de 9 cm se alimentan sobre todo de bentos, esencialmente anfípodos y chironómidos, lo que esta relacionado con el dominio vital que ocupan. A tallas un poco superiores, el bentos permanece dominante, pero el zooplancton representa el 39 % de la alimentación. Hacia los 15 cm tres categorías de presas tienen una importancia comparable: los anfípodos, zooplancton y peces. Finalmente entre 20 y 25 cm, los peces devienen dominantes. Un reporte de la bahía de Puno señala que el contenido estomacal con «ispis» que los autores relacionan a ***O. mooni***, pero que probablemente corresponde a ***O. ispi*** (Loubens & Osorio 1988); en el Lago Menor se ha observado principalmente ***O. agassii*** y ***O. olivaceus***. El zooplancton desaparece a partir de los 35 cm.

Se puede ver que el pejerrey explota los principales grupos zoológicos disponibles en el lago en el curso de diferentes fases de desarrollo. Se puede considerar a nivel de la especie como un pez eurífago, aunque los diferentes estados de desarrollo presentan preferencias bien marcadas (Loubens & Osorio, 1988).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estos resultados preliminares muestran una tendencia clara de afinidad con los trabajos realizados por el Convenio UMSA-ORSTOM (Lauzanne 1991; Loubens et al. 1984; Loubens & Sarmiento 1985; Loubens & Osorio 1988; Loubens 1989).

Pese a que el presente trabajo reporta alguna información más precisa en comparación al proyecto UMSA – ORSTOM, como es el caso de las tallas de madurez sexual de *B. bonariensis* que durante el desarrollo del presente trabajo se ha podido reconocer el sexo en tallas más pequeñas. No ha permitido un cambio de opinión a cerca de la biología de las especies, más bien han servido para aseverar aun más la biología de las especies estudiadas.

En el tema de la alimentación también se ha mejorado a través del incremento del registro de ítems consumidos, situación que debe incentivar a profundizar estudios en el tema. El lago mayor aparentemente es más inestable en la producción de ítems alimenticios, en comparación al lago Menor, situación que reflejaría la heterogeneidad en los tipos de la cintura vegetal del lago Mayor, comparada con la homogeneidad del lago Menor que debido a sù cubeta presenta zonas de litoral más regulares.

Sin embargo, comparar parámetros biológicos, con más de 10 años de diferencia y aparentemente no haber encontrado diferencias significativas en su comportamiento no debe interpretarse como si no estuvieran siendo afectadas por diversos impactos antrópicos en el lago Titicaca, esto porque las especies evaluadas no han tenido un rendimiento similar de captura. Hace diez años atrás ***O agassii*** era el más abundante, superando en mucho las pescas de ***O. luteus*** y ***B. bonariensis***. En este informe el número de muestras evaluadas a través de RAMSAR fueron: 858 ***O. agassii***, 1166 ***O. luteus*** y 759 ***B. bonariensis***.

BIBLIOGRAFÍA

Lauzanne, L., 1991. Especies Nativas. Los Orestias. Pp. 409-430 *In* Dejoux, C et A. Iltis (Eds.). El Lago Titicaca. ORSTOM-Hisbol, La Paz-Bolivia.

Loubens, G., F. Osorio & J. Sarmiento., 1984. Observations sur les poissons de la partie bolivienne du lac Titicaca. I. Milieux et peuplements. Rev. Hydrobiol. trop. 17 (2): 153 - 161

Loubens, G. & J. Sarmiento., 1985. Observations sur les poissons de la partiue bolivienne du lac Titicaca. II. Orestias agassii, Valenciennes 1846 (Pices, Cyprinodontidae) Rev. Hydrobiol. trop. 18 (2): 159 - 171.

Loubens, G. & F. Osorio., 1988. Observations sur les poissons de la parte bolivienne du lac Titicaca. III. Basilichthys bonariensis (Valenciennes, 1835) (Pisces, Atherinidae). Rev Hidrobiol. trop. 21(2):153-177.

Loubens, L., 1989. Observations sur les poissons de la partie bolivienne du lac Titicaca, IV. Orestias spp., Salmo gairdneri et problèmes d'aménagement. Rev.Hydrobiol. trp. 22 (2): 157 - 177.

Conservación de la rana gigante del Lago Titicaca

Por: *María Esther Pérez B.*[1]

RESUMEN

Con el fin de apoyar en la conservación de la especie, se realizaron estudios de la biología de la rana en medio natural (lago Menor) y en cautiverio, en estanques y acuarios ubicados en dos comunidades aledañas al lago.

En medio natural la composición de la dieta de *T. culeus* está dominada por moluscos y crustáceos, organismos abundantes en el lago Menor. En cautiverio se observa una preferencia alimentaria de acuerdo al siguiente orden: alevinos, renacuajos, lombrices, crustáceos, moluscos, e insectos. En el lago la reproducción puede realizarse durante todo el año, sin embargo, la influencia de las condiciones climáticas posibilita su reproducción entre los meses de mayo a octubre y, en cautiverio la reproducción está condicionada al tiempo que los animales tardan en ambientarse.

Los proyectos piloto en las comunidades aledañas al lago son esenciales, ya que permiten un intercambio de información necesaria para la conservación y manejo de la rana gigante.

SUMMARY

With the purpose of support the conservation of the species, we were carried out biology studies of the giant frog in natural environment (Lago Menor) and in captivity, both in ponds and aquariums located in two rural communities close to the lake.

In natural environment the diet composition of the giant frog is mostly dominated by mollusks and crustaceans, abundant organisms at the Lago Menor. In captivity, the food preference is following, according

[1] Instituto de Ecología: Campus Universitario, Calle 27, Cota Cota. Telfs.: (591 2) 2792582 – 2792416. FAX: (591 2) 2770876, E-mail: gamaliel@mail.megalink.com La Paz - Bolivia.

to the order of abundance: alevinos, tadpoles, worms, crustaceans, mollusks and insects. In the lake the reproduction can be carried out during the whole year, however, the influence of the climatic conditions facilitates its reproduction between May to October and, in captivity the reproduction is conditioned at the time that the animals take in being set to enclosed conditions.

This kind of pilot project working with rural communities at the lake are essential for species conservation, because they allow an exchange of primordial information for the management and handling of the giant frog.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Lago Titicaca alberga varios endemismos a nivel de especie, como es el caso de peces y anfibios. En peces tenemos al género *Orestias*, endémico del Altiplano y en anfibios al género *Telmatobius*, con mayor distribución en los Andes.

En 1876, Alexander Agassiz y S. W. Garman, dieron a conocer el análisis y descripciones de especies de peces, batracios y reptiles que se encontraron en el Lago, entre ellas la primera descripción de la especie *Telmatobius culeus* (Garman, 1876).

El conocimiento de la rana gigante del lago se reporta en los primeros trabajos efectuados en el lago, que datan desde 1835 hasta 1847, cuando D' Orbigny realizó las primeras observaciones y colecciones de diferentes organismos habitantes del área lacustre (Dejoux, 1991).

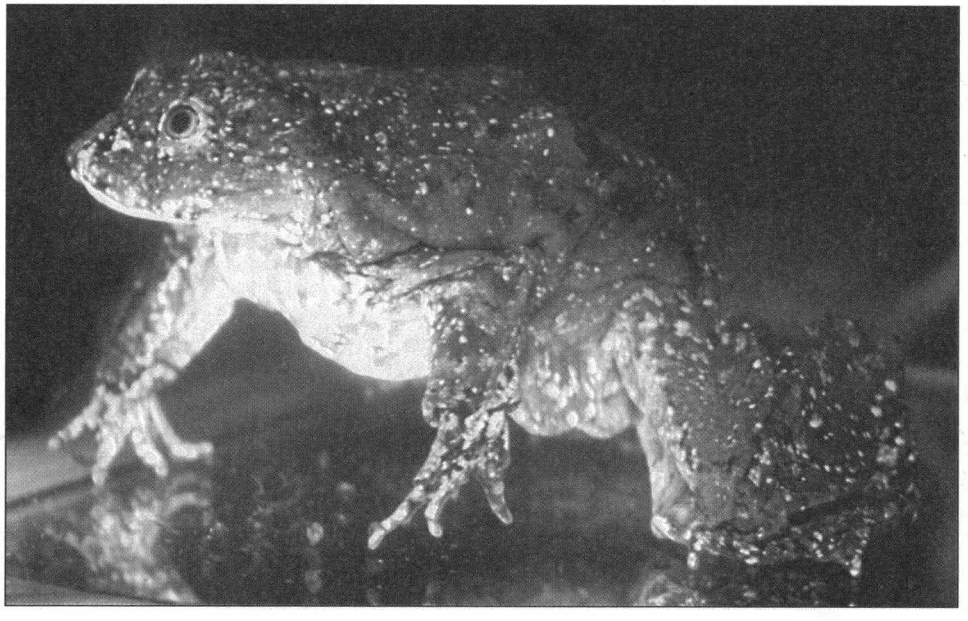


Figura 1
La rana gigante del lago Titicaca

El «Kele», o rana gigante (*Telmatobius culeus* - Anura: Leptodactylidae) (Figura 1) es una de las especies más significativas del Lago Titicaca (Allen, 1922).

T. culeus es una de las especies que puede habitar zonas litorales y profundales del lago, pudiendo llegar hasta los 20 m (de Macedo, 1960) y según Lauzanne (com. pers.) han sido capturadas accidentalmente en redes a 40 m de profundidad.

Distribución Geográfica

Las localidades donde se reporta a *T. culeus* son: Achacachi, Isla del Sol, Copacabana, bahía de Desaguadero, Isla Coati (de la Luna) y zonas vecinas; también se han encontrado en el estrecho de Tiquina (Garman, 1876; De la Riva, 1990; Vellard, 1951, 1953, 1991), así como en Huatajata, Suriqui y Taquiri con los trabajos de Pérez (1994 y 1998). (Figura 2).

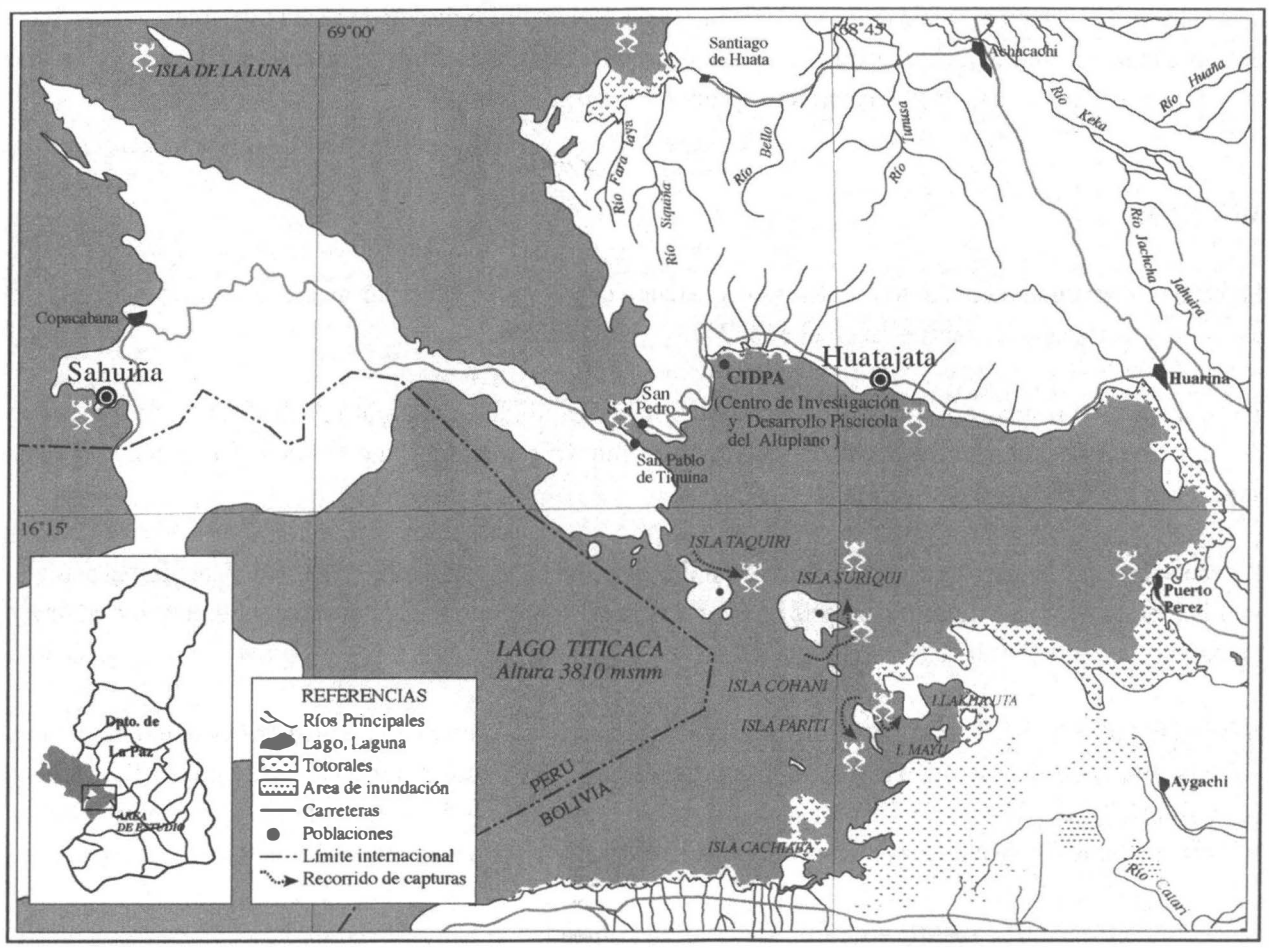


Figura 2
Mapa de distribución de *Telmatobius culeus*.

Estado de conservación de *Telmatobius culeus*

El Libro Rojo de los Vertebrados de Bolivia incluye a la rana del lago en la categoría de especie Vulnerable (UICN, 1994) (Ergueta y Harvey, 1996). En el presente año (2001), en el "Taller de Fauna Amenazada" donde se analizó la validación de un documento elaborado por especialistas en fauna boliviana, se mantuvo a la especie en esta categoría, considerando que aún los datos son insuficientes como para incluirla en una categoría de mayor amenaza.

La información obtenida de pobladores locales del lago registradas en los últimos años indican que las poblaciones de éstas ranas han disminuido apreciablemente. Se ha observado gran mortalidad en época lluviosa, observaciones que coinciden con las realizadas en los años 1994 y 1995 (Pérez, 1998), lo que promueve el interés de estudiar a éste anfibio y de manera general aportar en la conservación de la biodiversidad en el ámbito del sistema Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa (TDPS).

Los trabajos publicados sobre la especie son antiguos y esporádicos por lo que se pretende incrementar el conocimiento de la biología en medio natural, y en base a este estudio se prevé implementar pequeños proyectos para la demostración de la cría en cautiverio, en comunidades aledañas al lago, para comprobar la aceptación de la especie en esas condiciones, ensayando una dieta basada en alimento natural y brindando las condiciones necesarias para lograr su reproducción en cautiverio

MÉTODOS

La observación de la biología de *T. culeus* se desarrolló desde el año 1994 por medio de capturas mensuales, así como evaluaciones eventuales en el año, 2000 y parte de 2001.

Se analizaron muestras estomacales provenientes de la localidad de Huatajata e Isla de la Luna, y muestras de capturas realizadas en los alrededores de la Isla Taquiri y Suriqui (lago Menor). En cada estómago se separaron las diferentes categorías alimentarias.

La reproducción fue determinada, a través de análisis microscópicos (placas histológicas de testículos) y análisis macroscópicos (la vitelogénesis en ovarios) de 80 ejemplares entre machos y hembras, capturados mensualmente en el año 1994 en el lago Menor.

Se implementaron proyectos piloto para la cría en cautiverio de la especie. La primera estación fue ubicada en la localidad de Huatajata, a 87 Km de la ciudad de La Paz, carretera hacia Copacabana a orillas del lago Menor del Titicaca (Figura 2). En ella se instalaron 16 acuarios donde se probó la respuesta alimenticia de la rana del lago Titicaca a cuatro tipos de alimento natural (alevinos, lombrices, moluscos y crustáceos).

La segunda estación se instaló en Sahuiña, localidad ubicada a 6 Km de la ciudad de Copacabana a orillas del lago Mayor (Figura 2). En el lugar se construyeron dos estanques de tierra. Cada estanque es de 3 m x 2 m, y 0.5 m de profundidad. Se aprovechó la existencia de vertientes "Ojos de agua" una fuente de agua corriente para un uso eventual.

La tercera estación se ubicó en instalaciones del Instituto de Ecología. En los acuarios instalados se realizaron observaciones sobre el comportamiento alimenticio en cautiverio (el alimento consistió de renacuajos, lombrices, larvas y adultos de insectos acuáticos), así como aspectos del desarrollo de renacuajos capturados en el lago.

Se realizó un seguimiento permanente del peso y talla de las ranas en las tres estaciones de investigación.

RESULTADOS

La dieta de *Telmatobius culeus* es variada. Las diferentes categorías alimentarias corresponden en un 66% a gasterópodos (*Littoridina* spp., *Taphius montanus*); 30% a crustáceos (*Hyalella spp.*), 3% a plantas acuáticas (*Chara* sp., *Schoenoplectus* sp.), y algunos insectos como coleópteros (*Austrelmis consors*), hemípteros (*Ectemnostegella quechua, Notonecta virescens*) y odonatos (*Aeschna peralta*) sólo con el 1%. En menor importancia se han encontrado peces (*Orestias* sp.) y anfibios (*Telmatobius* sp.).

Se ha visto que estos anfibios tardan en ambientarse a las condiciones de cautiverio, pueden permanecer hasta dos semanas sin comer. Una vez acostumbrados sólo aceptan alimento vivo que tenga movimiento (alevinos, renacuajos, lombrices, insectos acuáticos).

Reproducción

El ciclo reproductivo de la especie es continuo. Se encuentran machos adultos con caracteres secundarios (callosidad nupcial en el pulgar) fácilmente reconocibles en todas las épocas del año.

En las hembras, se encuentran ovocitos potencialmente ovulables (ovocitos a término), durante todo el año (Figura 3). Con los máximos porcentajes en los meses de abril, mayo y octubre. Se ha observado parejas en apareamiento durante los meses de invierno (junio a agosto).

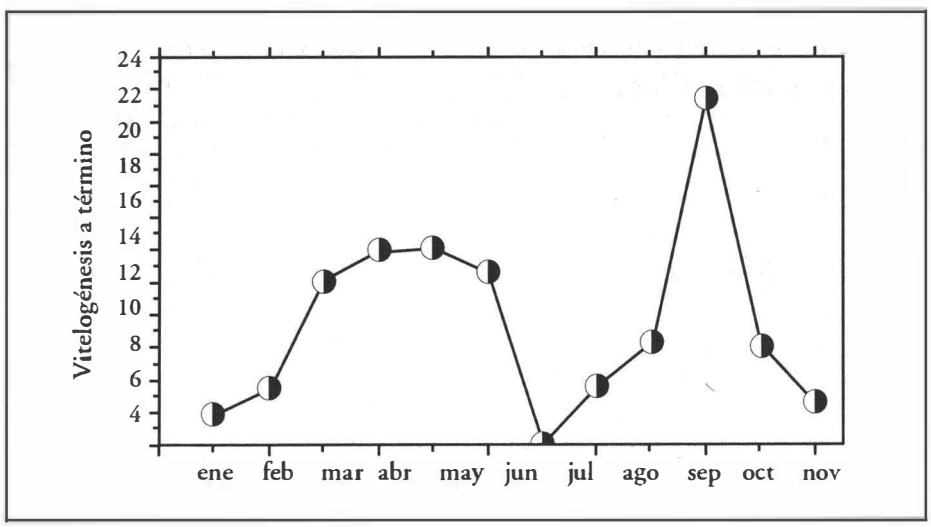


Figura 3
Porcentaje de ovocitos a término, observados en el año

Los testículos presentan menores porcentajes de espermatozoides durante las mayores precipitaciones (diciembre - marzo), la misma relación se observa en hembras con los ovocitos a término. En cautiverio la reproducción está condicionada al tiempo que se tarda en ambientar a los animales.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La marcada disminución de las poblaciones de «las ranas del lago» en los últimos años, hace pensar en la necesidad de encontrar los mejores recursos para evitar que este anfibio siga siendo afectado por la pesca que se realiza en la zona y aportar en su conservación.

Se ha visto que la dieta de la especie es generalista y está relacionada con la oferta del medio, donde moluscos y anfípodos representan grupos faunísticos predominantes, tanto en densidad como en biomasa (Dejoux, 1991). En condiciones de cautiverio aceptan alimento ofrecido (lombrices, renacuajos, moluscos, crustáceos, alevinos), con preferencia en grupos más activos

Los resultados muestran que la reproducción puede realizarse durante todo el año, con influencia de las condiciones climáticas se da preferentemente entre los meses de septiembre a noviembre. Esto podría relacionarse con la disminución del alimento disponible en el medio en los meses lluviosos (Dejoux, 1991).

En cautiverio la reproducción está condicionada al tiempo que se tarda en ambientar a los animales. Aún falta información sobre las condiciones necesarias para lograr la puesta de huevos.

La información sobre su biología y ecología aún es escasa, en futuro se prevé contar con mayor información en relación a la dieta y reproducción en condiciones de cautiverio.

Se ha visto que participación de las comunidades aledañas al lago es esencial para el manejo de ésta especie debido a que es un recurso que emplean en medicina tradicional y principalmente en la venta de estos animales con destino a restaurantes de la región.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, W. R. 1922. Notes on the Andean Frog, *Telmatobius culeus* (Garman). Copeia. 108 (4): 52-54.

DE LA RIVA, I. 1990. Lista preliminar comentada de los anfibios de Bolivia con datos sobre su distribución. Estratto del Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino 8(1): 261-319.

DEJOUX, C.1991. Los Moluscos. Los Anfípodos. en: Dejoux, C., & A. Iltis (eds.). El Lago Titicaca. Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual. ed. ORSTOM-HISBOL. pp. 321-343, 353-362.

ERGUETA, P. y M. B. HARVEY. 1996. Anfibios. En: P. Ergueta & C. Morales (eds.) Libro Rojo de Los Vertebrados de Bolivia. CDC- Bolivia. Pp. 67-72.

GARMAN, S.W. 1876. Fishes & Reptiles. En: A. Agassiz & S.W. Garman (eds.) Exploration of Lake Titicaca. Bull. Mus. Comp. Zool., 3; 273-279.

MACEDO, H. de. 1960. Vergleichende Undertsuchungen an Arten der Gattung *Telmatobius* (Amphibia: Anura). Zeitchrift fur wissenschaftliche Zoologie, 163 (3/4): 355-396.

PEREZ, M.E., 1994. Algunos aspectos biológicos y ecológicos de *Telmatobius culeus* (Anura: leptodactylidae) del Lago Titicaca. Soc. Bol. Lim. pp. 107-111.

PEREZ, M.E., 1998. Dieta y Ciclo Gametogénico Anual de *Telmatobius culeus* (Anura: Leptodactylidae) en el Lago Titicaca (Huiñaimarca). Tesis de Licenciatura en Biología; Facultad de Ciencias Puras y naturales, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia 150 p.

VELLARD, J. 1951. Estudios de batracios andinos. I. el grupo *Telmatobius* y formas afines, Mem. Mus. Hist. Nat. «Javier Prado» 1: 3-89.

VELLARD, J. 1953. Estudios sobre batracios andinos II. El grupo *marmoratus* y formas afines. Mem. Mus. Hist. Nat. Javier Prado 2: 1-53.

VELLARD, J. 1991. Comunidades Asociadas. Los Batracios. en: Dejoux, a. Iltis (eds). El Lago Titicaca. Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual. ed. ORSTOM-HISBOL. pp. 453-462.

El potencial de aprovechamiento cinegético de los tinamúes (Aves: tinamiformes) del altiplano boliviano, y la necesidad de reglamentarlo

Por: *Álvaro Garitano-Zavala B.* [1]

Palabras Clave: Nothoprocta, Nothura, *caza deportiva, políticas ambientales, manejo de fauna silvestre.*

RESUMEN

Se realiza un análisis cualitativo de la actual utilización en caza deportiva de los tinamúes *Nothoprocta ornata* y *Nothura darwinii* (Aves: Tinamiformes) en el altiplano boliviano. A partir de información proporcionada por cazadores deportivos, y el seguimiento de un grupo de ellos, se realiza una estimación de la presión anual de caza deportiva en el altiplano boliviano de 15,000 individuos de ambas especies, considerando sólo a los cazadores afiliados a clubes de caza y pesca, y una época de veda de seis meses; esta estimación puede ser comparable a las tasas de extracción en países sudamericanos con mayor tradición cinegética sobre especies de tinamiformes. De acuerdo a la legislación y reglamentación bolivianas vigentes, esta actividad es ilegal, sin embargo, resalta la potencialidad de aprovechamiento cinegético de estos tinamúes considerando la demanda, y las características biológicas y ecológicas conocidas para ambas especies. El presente trabajo propone una estrategia para la adecuada gestión, reglamentación, y control de esta actividad cinegética, con el fin de lograr un aprovechamiento sostenible de estas aves.

SUMMARY

A qualitative analysis of the current use in sport hunting of the tinamúes, *Nothoprocta ornata* and *Nothura darwinii* (Aves Tinamiformes) was carried out at the Bolivian highlands. Starting from information provided by sport hunters and by going whit a group of them, I estimate the annual sport hunting pressure, it was

1 Colección Boliviana de Fauna. Unidad de Zoología del Instituto de Ecología- UMSA, Casilla 8706, Telf.. (591 2) 2795364 Fax (591 2) 2770876, E-mail: iecbf@ceibo.entelnet.bo

about 15,000 individuals of both species, only considering the affiliated hunters to a hunting clubs for six months. This estimate can be comparable to the extraction rates in South American countries with more sport hunting tradition on tinamiformes species.

According to the Bolivian current legislation, this activity is illegal however it stands out the potentiality tinamues sport hunting for both species. It is by considering the demand and the biological and ecological characteristics of the species. The present work proposes a strategy for the appropriate management, regulation and control of this sport hunting activity, with the purpose of achieving a sustainable use of these birds.

INTRODUCCIÓN

Las aves del orden Tinamiformes, llamadas genéricamente tinamúes en lengua castellana (Bernis *et al.* 1994), tienen una distribución restringida al Neotrópico. En el altiplano boliviano están presentes tres especies: *Tinamotis pentlandii* Vigors, 1837, denominada comúnmente "Kiula", *Nothoprocta ornata* (G. R. Gray, 1867) denominada comúnmente perdiz o "P'isaka", y *Nothura darwinii* G. R. Gray, 1867 denominada comúnmente codorniz o "K'ullu" (Remsen y Traylor 1989, Fjeldså y Krabbe 1990, Garitano-Zavala 1995).

Los tinamúes del altiplano boliviano han interactuado con el ser humano desde que éste ingresó y empezó a utilizar los recursos naturales de este ecosistema, y tal como lo atestiguan los yacimientos arqueológicos, representaron un importante recurso alimenticio para las primeras sociedades de cazadores recolectores(Hastorf *et al.* 1998, Horkheimer 1990). La actual relación del ser humano con los tinamúes del altiplano boliviano, implica una compleja interacción que abarca varias relaciones dentro de la predación y la competencia, que según Garitano-Zavala (1995, 2000) se pueden resumir en los siguientes puntos:

i) La predación del ser humano sobre las especies de tinamúes y sus huevos con fines alimenticios, (implica la caza y recolección de subsistencia).

ii) La captura de adultos con fines no alimenticios, (implica la caza deportiva y el uso en ritos tradicionales).

iii) La competencia del ser humano por el espacio y otros recursos, (implica la ocupación y modificación humana de los hábitats naturales de las especies de tinamúes para el establecimiento de viviendas, áreas de cultivo y pastoreo).

iv) La competencia de las especies de tinamúes por el alimento del ser humano, (implica la afección por los tinamúes de algunos cultivos).

Estas relaciones no son estáticas, dependen de los cambios temporales de los parámetros poblacionales de las especies de tinamúes, así como de los hábitos culturales y crecimiento demográfico del hombre. En el presente trabajo analizaremos exclusivamente la caza deportiva sobre *N. ornata* y *N. darwinii* que, por ser especies relativamente frecuentes debido a su mayor sinantropía y amplitud de nicho trófico (Garitano-Zavala 1995, 2000), son preferidas como trofeo por los cazadores deportivos.

Características de la caza deportiva de tinamúes en el altiplano boliviano

En Bolivia no existen estudios cuantitativos sobre el estado de las poblaciones de tinamúes, ni sobre el grado de afección de las actividades humanas sobre ellos, sin embargo, en función a observaciones cualitativas de abundancia relativa, es evidente que la recolección continua de huevos y la caza de adultos, están afectando a las poblaciones de tinamúes en las áreas más habitadas del altiplano norte (Garitano-Zavala 1995). Debido a que Bolivia no es un país con una generalizada tradición cinegética deportiva, no existe ningún registro documentado sobre las tasas extractivas del pasado. Se sabe que durante el coloniaje y la República, los hacendados españoles y criollos realizaban enormes cacerías en sus latifundios. La Reforma Agraria de 1952 ha eliminado en su mayoría la propiedad agraria de los hacendados en la región andina, y la actividad de caza deportiva se ha centrado en algunas pocas personas de posición económica media a alta, que pueden encarar los costos de municiones, desplazamientos periódicos al campo, y otros relacionados a este deporte.

En el ámbito territorial del departamento de La Paz existen dos clubes: «Caza y Pesca - La Paz» y «Arco Iris», se estima que en ambos están afiliadas un total de 100 personas, de las cuales sólo alrededor de treinta realizan salidas semanales para cazar *N. ornata* y *N. darwinii.* El número de afiliados de los clubes se ha mantenido relativamente invariable a lo largo de los últimos años, pues los que ingresan reemplazan a los que se retiran (E. Hug 1997, com. pers.). Al número de afiliados en los clubes, se debe añadir unas 100 personas, como mínimo, que no pertenecen a ningún club, y que realizan eventualmente caza de tinamúes (E. Hug 1997, com. pers.). Estos números son realmente pequeños si se compara con los 10,000 cazadores de tinamúes registrados en 1981 en el Estado de Rio Grande do Sul de Brasil (Menegheti 1985) o los 650,000 registrados en Argentina en 1961 (Godoy 1963).

De acuerdo al seguimiento de un pequeño grupo de cazadores deportivos en el Altiplano boliviano entre 1996 a 1998, se estima un tasa de extracción diaria media en cada jornada de cacería de 6.3 individuos por cazador (DS = 4.25, n = 14), en una relación aproximada de cinco individuos de *N. ornata* (X = 5.07, DS = 4.06, máx. = 14, mín. = 1), por uno de *N. darwinii* (X = 1.21, D.S. = 1.37, n = 14, máx. = 4, mín. = 0); esta relación se debe a que la primera es una presa más apreciada.

Esto último implica una extracción media anual potencial de aproximadamente 150 individuos de las dos especies por cazador, si se supone cacerías de un día por semana durante seis meses de caza, resultando en 15,000 individuos cazados anualmente, si se considera sólo a los aproximadamente cien afiliados a los clubes de caza y pesca, y una época de veda de seis meses. Por desgracia, esta estimación no define una extensión territorial determinada, que permita evaluar el verdadero efecto sobre las poblaciones locales de tinamúes.

Menegheti (1985) reporta que en el Estado de Rio Grande do Sul de Brasil (cuya extensión total de 283,183 Km^2 equivale a aproximadamente el doble de la superficie del Altiplano boliviano de 136,229 Km^2, según Montes de Oca 1997), se ha cazado anualmente de 25,700 a 40,000 individuos de *Nothura maculosa* en el período de 1976 a 1981. Por tanto, la estimación de 15,000 individuos de *N. ornata* y *N. darwinii* cazados anualmente en el Altiplano boliviano, pone en alerta de que en Bolivia se puede estar cazando deportivamente volúmenes similares a los de países con mayor tradición cinegética.

Legislación boliviana respecto a la caza deportiva de tinamúes

La legislación boliviana en materia ambiental es muy incipiente, debido particularmente a la falta de estudios biológicos que permitan su fundamento específico, y recién ha adquirido un desarrollo apreciable en la década de los noventa (Marconi 1992). Dentro de la legislación boliviana, la primera y única ocasión en la que se cita expresamente a los tinamúes, bajo el nombre de "perdices" es en el D.S. del 13 de marzo de 1940, del gobierno del Gral. Carlos Quintanilla, que decreta: "...durante el período comprendido entre el 15 de noviembre y el 15 de febrero de cada año, se prohíbe en todos los lagos y ríos del dominio público y privado, la caza de aves de cualquier especie y el comercio de las mismas, así como la caza de perdices, palomas torcazas, pavos de monte, faisanes, y otras especies comestibles...". Esta es la única reglamentación sobre la época de veda para los tinamúes, pero que por otro lado, demuestra el desconocimiento de la fauna silvestre de Bolivia. En esta reglamentación basan los clubes de caza y pesca sus períodos de veda.

Desde 1947, año en que el Presidente Enrique Hertzgog emite la Ley 881 que deroga todo lo precedente en materia de caza y pesca, y reglamenta nuevamente la pesca deportiva, se dieron muchas legislaciones y reglamentaciones en cuanto al control de la caza y pesca comerciales y deportivas, así como respecto a las entidades encargadas del control y de las sanciones por infracciones. Por desgracia todas ellas son muy generales y nunca basadas en estudios biológicos y poblacionales. El Decreto Ley N° 12301 del 14 de marzo de 1975, llamado "Ley de Vida Silvestre, Parques Nacionales, Caza y Pesca", dispone entre otras cosas, los requisitos para obtener las licencias de caza, las armas que pueden utilizarse para la caza, y faculta al Centro de Desarrollo Forestal a establecer para cada especie las temporadas de caza y áreas habilitadas para tal fin, así como las épocas de veda y prohibición de caza, determinando finalmente las áreas donde se prohíbe la caza, así como la excepción correspondiente. Pese a lo dispuesto por este D. L., no se elaboraron reglamentaciones específicas sobre la caza deportiva, y debido a esta falencia, y ante la realidad de que los recursos de vida silvestre seguían explotándose inadecuadamente, vino una serie de decretos mucho más restrictivos, terminando en el el D.S. N° 25458 del 21 de julio de 1999, que ratifica la Veda general e indefinida, permitiendo el uso de algunas especies de la vida silvestre según planes de uso sostenible. Según esta normativa, la actual caza deportiva es ilegal, pese a lo cual se practica, lo cual en cierto sentido es lógico, ya que cualquier veda prolongada limita la generación de recursos a partir de la fauna silvestre, y es susceptible de fomentar actividades ilícitas (Marconi 1992).

Los tinamúes del altiplano boliviano como recurso cinegético potencialmente aprovechable

Actualmente los tinamúes generan importantes recursos económicos como pieza de caza deportiva en Brasil y Argentina (Godoy 1963, Bump y Bump 1969, Bohl 1970, Menegheti *et al.* 1981, Menegheti 1985). Incluso se había pensado en utilizar estos animales como recursos cinegéticos en países donde no se distribuyen naturalmente, es así que el "*Fish and Wildlife Service*" de Estados Unidos impulsó estudios sobre *Eudromia elegans*, *Nothura maculosa* y *N. darwinii* en Argentina, con vistas a introducirlas en el sur de Estados Unidos (Bump y Bump 1969, Bohl 1970), pero análogamente a otros intentos de introducirlas en varios países de Europa, ninguna de estas introducciones dieron resultados positivos (Cabot 1992).

Ningún tinamú del altiplano boliviano está catalogado como especie amenazada en Bolivia ni a nivel internacional (Collar *et al.* 1994, Rocha y Quiroga 1996), por lo que en nuestro país es posible plantear la posibilidad de aprovecharlas cinegéticamente, sobre todo considerando que han sido capaces de sobrevivir en las actuales condiciones de alteración y antropización del altiplano (Liberman y Ledo 1995, Millones 1982), demostrando su alta capacidad adaptativa. El manejo de las poblaciones destinadas al aprovechamiento cinegético, puede compatibilizarse muy bien con las actividades agropecuarias propias del altiplano boliviano, pues la heterogeneidad de los agrosistemas aparentemente promueve su desarrollo (Garitano-Zavala 1995).

Las bases de una gestión y reglamentación

El aprovechamiento cinegético de los tinamúes del altiplano boliviano debe fundamentarse en una gestión nacional, regional, y local, que considere la interacción de tres factores, que fluctúan permanentemente en tiempo y espacio: el público, constituido por los cazadores deportivos y toda persona involucrada en la actividad, el estado del hábitat de los tinamúes, y las poblaciones de tinamúes. El control de las fluctuaciones de estos factores en tiempo y espacio, debe ser realizado mediante un programa de monitoreo regional, que obtenga la información básica sobre la cual se determinen las reglamentaciones.

El otro aspecto fundamental para la gestión, es la definición de la forma legal en que se aprovechará el recurso cinegético, es decir, la forma en que se generarán y distribuirán los recursos económicos, y la forma en que los cazadores accederán a los recursos cinegéticos. Este último aspecto implica la definición de si se establecerán áreas de caza de dominio público, administradas y reguladas por el Estado, Prefecturas o Municipios (destinándose por tanto los recursos económicos generados al bien público), si se establecerán cotos privados, administrados por personas jurídicas, asociaciones u OTBs, y reguladas ya sea por el Estado, Prefecturas o Municipios (distribuyéndose en este caso los recursos entre los propietarios y el bien público), o si en último caso existirán sistemas mixtos.

Programa de monitoreo

En el altiplano boliviano existen variaciones en clima y estructura vegetacional de acuerdo a la latitud (Ribera 1992), ligado a esto se dan variaciones en las épocas de reproducción de los tinamúes (Pearson y Pearson 1955, Garitano-Zavala 1995), las actividades agropecuarias, y por ende en los efectos antrópicos sobre las poblaciones naturales de tinamúes, todo esto trae consigo que las poblaciones de tinamúes tengan un marcado carácter local. Por estas razones, el programa de monitoreo debe realizarse sobre un suficiente número de localidades representativas, o áreas patrón, el número de éstas depende del grado de variación climática latitudinal y altitudinal, del grado de influencia de estos factores sobre los parámetros reproductivos de las poblaciones de tinamúes, y en último término, de la capacidad económica del programa de monitoreo.

Monitoreo del público

Este monitoreo implica el control de los intereses y expectativas de los actuales o potenciales usuarios y/o beneficiarios del aprovechamiento de los tinamúes. Son dos los aspectos que se debe tomar en cuenta respecto

al público: en primer lugar se debe tener un registro permanente de los cazadores deportivos, con una matriculación de renovación periódica, con el fin de contar con el número exacto de cazadores autorizados para cada época hábil de caza, y en segundo lugar, deben realizarse encuestas anuales a los cazadores, a los propietarios de las áreas de caza, o a las autoridades civiles de las Organizaciones Territoriales de Base con jurisdicción sobre áreas de caza, respecto a su opinión sobre la forma en que se llevó adelante la precedente temporada de caza, la eficacia de los mecanismos de control, y la percepción del estado de las poblaciones de tinamúes.

Monitoreo del hábitat

En el altiplano boliviano, *N. ornata* y *N. darwinii* utilizan prácticamente todos los hábitats terrestres hasta la cota máxima de los 4200 m s.n.m., evadiendo los humedales, áreas anegadas y áreas de suelo desnudo (Pearson y Pearson 1955, Garitano-Zavala 1995), además son bastante sinantrópicas, y sus patrones de actividad están muy relacionados con la extensión y ubicación de áreas de cultivos activos, barbechos, acequias y abrevaderos para el ganado (Garitano-Zavala 1995). Si bien ambas especies presentan un alto grado de solapamiento en el uso del hábitat, *N. darwinii* se distribuye desde la zona fisiográfica de llanura aluvial hasta la zona montañosa, mientras que *N. ornata* en general evade las zonas de llanura aluvial y pie de monte de las serranías altiplánicas (Garitano-Zavala 2000), por otro lado *N. darwinii* es más sinantrópica, utilizando más que *N. ornata* las áreas de cultivo intensivo de las zonas colinosa y de pie de monte (Garitano-Zavala 1995).

El monitoreo del hábitat de los tinamúes implica realizar evaluaciones semestrales de su estado en todas las áreas patrón o representativas, con el fin de determinar los cambios, impactos y/o transformaciones en la distribución espacial de sus componentes, y su posible efecto sobre las poblaciones de tinamúes.

Monitoreo de las poblaciones de tinamúes

El monitoreo poblacional implica la determinación de las densidades y estructuras poblacionales de las especies de tinamúes, cada año en cada área patrón, antes y después de la temporada de caza; la determinación para cada año y en cada área patrón, del momento en que el 50 % de la población ha ingresado en período reproductivo, y cuando el 50 % de la población finaliza su período reproductivo; y la determinación anual del volumen de animales extraído, así como su composición sexual y de edades.

Para tener un conocimiento adecuado de las densidades poblacionales de tinamúes en estado silvestre, se debe realizar por lo menos dos censos anuales en cada área patrón, uno antes de época hábil de caza, y el otro después de terminado el período hábil de caza. El primero determinará si la población puede ser sometida a un aprovechamiento cinegético ese año, y el segundo permitirá evaluar el efecto de la caza sobre los diferentes grupos poblacionales (sexo y edad). Aunque todavía no se han determinado los mejores métodos de evaluación poblacional para los tinamúes del altiplano boliviano, estimaciones mediante el conteo en transectos lineales, tanto de animales vistos caminando, como levantando el vuelo, así como conteos por unidad de superficie de refugios de dormida con grupos de excrementos (Garitano-Zavala 1995), pueden ser buenos parámetros de

estimación poblacional. El inicio de la época reproductiva y de la puesta, puede ser fácilmente determinado para tinamúes mediante el monitoreo mensual de los cantos y la presencia de nidadas en cada área patrón.

La mejor manera de tener certeza de una cuantificación de las cacerías en tiempo y espacio -si no la única (Menegheti 1985)-, es mediante el establecimiento de barreras de control en las carreteras de acceso a las áreas permitidas. En Bolivia falta definir aun todos los parámetros de organización espacial de áreas de uso cinegético y control, como para hacer posible este tipo de cuantificación, por lo que deberá ser una de las prioridades al momento de definir las áreas permitidas para el uso cinegético.

Reglamentaciones

Existen varios aspectos que deben establecerse para controlar las actividades cinegéticas y las tasas extractivas de tinamúes en el altiplano boliviano, éstos son: los clubes de caza y pesca deben llevar registros y/o control de las actividades de sus miembros, debiéndose conocer y reportar el número de presas cazadas en cada época hábil de caza; el Estado debe extender matrículas de caza, renovables anualmente, a cada cazador deportivo; debe establecerse un control externo del Estado o Prefecturas, respecto a los volúmenes y periodicidad de extracción cinegética, para cada área habilitada para la caza; y el Estado, los gobiernos departamentales, u otro tipo de organización local, deben definir cuáles serán las áreas de caza autorizadas, así como los mecanismos de control de ingreso y de cumplimiento de las normas de caza.

Para definir estos parámetros deben establecerse reglamentaciones generales y específicas. Las primeras representan la base del aprovechamiento cinegético y la inserción de esta actividad en la legislación nacional, y las segundas toman en cuenta las variaciones locales de las reglamentaciones en función de las características particulares de una región y de la información obtenida en los monitoreos realizados sobre el público, las poblaciones de tinamúes y sus hábitats. Por tanto las reglamentaciones específicas pueden ser modificadas anualmente.

La reglamentación general define la forma de autorización y registro de los cazadores y sus armas, los mecanismos para controlar a nivel nacional o regional, las actividades de los cazadores, los mecanismos de autorización de los cotos de caza según su ubicación, y extensión, así como de registrar su régimen de propiedad y uso.

Estas reglamentaciones deben ser elaboradas en consenso con los clubes de caza y pesca, las autoridades nacionales y regionales, y los propietarios particulares. En lo que respecta a la delimitación de cotos de caza, se deberá coordinar fundamentalmente con los planes nacionales y regionales de ordenamiento territorial, las representaciones de las Organizaciones Territoriales de Base, autoridades comunales y propietarios particulares de las áreas donde potencialmente se podrían establecer cotos temporales o permanentes de caza.

Existe otro parámetro que debe legislarse o reglamentarse para hacer efectivo un programa de gestión cinegética, es la normativa de utilización de recursos económicos del Estado para realizar las labores administrativas de la gestión cinegética, y de los programas de monitoreo. Los recursos económicos para esto pueden derivarse de

los pagos de matrículas y registro de los cazadores y sus armas, así como del pago por la misma actividad cinegética y/o las piezas cazadas. Este es un aspecto que debe ser profundamente discutido entre las entidades de control, los clubes de caza y pesca, y el público interesado.

Las reglamentaciones específicas deberán emitirse oportunamente para cada período hábil de caza, y para las diferentes localidades, de acuerdo a los resultados anuales de los programas de monitoreo. Éstas implican la habilitación o inhabilitación de los cotos de caza autorizados dependiendo del estado de las poblaciones de tinamúes, la definición de la época hábil de caza, es decir, la fecha de apertura y cierre para las diferentes localidades, y los volúmenes máximos de caza en tiempo y espacio. Lo último implica el límite de captura total para cada coto, el límite total de capturas para cada cazador durante toda la época hábil, y el límite diario de capturas para cada cazador.

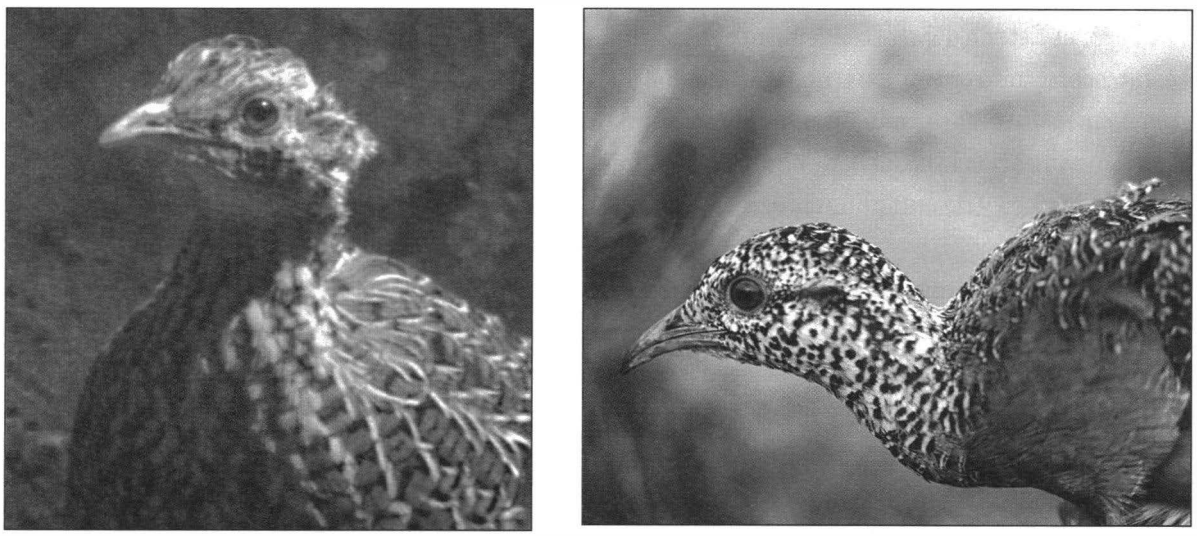


Figura 1.
Las especies de tinamúes cazadas en el altiplano boliviano,
a. *Nothura darwinii agassizii*, y b. *Nothoprocta ornata ornata*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Uno de los principales factores para poder iniciar una estrategia de aprovechamiento sostenible de fauna silvestre es que exista demanda sobre el recurso. En el caso de *N. ornata* y *N. darwinii*, el presente trabajo demuestra que existen sectores interesados en utilizarlas, no sólo como trofeo deportivo, sino como fuente de alimentación, por tanto la demanda está asegurada. Sin embargo, el actual aprovechamiento (que no está reglamentado ni regulado), puede poner en riesgo la supervivencia de poblaciones silvestres saludables, e incluso tener como consecuencia procesos de extinción local debido a que los volúmenes de extracción que se han estimado no están muy lejos de aquellos de países con mayor tradición cinegética.

Aún cuando el presente trabajo da algunas pautas para encarar una estrategia de aprovechamiento sostenible basada en un plan de manejo y un programa de monitoreo, resalta la necesidad urgente de generar mucho más conocimiento en la ecología y biología de ambas especies para diseñar un adecuado plan de aprovechamiento sostenible traducido en la respectiva reglamentación.

Es evidente también que numerosos cazadores deportivos desean legalizar su actividad de caza de tinamúes amparados en normas nacionales efectivas que además de permitirles disfrutar del deporte, aseguren la permanencia del recurso de manera sostenible, y no existe duda de que el poblador de las comunidades rurales del altiplano está ansioso de poder encontrar alternativas efectivas para generar recursos económicos localmente.

Por tanto, es recomendable que en el plazo más breve posible, las autoridades gubernamentales, los científicos, y el público interesado, aúnen esfuerzos para hacer posible la reglamentación específica de aprovechamiento que asegure la sostenibilidad de la caza deportiva de estas especies.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a los Sres. Ernesto Hug y Oscar Aguilar, cazadores deportivos del Club de Caza y Pesca "Arco Iris" de La Paz, por permitirme acompañarles en sus jornadas de caza deportiva de tinamúes en el Altiplano boliviano, y por la valiosa información y comentarios, así también como a James Aparicio, del Museo Nacional de Historia Natural de La Paz, por sus valiosos comentarios sobre el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Bernis, F., E. De Juana, J. Del Hoyo, X. Ferrer, M. Fernández Cruz, R. Sáez-Royuela y J. Sargatal. 1994. Nombres en castellano de las aves del mundo recomendados por la sociedad española de ornitología (Primera parte: Struthioniformes - Anseriformes). Ardeola 41(1): 79-89.

Bohl, W. H. 1970. The study of the Crested Tinamou of Argentina. U.S. Fish & Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Wildl. 31:1-101.

Bump, G. y J. W. Bump. 1969. A study of the Spotted Tinamous and the Pale Spotted Tinamous of Argentina. U.S. Fish & Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Wildl. 120: 1-160.

Cabot, J. 1992. Family Tinamidae (Tinamous). En: J. Del Hoyo, A. Elliot y J. Sargatal (Edit) Handbook of the Birds of the World. Vol 1. 112 – 138. Linx Eds. Barcelona.

Collar, N. J., M. J. Crosby y A. J. Stattersfield. 1994. Birds to Watch 2. The World List of Threatened Birds. Birdlife Conservation Series No. 4. Birdlife International, Cambridge, Inglaterra. 407 p.

Fjeldså, J y N. Krabbe. 1990. Birds of the High Andes. Zoological Museum, University of Copenhagen and Apollo Books, Svendborg, Denmark. 876p.

Garitano-Zavala , A. 1995. Observaciones iniciales sobre la ecología y utilización antrópica de las Tinamiformes en el Altiplano boliviano. Informe Técnico. Laboratorio de Biología "San Calixto", LIDEMA y PL-480/USAID-BOLIVIA, La Paz. 73p.

Garitano-Zavala A. 2000. Consideraciones filogenéticas sobre el primitivismo de las Tinamiformes basadas en caracteres morfológicos y biológicos de dos especies del Altiplano boliviano. Memoria de Tesis Doctoral. Facultat de Biologia Animal, Universitat de Barcelona, Barcelona. 214 p.

Godoy, J. C. 1963. Fauna Silvestre. Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Tomo VIII, Vol. 1-2. Consejo Federal de Inversiones. Bs. As., Argentina. 527 p.

Hastorf, C., M. Bandy, R. Ayon, E. Dean, M. Doutriaux, R. Goddard, D. Johnson, K. Moore, J. L. Paz, D. Puertas, L. Steadman, y W. Whitehead. 1998. Taraco Archaeological Project: 1998 Excavations at Chiripa, Bolivia. Unpublished manuscript on Secretaría Nacional de Cultura and the Directorate of the INAR, and the UC Berkeley, La Paz.

Horkheimer, H. 1990. Alimentación y obtención de alimentos en los Andes prehispánicos. HISBOL, La Paz. 182 p.

Liberman, M. y C. Ledo. 1995. Pobreza y medio ambiente: el caso de Bolivia. En: E. R. Hajek (Edit) Probreza y medio ambiente en América Latina. 123-204. Konrad Adenauer. Stiftung, Buenos Aires.

Marconi, M. 1992. Capítulo XIII. Marco jurídico e institucional de la conservación. En: M. Marconi (Edit) Conservación de la diversidad biológica en Bolivia. 391-414. CDC-Bolivia/USAID BOLIVIA, La Paz.

Menegheti, J. O. 1985. Características de caça e seus efeitos sobre a população de *Nothura maculosa* Temminck, 1815) (Aves, Tinamidae), no Rio Grande do Sul. Iheringia, Sér. Misc., Porto Alegre 1: 87-100.

Menegheti, J. O., M. I. Vieira y F. Silva. 1981. Comments about the relationship between hunting effort and hunting yielding in birds. Iheringia, Sér Zool., Porto Alegre 58: 17-21.

Millones, J. O. 1982. Patterns of land use and associated environmental problems of the Central Andes: An integrated summary. Mountain Research and Development 2(1): 49-61.

Montes de Oca, I. 1997. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. 3ra. Edición, EDOBOL, La Paz. 614 p.

Pearson, A. K. y O. P. Pearson. 1955. Natural history and breeding behavior of the tinamou Not*hoprocta ornata*. Auk 91: 132 – 138.

Ribera, M. O. 1992. Capítulo II: Regiones Ecológicas. En: M. Marconi (Edit.) Conservación de la diversidad biológica en Bolivia. 9 - 71. CDC-Bolivia/USAID BOLIVIA, La Paz.

Remsen, J. V. y M. A. Traylor. 1989. An annotated list of the birds of Bolivia. Buteo Books, Vermillion, South Dakota. 79p.

Rocha, O. y C. Quiroga. 1996. Aves. 95 – 164. En: P. Ergueta y C. Morales (Edit.) Libro rojo de los vertebrados de Bolivia. CDC-Bolivia, La Paz. 347p.

El Lago Titicaca y la Convención de Ramsar

Por: *Eliana Flores Bedregal* [1]

RESUMEN

La Convención de Ramsar o de los Humedales es un tratado internacional que cuenta con 123 países y una Lista de Humedales de Importancia Internacional con 1060 ambientes acuáticos sobre 80 millones de hectáreas. Tiene como Misión "La conservación y el uso racional de los humedales a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional a fin de contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo"

Cada país está obligado a designar al menos un ambiente acuático para ser incluido en a la Lista de Humedales de Importancia Internacional, mediante el llenado de una ficha técnica.

La ficha para la parte boliviana del Lago Titicaca fue llenada por Jaime Sarmiento en Agosto de 1997, justifica la importancia internacional de este humedal haciendo referencia a su papel de regulador del microclima local, a los productos que ofrece y al desarrollo de las milenarias culturas andinas. En lo referente a las características biológicas, señala importantes endemismos: entre los peces, hay 23 especies del género *Orestias* de las 27 presentes, y entre las 94 especies de aves, el zambullidor de alas atrofiadas *Rollandia microptera*. Sarmiento hace una relación de la flora acuática y terrestre destacando la importancia de la totora (*Schoenoplectus tatora*) que forma un cinturón acuático, lugar de desove para varias especies de peces y forraje para el ganado. Entre los factores adversos anota el aumento de la contaminación doméstica, las actividades agrícolas y ganaderas en detrimento de la vegetación natural y la introducción redes agalleras, que han aumentado la pesca en perjuicio de las poblaciones de peces, siendo la probable causa de la desaparición del humanto y de la reducción del efectivo de la boga y del carache. Este autor considera que no existe ninguna medida de conservación pero que se prevé la creación de un área protegida con la implementación del Plan Director Goblal Binacional.

[1] E-mail: eliflor@ceibo.entelnet.bo, Casilla 499 La Paz, Bolivia.

Al presente, se requiere la actualización de la ficha teniendo en cuenta los criterios aprobados en la 7ma Conferencia de las Partes en 1999 y el proyecto de Conservación de la Biodiversidad, así como, precisar la función de la Autoridad Autónoma Binacional de la cuenca del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar. Además, es necesario tomar en cuenta los lineamientos de la Convención de Ramsar, referentes a los criterios de caracterización, la resolución sobre procesos participativos para el manejo de los humedales, la aplicación del concepto de uso racional, las recomendaciones sobre las modificaciones a las condiciones ecológicas y los mecanismos para una mejor aplicación de la Convención.

SUMMARY

The Convention of Ramsar or The Convention for Wetlands is an international treaty that included 123 countries and it has a List of Wetlands of International Importance with 1060 sites covering 80 million hectares. It has as the following Mission "The conservation and the rational use of the wetlands through the national action and by means of the international cooperation in order to contribute to the entire world for the achievement of a sustainable development"

The registration sheet for the Bolivian part of the Titicaca Lake was filled by Jaime Sarmiento in August, 1997. The international importance of this humedal was justified by reference to its function as a regulator of the local microclimate, for the products that offers to the local people and for the development of the millennial Andean cultures. Regarding the biological characteristics, it points out the endemic species: 23 species of *Orestias* fishes among the 27 are present, and one *Rollandia microptera* among the 94 species of birds. It stands out the importance of the totora (*Schoenoplectus tatora*) that forms an aquatic belt, place of several species of fish spawns, and for the livestock foraging. Among the adverse factors, the increase of the contamination for agricultural activities and cattle ranching and the introduction gill's nets which have increased the fishing, being the probable cause for the *humanto*'s disappearance and the reduction of the *bogas* and *carache* populations.

To the present, the bring up to date of the registration sheet is required keeping in mind the approaches approved in the 7th Conference of the Partys and the project of Biodiversity Conservation, as well as, to specify the function of the Autonomous Binacional Authority (ALT) at the System TDPS. Also, it is necessary to take into account the current guidelines for better application of the Ramsar Convention.

ANTECEDENTES

La Convención de Humedales, es llamada también Convención de Ramsar, porque fue firmada en esa ciudad de Irán en 1971, como un tratado internacional que provee un marco de trabajo para las actividades nacionales y la cooperación internacional para la conservación y buen uso de los humedales y sus recursos. Al presente 123 países han firmado el tratado y designando un total 1060 sitios sobre una superficie de 80.6 millones de hectáreas, para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional.

La Misión de la Convención de Ramsar es "La conservación y el uso racional de los humedales a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional a fin de contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo" (Brisbane 1996)

Se entiende por uso sabio o uso racional de los humedales el uso sostenible para beneficio de la humanidad de manera compatible con el mantenimiento de las propiedades del ecosistema, es decir el uso de un humedal por los seres humanos debe hacerse de un modo tal que produzca el mayor beneficio continuo para las generaciones presentes, manteniendo al mismo tiempo, su potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras,

El objetivo de este artículo es analizar la gestión del lago Titicaca desde la perspectiva de la Convención de Ramsar y sus instrumentos de aplicación. A continuación se explica, en que consiste los Lista de Humedales de Importancia Internacional, los criterios para la inclusión de los humedales en la Lista, la ficha técnica sobre para la parte boliviana del Lago Titicaca y los requerimientos a los países parte para cumplir con este tratado.

LISTA DE HUMEDALES DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL

Para unirse a la Convención, cada país, como parte contratante, está obligado a designar al menos un ambiente acuático para ser incluido en a la Lista de Humedales de Importancia Internacional bajo el Art. 2.4 del tratado. Los ambientes se designan según los criterios establecidos e informando a la Secretaria mediante el llenado de una Ficha Técnica, preparada para tal efecto, donde se proporciona los datos sobre estado legal del humedal y el conocimiento científico sobre las condiciones ecológicas, las poblaciones de aves y peces. Esta información que deberá ser actualizada cada seis años, se maneja en el Banco de Datos de los Sitios Ramsar, y se comparte con Wetlands Internacional.

CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE HUMEDALES DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL

Los criterios para la identificación de ambientes acuáticos internacionales fueron adoptados por la 4a, la 6a, y la 7a Reuniones de la Conferencia de la Partes (COP) para asistir a los países en la aplicación del Articulo 2.1 sobre designación de sitios Ramsar, se refieren a la representatividad y singularidad del ambiente acuático, su importancia para la conservación de la biodiversidad y para el funcionamiento de las comunidades ecológicas, las aves y los peces. En la COP 4 se establecieron tres criterios referidos a la representatividad o la singularidad del humedal, a la flora y fauna y a las aves acuática; en la COP 6 se incluyó un cuarto criterio sobre la importancia de los peces y en la COP 7 se desarrollaron 8 criterios en dos grupos.

Los criterios para la Identificación de Humedales de Importancia Internacional modificados en la COP 7 son los siguientes:

Grupo A de los Criterios - Sitios que comprenden tipos de humedales representativos, raros o únicos

Criterio 1: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si contiene un ejemplo representativo, raro o único de un tipo de humedal natural o casi natural hallado dentro de la región biogeográfica apropiada.

Grupo B de los Criterios – Sitios de importancia internacional para conservar la diversidad biológica

Criterios basados en especies y comunidades ecológicas

Criterio 2: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas.

Criterio 3: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográfica determinada.

Criterio 4: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta especies vegetales y/o animales cuando se encuentran en una etapa crítica de su ciclo biológico, o les ofrece refugio cuando prevalecen condiciones adversas.

Criterios específicos basados en aves acuáticas

Criterio 5: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta de manera regular una población de 20.000 o más aves acuáticas.

Criterio 6: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta de manera regular el 1% de los individuos de una población de una especie o subespecie de aves acuáticas.

Criterios específicos en base a peces

Criterio 7: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si sustenta una proporción significativa de las subespecies, especies o familias de peces autóctonas, etapas del ciclo biológico, interacciones de especies y/o poblaciones que son representativas de los beneficios y/o los valores de los humedales y contribuye de esa manera a la diversidad biológica del mundo.

Criterio 8: Un humedal deberá ser considerado de importancia internacional si es una fuente de alimentación importante para peces, es una zona de desove, un área de desarrollo y crecimiento y/o una ruta migratoria de la que dependen las existencias de peces dentro o fuera del humedal.

FICHA TÉCNICA DE LOS SITIOS RAMSAR

La ficha informativa de los humedales Ramsar consiste en un formulario de 30 puntos, que debe ser llenados según las directrices que lo acompañan.

Se incluye la siguiente información: la fecha, el país, nombre del humedal, coordenadas geográficas, altitud, área, descripción resumida, tipo de humedal, Criterios de Ramsar, mapa, nombre y dirección de quién completo la ficha, identificación de criterios seleccionados , ubicación general, características físicas, valores hidrológicos, características ecológicas, principales especies de flora, principales especies de fauna, valores sociales y culturales, tenencia de la tierra o régimen de propiedad, uso actual del suelo, factores adversos, medidas de conservación adoptadas, medidas propuestas pero no implementadas, actividades de investigación, programas de educación ambiental, actividades turísticas y recreativas, jurisdicción, autoridad, y referencias bibliográficas.

Ficha técnica del lago Titicaca

La ficha para la parte boliviana del Lago Titicaca llenada por Jaime Sarmiento el 29 de Agosto de 1997, justifica la importancia internacional de este humedal haciendo referencia a su papel de regulador del microclima local, a los productos que ofrece y al desarrollo de las milenarias culturas andinas cuyas tecnologías agrícolas son todavía utilizadas. En 10 paginas el autor logra comprimir una gran cantidad de información científica, demostrado una gran capacidad de síntesis. En lo referente a las características biológicas, señala la fauna peculiar que incluye importantes endemismos para peces, algunos invertebrados y una ave y además anota que existen subespecies de distribución restringida y poblaciones confinadas al Lago, como elementos importantes para la conservación de la diversidad genética. En lo que se refiere a la ocurrencia de aves enfatiza la presencia de 94 especies, 40 especies son regularmente avistadas y 36 son acuáticas, entre ellas destaca el zambullidor endémico de alas atrofiadas *Rollandia microptera*. En cuanto a los peces, establece 27 especies del género *Orestias* con 23 endémicas, de las cuales una está considera extinta, el humanto (*Orestias cuvieri*), la boga (*Orestias pentlandii*) considerada Vulnerable y el ispi (*Orestias ispi*) un endémico muy importante para la pesquería. Asimismo, Sarmiento hace una relación de la flora acuática y terrestre destacando la importancia de la totora (*Schoenoplectus tatora*) que forma un cinturón vegetal alrededor del lago y constituye un lugar de desove de varias especies de *Orestias* , forraje para el ganado, materia prima para la construcción de balsas y hábitat favorito para diversas especies de aves. Entre los factores adversos anota el aumento de la contaminación doméstica, las actividades agrícolas y ganaderas en detrimento de la vegetación natural, pero sobre todo destaca la introducción de artefactos de pesca más eficientes, tales como las redes agalleras, lo que ha aumentado el nivel de pesca en perjuicio de las poblaciones de peces, siendo la probable causa de la desaparición del humanto y de la reducción del efectivo de la boga y del carache (*O. agassii*) en la actualidad. Otro factor que amenaza las poblaciones de peces es la introducción especies foráneas como la trucha y el pejerey, principalmente por el contagio de enfermedades a las poblaciones nativas. Entre los proyectos de desarrollo enumera el Programa Binacional de regulación de las aguas y manejo de la cuenca, la carretera hacia el Perú que aumentará el flujo turístico y comercial al área, y el desarrollo urbano y recreativo en las orillas de la parte boliviana del Lago debido a su cercanía con la ciudad

de La Paz; estableciendo que no se ha adoptado ninguna medida de conservación, pero que se prevé la creación de una área protegida con la implementación del Plan Director Global Binacional de protección y prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del Lago Titicaca. Asimismo reconoce que la cuenca constituye una de las zonas con mayor actividad científica a nivel nacional y concentra una gran actividad turística en el país, aunque no cuenta con programas de educación ambiental. Sarmiento propone que se incluya en el sitio Ramsar, además de la porción boliviana del Lago, la cuenca del río Suches porque siendo su principal afluente, constituye el nexo con el Area Natural de Manejo Integrado Apolobamba, territorios bajo la jurisdicción de la Prefectura del Departamento de La Paz, anotando que no hay ninguna institución responsable de la gestión del humedal.

Existe una actualización de esta ficha técnica realizada en septiembre del año 1998, cuyo contenido desconocemos; sin embargo, es necesario realizar una actualización de la misma al presente para incluir la caracterización del humedal según los criterios aprobados en la 7ma Conferencia de las Partes realizada en 1999, los avances realizados con el proyecto de Conservación de la Biodiversidad (ALT/PNUD 1999), y la aplicación de resoluciones de la Convención de Ramsar. También se debe precisar la función de la Autoridad Autónoma Binacional de la cuenca del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar establecido por notas reversales entre Perú y Bolivia, el 15 de junio de 1993, responsable de la aplicación del Plan Director Global Binacional antes mencionado.

RESOLUCIONES Y LINEAMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DE LA CONVENCIÓN

Durante las Conferencias de las Partes, la Convención de Ramsar realiza resoluciones y recomendaciones para el logro de su objetivo relativas a los diferentes aspectos políticos, jurídicos, sociales y de manejo técnico de los humedales. A continuación trataremos de resumir aquellos que pueden ser de utilidad para la gestión de los sitios Ramsar, en particular en el lago Titicaca.

El concepto de uso racional se ha convertido en uno de los distintivos de la Convención; según el párrafo 1 del Artículo 3 : las Partes Contratantes han de "elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca, en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales en su territorio". Pero como este concepto es difícil de aplicar, la Convención ha elaborado "Las Directrices sobre el uso racional". Las mismas que han apoyado a varios países para formular políticas nacionales de humedales. Una política nacional de humedales sirve de marco que hace posible sacar conclusiones sobre las acciones requeridas y el resultado final previsto. Ha de percibirse claramente cómo la situación variaría sí la política no existiera. Mientras que la profundidad no es critica, la amplitud lo es, es decir, debe incluir todas las cuestiones clave que afecten a los humedales, aunque la jurisdicción sobre algunas de ellas no radique en el organismos de origen de la política; dichas cuestiones comprenden la autoridad jurisdiccional sobre ordenación de los recursos naturales como los recursos hídricos, la planificación del desarrollo, el control de la contaminación, la educación y las relaciones exteriores.

En la COP 3 se estableció que "El uso racional de los humedales consiste en su uso sostenible para beneficio de la humanidad de manera compatible con el mantenimiento de las propiedades del ecosistema", entendiendo

como propiedades del ecosistema a "aquellos componentes físicos, químicos y biológicos, tales como el suelo, el agua, las plantas, los animales y los nutrientes, y las interacciones entre ellos". Además recomienda en el Art. 4 del texto de la Convención que se fomente la conservación de los humedales y de las aves acuáticas creando reservas naturales estén o no incluidos en la Lista

El anexo 2 de la Recomendación 4.2. (COP 4) sobre las medidas subsiguientes a la inclusión del humedal en la Lista, deja en libertad al país contratante para decidir, el estado jurídico del ambiente acuático y/o las medidas de protección aplicables más adecuadas en el momento de la designación, sin embargo, como se vio anteriormente, también establece que las Partes deben planificar la forma de favorecer la conservación de los humedales en la Lista y que deberán informar sin demora a la Secretaría, sobre modificaciones en las condiciones ecológicas de los humedales situados en su territorio e incluidos en la Lista, que puedan producirse como consecuencia de proyectos de desarrollo, contaminación o cualquier otro tipo de presión antrópica y al mismo tiempo tomar medidas rápidas y eficaces para prevenir y subsanar dichas modificaciones (Recomendación 4.8).

El Plan Estratégico 1997-2002 de la Convención de Ramsar haciendo eco de la Recomendación 6.3. incluye como su Objetivo Operativo 2.7. "Promover la participación activa e informada de las comunidades locales, incluyendo las poblaciones indígenas y en particular las mujeres, en las actividades de conservación y uso racional de los humedales". Enunciado que da lugar a una propuesta presentada en la COP 7 y que se desarrolla en los "Lineamientos para el establecimiento de procesos participativos destinados a las comunidades locales y las poblaciones indígenas en el manejo/gestión de los humedales"; la misma que consta de cinco puntos: introducción, resumen de lo aprendido, participación de la comunidad local, medida del alcance de la participación y prueba del enfoque participativo. Con la aplicación de estos principios en los estudios de caso se ha aprendido que es necesario brindar incentivos, confianza y continuidad para lograr una gestión participativa, asimismo, ser flexibles, mantener un intercambio de conocimientos y procurar construir capacidad al mismo tiempo. Este texto finaliza afirmando que la participación de las comunidades en el manejo es una buena herramienta para avanzar en el cumplimiento de la misión de la Convención de lograr el uso racional de todos los humedales.

CONCLUSIONES

El Lago Titicaca por su características geológicas, hidrológicas, físico - químicas y ecológicas; la peculiaridad de sus poblaciones de peces y de aves y su entorno socio-cultural constituye un humedal único en el mundo, digno de ser incluido en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención de Ramsar.

El Lago Titicaca fue incluido en la Lista de Ramsar gracias a la iniciativa del Gobierno del Perú que solicitó la inclusión de la parte peruana del Lago en 1996 y que fue secundado por las autoridades bolivianas en 1997, de tal forma que en la actualidad, el Instituto Nacional de Recursos Naturales del Perú viene realizando actividades de gestión de la Reserva Nacional Titicaca, manejo comunal de la totora, educación ambiental y otras actividades como punto focal de la Convención, además, la Autoridad Binacional del lago Titicaca

viene desarrollando el Proyecto Binacional de Conservación de la Biodiversidad en el Sistema TDPS (ALT/ PNUD 1999).

BIBLIOGRAFÍA

ALT/PNUD 1999. Memoria del Taller de Preimplementación "Proyecto Binacional de Conservación de la Biodiversidad en el Sistema T.D.P.S." Perú-Bolivia.

Convención de Ramsar, 1996. Manual de la Convención de Ramsar: Una guía a la Convención sobre Humedales de Importancia Inmternacional. (T.J. Davis, D. Blasco, M. Carbonell) Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

MDSP/DGB 1998. Ficha Técnica: Lago Titicaca, Parte Boliviana.

Sitio Web www/ramsar.org.

Descontaminación de aguas residuales con la Totora

Por: *Evelyn Taucer* [1] y *Margot Franken*[2]

RESUMEN

Existen varios sistemas de purificación de aguas servidas mediante macrófitas cuya aplicabilidad al ambiente del Altiplano boliviano se estudió. En base a estos estudios se ha diseñado una planta de purificación para la descontaminación de las aguas servidas de la bahía turística de Copacabana que consta de tres estanques en serie con substrato arenoso y plantaciones de totora con flujo de agua subsuperficial. Las aguas servidas domésticas originadas en el pueblo se llevan por un sistema de alcantarillado y una estación de bombeo a un estanque de sedimentación, elementos ya construidos por un proyecto anterior del FIS. La salida del sedimentador se adaptará para llevar las aguas al sistema de macrófitas lo que finalmente desemboca a peines de infiltración hacia el lago Titicaca.

SUMMARY

Several systems of water purification which use macrophytas plants, were studied facing its applicability to Highland Bolivian atmosphere. Based on these studies a purification plant has been designed for the decontamination of black waters of Copacabana bay. It consists of three ponds in series with sandy substratum and totora plantations with flow of sub superficial water. The black waters originated in the town are taken by a sewer system, then water flows from pumping station to a sedimentation pond. This is already built by a FIS previous project. The exit of the sedimentation pond will adapted to take the waters to the macrophytas system, and then, the flow goes for infiltration combs toward the lake Titicaca, finally.

1 Calle México 1790, 8C, Tel: 2490641, colquetau@unete.com, La Paz - Bolivia.

2 Instituto de Ecología, mvfranken@yahoo.com, Calle 27 Cota Cota, Tel/Fax: 2772522, La Paz - Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamiento de aguas servidas que utilizan vegetación acuática y semiacuática para la purificación de las aguas están distribuidos en todo el mundo. Se los puede diferenciar en varios tipos según las plantas acuáticas utilizadas. Los mecanismos de purificación se basan en la autolimpieza que realiza la misma naturaleza, con distintos procesos entre los sustratos, los microorganismos y las plantas superiores. (BAHLO & WACH 1992, VYZAMAL et al. 1997).

En general estos sistemas pueden ser diseñados para flujos variados desde casas individuales hasta pueblos de alrededor 10.000 habitantes también se utilizan para campos de recreo y para industrias.

Son sistemas de aplicación descentralizada que evitan los altos costos que representa el transporte de las aguas servidas hacia plantas grandes convencionales.

ANTECEDENTES

Para cumplir con el proyecto del ALT se identifico una población ribereña del lago Titicaca que ya contaba con un sistema de alcantarillado. Se decidió implementar la planta de tratamiento en la población de Copacabana que además de cumplir con los requerimientos anteriores es un lugar con mucha afluencia turística lo que hace necesario un mayor cuidado al medio ambiente y en especial a la calidad del agua en las riberas del lago. (MEDMIN/SERECO 2001, Informe 2)

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS

Las plantas acuáticas en general y en especial las plantas emergentes tienen varias propiedades que les hacen aptas para sistemas de purificación de aguas servidas. Muchas de ellas son adaptadas para vivir en lugares enriquecidos con materia orgánica y nutrientes. Tienen la capacidad de acumular nutrientes y otros iones en exceso, también de acumular sustancias tóxicas como metales pesados y sustancias orgánicas. Por ejemplo pueden absorber fenoles y transformarles por su metabolismo. Algunas plantas excretan bactericidas por sus raíces.

Todas las plantas emergentes introducen por su sistema de aerénquima oxígeno hacia sus raíces y el substrato adyacente de esta manera se forman espacios anaeróbicos y aeróbicos en el substrato lo que ayuda al proceso en descomposición de la materia orgánica presente en las aguas por otro lado en la rizósfera se aumentan significativamente las cantidades de las bacterias presentes. (BAHLO & WACH 1992, VYAMAL et al. 1997)

Se distinguen varios tipos de sistemas de tratamiento según las plantas utilizadas:

Sistemas con plantas flotantes por ejemplo el jacinto de agua y la lenteja de agua (Fig. 1); sistemas con plantas sumergidas por ejemplo *Elodea* y *Myriophyllum*, llamados llachu en el lago Titicaca (Fig. 2) y plantas emergentes como los juncos y la totora entre otros (Fig. 3). Los sistemas con plantas emergentes se distinguen en dos tipos: sistemas con flujo superficial (Fig. 3) y sistemas con flujo subsuperficial vertical (Fig. 4) o horizontal (Fig. 5). (VYZAMAL et al. 1997)

Entre las plántas emergentes de mayor uso están *Phragmites* sp., *Juncus* spp., *Typha* spp. y *Schoenoplectus* spp.

Estos sistemas tienen varias ventajas. Por tratarse de una tecnología de fácil aplicación no necesitan personal calificado en su operación y mantenimiento, no necesitan fuentes de energía. Es un sistema descentralizado que evita los costos de transporte de aguas servidas así que en su totalidad se trata de un sistema de bajo costo en la implementación, operación y mantenimiento. En muchos casos el agua puede ser reutilizada en la irrigación de jardines o campos agrícolas hasta ser reutilizada en la industria donde se aplica este tipo de tratamiento.

Si se aplica una técnica con flujo subsuperficial sea de aplicación vertical u horizontal se evita la producción de malos olores y plagas con mosquitos por tratarse de un sistema cerrado.

Los mecanismos de eliminación de contaminantes consisten en procesos físicos, químicos y biológicos, que abarcan la filtración y adsorción de las sustancias presentes en las aguas servidas por el substrato y las raíces de las plantas superiores, de la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos incluyendo los procesos de nitrificación y denitrificación bacteriana y de la absorción, acumulación y metabolización mediante las plantas superiores emergentes. (VYZAMAL et al. 1997)

DISEÑO DE LA PLANTA DE COPACABANA

Para la selección del sistema y su diseño se deben tomar en cuenta como factores principales los fines de la purificación, las características de las plantas nativas accesibles, el clima local, la topografía y la superficie disponible en el lugar de construcción.

En Copacabana ya se cuenta con un sistema de alcantarillado construido de dos subsistemas para las dos bahías (ver Fig. 6). En la bahía principalmente agrícola la desembocadura del alcantarillado se encuentra muy cerca de la orilla, en la zona de inundación, así que es posible construir una planta de purificación en este lugar. En la bahía turística el sistema incluye una estación de bombeo para llevar las aguas residuales fuera del área urbana y un tanque de sedimentación en la ladera adyacente a las orillas del lago. Además el sistema ya cuenta con unos pocos peines de infiltración de las aguas tratadas hacia el lago, los cuales se identificaron como insuficientes y de corta distancia para purificar el agua a un nivel aceptable para su descarga al lago. (MEDMIN/SERECO 2001, Informe 3)

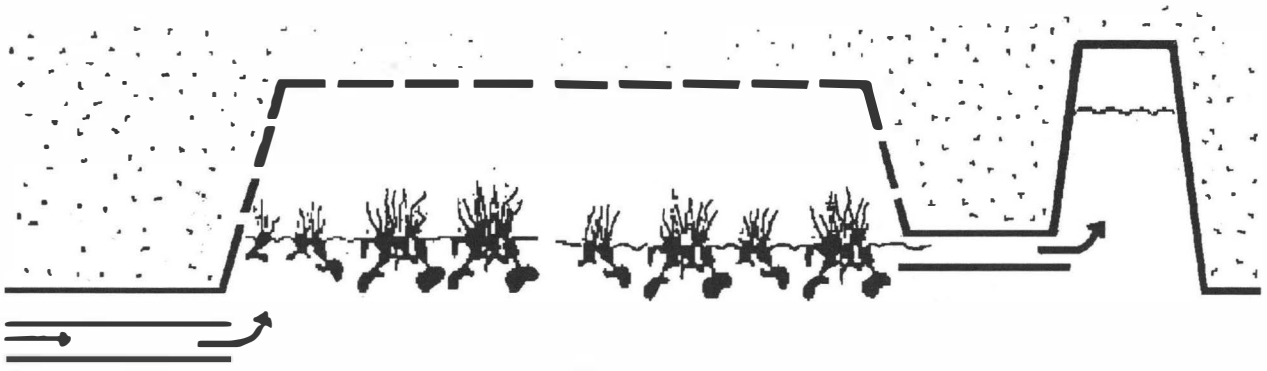


Figura 1
Sistema con macrófitas flotantes (pleuston) (según VYZAMAL et al.1997).

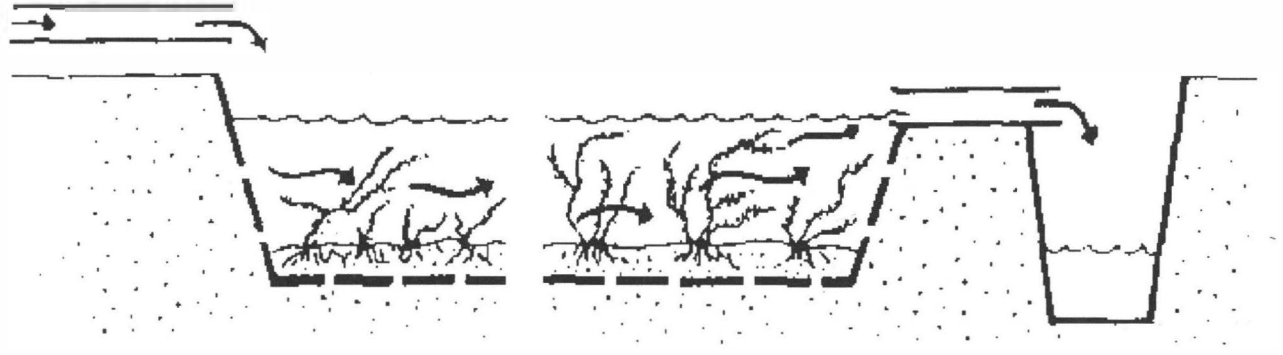


Figura 2
Sistema con macrófitas sumergidas (limnófitos) (según VYZAMAL et al.1997).

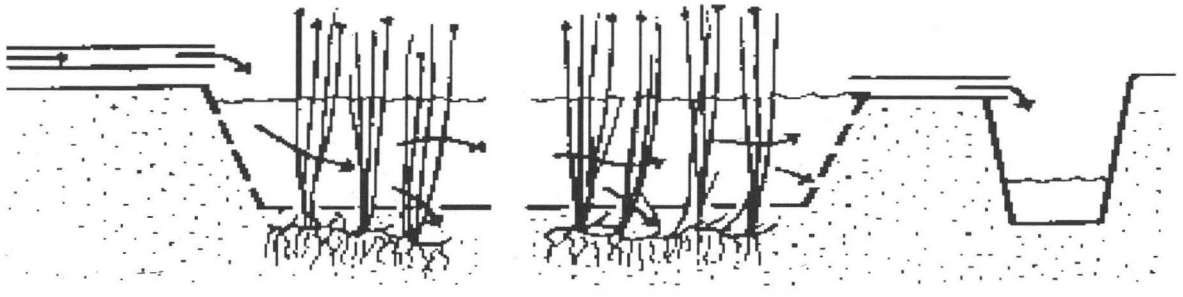


Figura 3
Sistema con macrófitas emergentes (helófitos) y flujo superficial (según VYZAMAL et al.1997).

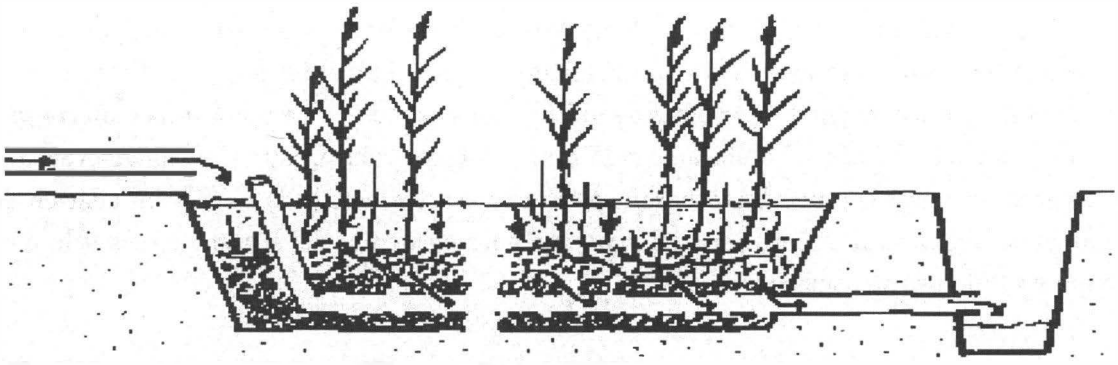


Figura 4

Sistema con helófitos y flujo subsuperficial vertical (según VYZAMAL et al.1997).

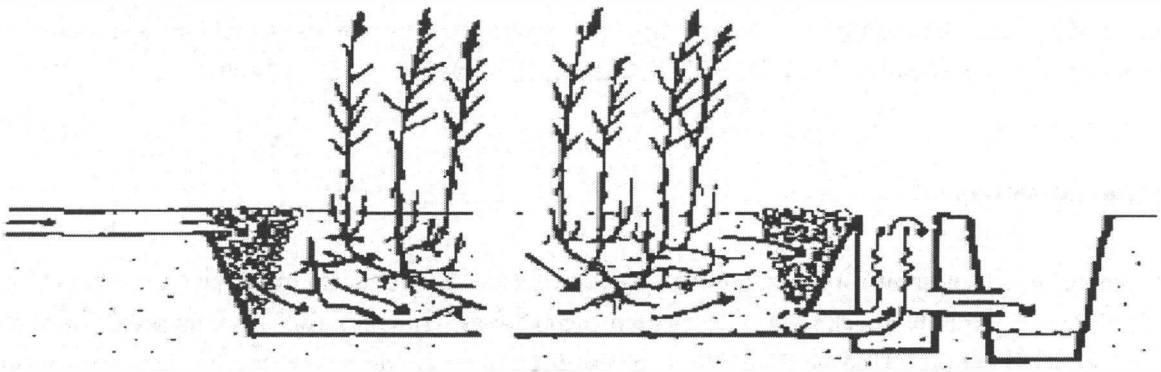


Figura 5

Sistema con helófitos y flujo subsuperficial horizontal (según VYZAMAL et al.1997).

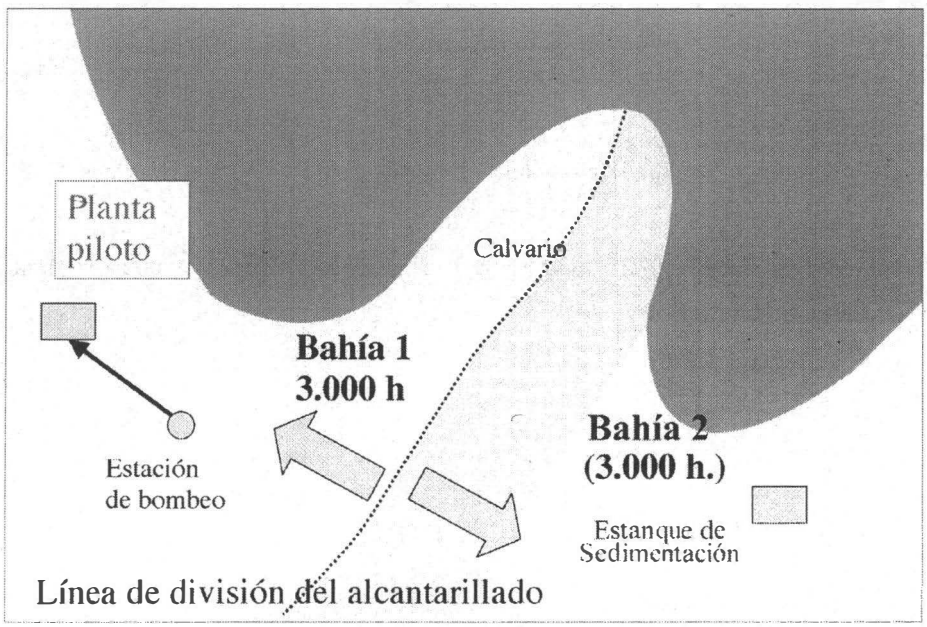


Figura 6

Ubicación de los sistemas de alcantarillado y de la planta piloto planificada en Copacabana.

La superficie disponible para adicionar un sistema de tratamiento ha resultado suficiente para el tratamiento de las aguas servidas de un máximo de mil personas debido a que el fin de la purificación es el vertido directo al lago Titicaca mediante los peines de infiltración existentes. Como se trata de un cuerpo de agua estancado y además el lugar está ubicado en la orilla de recreación turística las aguas evacuadas deben tener un grado de pureza óptimo. La topografía permite ubicarlos fuera de la zona de inundación utilizando el desnivel del lugar para el flujo libre del agua entre los elementos del sistema con la sola fuerza de la gravedad y sin un uso de bombas.

Al encontrarse a la totora como planta endémica y habiendo sido la misma probada con buen éxito en sistemas experimentales y pilotos se ha seleccionado como única planta ingrediente para los sistemas planificados. El clima local permite el crecimiento de la totora durante todo el año.

Finalmente se ha diseñado un sistema con tres estanques en serie con substrato arenoso plantado con totora y flujo subsuperficial. (MEDMIN/SERECO 2001, Informe 3)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todo el comité organizador y a los auspiciadores del Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca por haber hecho posible la presentación de este trabajo y al ALT por su preocupación sobre la contaminación del lago Titicaca financiando proyectos que traten de evitar este impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

BAHLO, K. & G. WAHLO (1992): Naturnahe Abwasserreinigung.- Edit. Oekobuch, Staufen bei Freiburg.

MEDMIN/SERECO (2001): Uso de totora para descontaminación.- Proyecto: Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS). Informes 2 y 3.- ALT/PNUD, La Paz.

VYZAMAL, J., H. BRIX, P.F. COOPER, M.B. GREEN & R. HABERL (1997): Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe.- Edit Backhuys, Leiden.

Investigaciones Sociales y Culturales

Mineros y Misioneros en el "Camino Real"
La integración del Titicaca en la economía del Altiplano (Siglos XVI–XVIII)

Por: *John G. Everaert* [1]

Palabras claves: Minas de plata; Mineros mitayos/asalariados; Oruro; Copacabana.

RESUMEN

Durante la segunda mitad del siglo XVI, las orillas del Lago Titacaca, densamente pobladas por indios Aymara, inspiraron un doble interés para la colonización española. De un lado, desde 1545 el cerro rico de Potosí atrajo a indios tributarios (Chucuito) y aún más a indios incorporados en las encomiendas privadas (Azángaro, Llampa) - concentradas esencialmente en la parte actualmente peruana - para trabajar sea como yanaconas, sea como mitayos en la famosa mina de plata. Por otra parte, misioneros domínicos y agustinos y después también jesuitas evangelizaron superficialmente a los Aymara, instalando "doctrinas" (misiones) y sustituyendo santuarios prehispánicos (Virgen de Copacabana). A finales del siglo XVI, el auge de Potosí provocó una intensa exploración del altiplano. Muchos pequeños yacimientos (Berenguela, Sicasica) fueron descubiertos, hasta que, en 1595, se abrió la gran mina de plata de San Miguel, lo que generó una segunda fiebre de la plata. La ciudad de Oruro, fundada en 1605-06, creció rápidamente; ubicada en la frontera minera, reunió una triple significación. Como centro minero, hacia 1670 su producción, casi exclusivamente extraída por mineros indígenas libres y asalariados, alcanzó la cuarta parte de Potosí. Oruro se convirtió en una etapa de tránsito importante en el "Camino Real" (ruta Lima-Arequipa-La Paz-Potosí), redistribuyendo el azogue originario de Huancavélica. Su impacto regional fue importante, tanto en el mercado laboral del altiplano como en el consumidor de víveres (Cochabamba) y de coca (Yungas). Entre 1680-1750, la producción platera en la comarca de Oruro disminuyó de tal manera que la población urbana y minera recayó en la cuarta parte, de lo que resultó un regreso de los indios al campo. Este crecimiento de la población rural, y la consecuente producción suficiente de alimentos, afectó a los valles tradicionales de abastecimiento. Durante la segunda mitad del

[1] Dpto de Historia Colonial y Marítima, Universidad de Gante, Blandijnberg 2, B 9000 Gante – Bélgica Tel. 32/9/360.13.72 Fax 32/9/264.41.75.

siglo XVIII, un restablecimiento se manifestó lentamente, a pesar de que la población urbana se estancó. Pero en la minería de plata, la Nueva España ya había tomado definitivamente la delantera al antiplano andino. Además, en 1781-82, rebeliones socio-políticas se desataron por indios (Titicaca), mestizos (Tupiza) y criollos (Oruro). El golpe mortal para la industria minera de viejo estilo ocurrió en el curso de los años 1800-1825. Cortadas de sus salidas europeas y de su aprovisionamiento de mercurio, afectadas por malas cosechas y epidemias (1803-05), y sobre todo siniestradas por la destrucción de muchos ingenios durante las guerras de independencia, las minas de plata se abandonaron. La industria platera, totalmente descapitalizada (1810-40), necesitaría una inyección financiera limeña y extranjera para poder introducir la nueva tecnología. Pero ésta se aplicó más para extraer el estaño.

SUMMARY

During the second half of the XVI century, the border of the Titicaca Lake, was densely populated by *Aymara* Indians. This land inspired a double interest for the Spanish colonization. From 1545, the rich hill of Potosí had attracted tributary Indians (Chucuito) and even more to Indians incorporated by private miners (Azángaro, Llampa) - concentrated essentially in the part at that moment Peruvian - to work as *yanaconas*, or as *mitayos* at the famous silver mine. On the other hand, missionary dominics and Augustinians and later Jesuits also evangelized superficially the Aymara people, installing doctrines (missions) and substituting prehispanic sanctuaries (Virgin of Copacabana).

At the end of the XVI century, the boom of Potosí caused an intense mines exploration at the highlands. Many small locations (Berenguela, Sicasica) were discovered. Until 1595, the very big mine of silver of San Miguel opened up. It what was the second silver fever. The city of Oruro, had been founded in 1605 – 06 grew quickly, Since it had been located at the mining frontier, it gathered a triple significance. as center miner, toward 1670. Their production, almost exclusively extracted by free and salaried indigenous miners, reached the fourth part of Potosí. Oruro became a stage of important traffic in the "Real route" (Lima - Arequipa – La Paz - Potosí), redistributing the mercury native of Huancavélica. Its regional impact was important, so much for the labor market as for provisions consumer from the valleys (Cochabamba) as well as for coca (Yungas).

Between 1680 - 1750, the silver production in the district of Oruro diminished in such way that the urban and mining population collapsed to the fourth part. So it was time for the Indians return to the field. The rural population's growth, producing foods sufficiently, therefore it affected negatively to supply of the traditional valleys.

During the second half of the XVIII century, a reestablishment showed slowly, although the urban population was stagnated. While the silver mining was leading by the New Spain definitively. Also in 1781-82, social and political rebellions guided by Indians (Titicaca), *mestizos* (Tupiza) and *Criollos* (Oruro).

The mortal blow for the old style mining industry happened in the course of the years 1800 - 1825. Cut from European markets and from mercury provisions, affected by bad crops and epidemics (1803-05) but mainly

sinister for the destruction of many miner's factories during the wars of independence, the silver mines were given away.

The silver industry, without capital (1810-40), would need a financial resources from Lima. It also required a injection and foreigners to be able to introduce new technology. It came but this was been applied to tin extraction otherwise.

INTRODUCCIÓN

La integración de la Cuenca del Titacaca en la colonización española delAltiplano se presenta como un díptico, compuesto por la minería y la evangelización.

En cuanto a la minería de plata, el aporte de la cuenca de los lagos Titicaca y Poopó se efectuó en dos etapas consecutivas. En una primera fase, a causa de su reserva demográfica, la cuenca suministró una mano de obra al Cerro Rico de Potosí, descubierto en 1545. Después, gracias a la apertura de nuevas minas de plata, más particularmente en la zona de Oruro, la cuenca realizó una producción propia.

EL MAGNETISMO DE POTOSÍ

Durante la época de Potosí, el régimen del trabajo minero mostró un sistema dualista, representando dos tipos fundamentales del trabajo "forzoso". De un lado, hubo mineros yanaconas, los cuales tuvieron con sus patronos una relación estrecha, permanente y personal, a pesar de no ser incorporados en comunidad. Sin embargo, la coacción fue menor: los yanaconas no pagaron un tributo regular a su dueño, pudieron también trabajar por cuenta propia y conservaron una libertad considerable de movimiento, hasta ir a trabajar en las fincas de los valles cercanos.

Ya los hermanos Pizarro reclutaron yanaconas en Porco, donde se encontraron minas de plata incaicas, para enviarlos a Potosí. También la llamada "provincia" de Chucuito - incluyendo los pueblos de Chucuito, Acora, Cepita, Ilavi, Julí, Pomata y Yunguyo, formando una "encomienda real" - envió un contingente anual de unos 500 obreros a Potosí, sea para el trabajo minero propiamente dicho, sea en vista de tareas de apoyo, como la refinación de plata, la construcción de molinos o el abastecimiento del personal. La masa salarial, reunida por estos yanaconas, sirvió para pagar los tributos de su comunidad, sea anualmente 30.000 pesos de plata y 1 000 telas de lana.

El segundo régimen de trabajo forzoso se constituyó de mitayos. La mita minera, aplicada por los españoles, fue la continuación del sistema incaico e implicó un trabajo temporal pero asalariado y según una formula rotativa, de manera que contingentes de mitayos hicieron la naveta entre sus comarcas natales y Potosí.

Inicialmente la zona de reclutamiento se extendió a todo el Perú, hasta Cuzco, Lima y Trujillo, territorio lejano el cual alrededor de 1.550 proveó unos 5.000 mitayos, sea acompañados de sus familias 20 a 25.000 de personas

displazadas a Potosí. También encomiendas limítrofas del Titicaca, tales como Asángaro y Llampa, proporcionaron obreros.

En 1572, el virrey Francisco de Toledo reformó la mita en dos planos. Primeramente el sistema mitayo fue estandarizado, de manera que el régimen del trabajo y de los salarios se regularizaron. En segundo lugar, se incorporaron en el reclutamiento obligatorio todas las encomiendas privadas. Por consiguiente, durante el período 1573-1648, la zona septentrional del Titicaca - territorio actualmente peruano pero antes bajo la jurisdicción del Cuzco - con sus 9.800 indios tributarios y desde luego potencialmente mitayos, envió periódicamente el 7% de su población tributaria como mitayos a Potosí. Más tarde, estas encomiendas privadas se sustituyeron sistemáticamente por corregimientos, sea circonscripciones administrativo-territoriales bajo el control de funcionarios reales, los llamados "corregidores de indios", bastante mal asalariados y por eso inclinados a abusos.

La ya mencionada provincia de Chucuito, por ser una encomienda real y además densamente poblada, se vió aún más recargada. En 1572, encontrándose ya más de 500 yanaconas suyos en Potosí, se le reclamó un contingente extra de unos 500 mitayos, lo que aumentó el total de los trabajadores mineros contratados hasta 1.100 aproximadamente. Por efecto de la intervención de Matienzo, el aporte de Chucuito fue doblado hasta 2200 mitayos requisidos, en compensación de la menos presión sobre los Uros, declarados "incapaces y no aptos al trabajo".

Conocemos bastante bien el procedimiento y el ambiente del reclutamiento mitayo. Para la provincia de Chucuito, las autoridades coloniales dispusieron de un "padrón", un registro minucioso de los mitayos, con inclusión de los miembros de familia y de los animales de carga. A lo largo de la mobilización, se efectuó un triple control para combatir la deserción: primeramente a la salida, sea a la desembocadura del Desaguadero, punto de reunión y hasta hoy lugar de negocios y de contrabando; luego a la llegada en Potosí; finalmente al regreso a Chucuito. Alrededor de 1600, su cuota alcanzó a 2.150 mitayos - número compuesto mayormente de casados (75%), de solteros (20%) y de viudos (5%) - y bajo la dirección de sus 475 curacas, lo que representó un contingente total de unos 7000 personas.

Puesto que Chucuito fue una zona de renombre para criar llamas, a la caravana humana se la acompañaron unas 11700 bestias de carga con víveres y vestidos. Este cargamento será parcialmente consumido y/o vendido en Potosí. Pero los animales también se los vendió en parte, empleándose el producto para alquiler a mingas (trabajadores reemplazantes) o saldar tributos. Todo esto significa que la riqueza acumulada del distrito de Chucuito fue mayormente drenada hacia Potosí. Sin embargo las condiciones de trabajo en el cerro de Potosí fueron penosas: los mitayos trajinaron 23 semanas al año, continuamente ocupados en turnos de día y de noche, entre 400 y 600 metros de profundidad.

La mita minera se minó por tres canales, clasificados en orden de importancia. Primeramente la deserción pura y simple: bastantes mitayos pasaron a la clandestinidad, escondiéndose en los cañones y barrancos de los alrededores; otros huyeron al valle de Cochabamba, donde alquilaron sus servicios para actividades agrícolas. El resultado final de este fenómeno continuo fue la despoblación parcial de la provincia de Chucuito. De

verdad, cerca de 1625, unas 2000 familias ya hubieron mudadas a los valles fértiles de Cochabamba, Mizque y Aiquile; en algunos pueblos indios, solamente una de cada diez casas todavía fue habitada. En segundo lugar, se notó una migración voluntaria con destino a los núcleos urbanos, donde los campesinos se ofrecieron a tareas privadas e ilícitas para colonos españoles y curas de parroquias,hasta para sus propios curacas. Así, en 1633-34, en la provincia de Pacajes - al sur del Titicaca - sólo 500 de sus 1300 mitayos fueron movilizables, porque muchos indios emigraron a La Paz para servir a los vecinos españoles; se instalaron en la anonimidad, cambiando de nombre y disimulando su origen. Pero el factor de erosíon más importante fue el trabajo asalariado atractivo, encontrado en los nuevos centros mineros. En esta perspectiva, el competidor más serio de Potosí, será Oruro.

ORURO, LA RIVAL

En el curso del último cuarto del siglo XVI, las vetas superiores - a la vez las más ricas - del cerro de Potosí se agotaron gradualmente, lo que provocó una prospección de la zona limítrofe delAltiplano. La campaña minera llevó nuevos hallazgos, tales como el pequeño pero importante centro de Berenguela (finales de siglo XVI) y los yacimientos de Sicasica (1600) y Garzimendoza (1603)/salar de Uyuni). Esta intensa búsqueda de nuevos depósitos de plata fue efectuada por pequeños mineros delAltiplano, los cuales colonizaron la región Urú, zona promovida al corregimiento de Paria.

El descubrimiento, en 1595, de la mina de plata de San Miguel, cerca de Oruro, desató un nuevo "silver rush", apoyado por los capitales y el "know-how" del distrito de Pacajes. El núcleo minero de San Miguel creció rápidamente y contó con 3.000 mineros indígenas y 400 vecinos españoles. Este desarrollo abrupto culminó en la fundación oficial (1605-06) de Oruro; su población aumentó de 30000 habitantes en 1607 hasta el apogeo demográfico de unos 80000 en los años 1670.

La importancia de Oruro, situada en el "mining frontier", fue cuádruple. Como nuevo centro platero alcanzó a extraer la cuarta parte en comparación con la producción de Potosí. Como Oruro no gozaba del permiso real para la mita minera, el reclutamiento de mineros se efectuó únicamente gracias al trabajo asalariado libre. A pesar de los elevados gastos de explotación necesarios para construir pozos y galerías, se ofrecieron salarios atractivos de 5 reales el jornal para mineros simples y de más de 1 peso para obreros especializados. Esta alternativa cara, siempre en busca de manos de obra libres - esencialmente indiosAymara del altiplano - salió en perjuicio de Potosí. En cambio, el resultado socio-demográfico fue que Oruro, acogiendo una población mixta de cholos muy dinámicos y de mestizos con aspiraciones sociales, se transformó en una ciudad mas abierta, pero bastante violenta, situación que fomentó importantes rebeliones antirealistas en el siglo XVIII.

En segundo lugar, Oruro se instaló como una etapa de tránsito importante en la ruta terrestre Lima-Arequipa-La Paz-Oruro-Potosí. Paralelamente se encumbró hasta ser centro de redistribución del azogue, amalgama indispensable en la extracción platera y transportada desde Huancavélica por el Callao-Arica-Oruro.

En cuanto a su impacto regional, por ser una zona básicamente pobre y agriculturalmente estéril, Oruro dependió para su abastecimiento en víveres del valle subtropical de Cochabamba y para su coca de los Yungas.

Finalmente, gracias a su riqueza minera, Oruro conoció una expansión urbana y vivió un florecimiento cultural. Este se manifestó en la construcción de iglesias y por la actividad de artesanos y artistas indígenas, los cuales crearon un estilo "criollo", influído por elementos indios y cholos.

LA CRISIS MINERA

Durante la segunda mitad del siglo XVII, la producción de plata, tanto en Potosí como en Oruro, se contrajo. A su vez, la crisis minera ocasionó una reducción demográfica: los mineros indígenas libres regresaron a sus campos y la población urbana de Oruro decayó en unos 20.000 habitantes. Simultáneamente, ocurrió una recaída de los mercados de abastecimiento de manera que se reinstaló un minifundismo en el valle de Cochabamba.

Desde mediados del siglo XVIII, la minería de plata logró a restablecerse lentamente, pero cumplió sólo la mitad del "silver boom" de los principios del siglo anterior. En efecto, en la producción de plata, la Nueva España/México tomó definitivamente la delantera del altiplano andino. La población urbana se estancó y finalmente rebeliones socio-políticas se declararon: en 1781, Andrés -primo de Tupac Amaru - controlaba las orillas orientales del Titicaca, mientras que Jacinto Rodríguez dirigió una sublevación criolla en Oruro. Estos disturbios fueron sofocados sangrientemente por los Españoles, causando así la eliminación socio-política de la clase dirigente india.

Alrededor de 1800, las guerras napoleónicas interrumpieron las entregas de azogue, producido en Almadén/ España, y cortaron las rutas marítimo-comerciales. Por mayor desgracia, malas cosechas y epidemias se declararon en 1803-05. Todo esto provocó una depresión general de la producción platera. La proclamación de la república en 1825 rompió completamente los lazos económicos tradicionales, situación agravada por las guerras de independencia, implicando la destrucción y/o el abandono de muchas minas de plata. El resultado final fue que a lo largo de los años 1810-40, se acabó la descapitalización casi completa de la minería de plata. El relanzamiento de la industria minera hacia finales del siglo XIX, ya no se basará más en la plata, sino en el estaño.

EL PROCESO DE EVANGELIZACIÓN

En cuanto a la estrategia y las técnicas misioneras, la cristianización de la cuenca del Titicaca se desarrolló en dos terrenos culturales: la lengua de predicación y enseñanza y la devoción indígena. De acuerdo con los concilios pan-peruanos, los misioneros promovieron el quechua como "lingua franca" en el Altiplano, de manera que en los valles sub-puna las lenguas indígenas secundarias tendieron a desaparecer. Solamente la cuenca del Titicaca, con su población densa y de lenguaje Aymara, formó una excepción. Como misioneros llegaron consecutivamente diversos órdenes. Desde 1534, los Domínicos se establecieron en Chucuito, tierra de realengo y centro de sus operaciones misioneras. Cuando surgieron conflictos entre los frailes y el corregidor real a propósito de la administración y de impuestos, los padres abondonaron finalmente sus "doctrinas" (núcleos de

evangelización). En 1576 las parroquias originalmente dominicanas se cedieron parcialmente a clérigos seculares o fueron transferidas (Llampa, Pomota, Cepita, Copacabana) a los Agustinos. Unicamente Julí se confió a los Jesuitas, originarios del colegio de Cuzco.

Los Jesuitas desarrollaron el pueblo grande de Julí en una "doctrina"-modelo, sirviendo de campo de experimentación para sus futuras misiones del Paraguay y posteriormente del Oriente. A eso de 1583, los padres instalaron un colegio "extra-universitario" para hijos de caciques. Esta escuela, con sus tres ramas de educación - enseñanza primera, estudios intermedios y superiores - formó a jóvenes catequistas en vista de la cristianización de los indios. También funcionó un teatro religioso con muchachos indios representando diálogos hasta una comedia en lengua aymara. La traza arquitectónica del conjunto conventual respondió a la necesidad de evangelizar muchos indios: la iglesia, de una sola nave, fue muy espaciosa en vista de la endoctrinación masiva; por delante, se halló un gran atrio rodeado de muros; el complejo tuvo una capacidad de 10.000 personas.

Con objeto de acaparar la devoción indígena, los misioneros promovieron dos santuarios con advocación de mayor consideración popular. En Copacabana, centro tradicional de la religión aymara, la virgen "miraculosa" alcanzó mayor popularidad. Según la tradición la esculpió toscamente el indio Tito Yupanquí. Ya en 1582, se fundó una cofradía, constituida de curacas. El éxito del culto mariano se explica por ser el símbolo vital a la vez del sincretismo religioso-cultural y de la resistencia socio-política. En efecto, la mora Virgen de Copacabana operó como factor de mobilización psicológica contra los opresores blancos; en general, las rebeliones indígenas, a pesar de ser completamente anti-españolas, quedaron fuertemente católicas, incluso ser impregnadas de un simbolismo mesiánico.

De menor reputación fue el santuario de Pucaraní, situado al sureste del lago Titicaca. Por causa de milagros atribuídos durante una epidemia de viruelas, la veneración de la Madre de Dios se inició en 1589. La fama de la peregrinación fue bastante grande para que aquí también se fundara una cofradía con cuantisas rentas.

CONCLUSIÓN

A manera de conclusión, por ser la cuenca del Titicaca un territorio densamente poblado y relativamente desarrollado, ya muy tempranamente los españoles se interesaron en la comarca. En una primera fasa (siglo XVI), los recursos humanos fueron movilizados como mitayos para la industria minera de Potosí. Pero con la explotación de nuevas minas de plata en los alrededores de Oruro (siglo XVII), mineros libres y asalariados se desplazaron dentro de la cuenca misma. A lo largo de la época de 1650-1840, una crisis minera y demográfica alcanzó la región con altibajos hasta que su industria minera se orientó definitivamente hacia la extracción del estaño. Paralelamente el proceso de cistianización se realizó, a la vez respetando la identidad de la lengua Aymara, pero reajustando la devoción indígena en el culto de la Copacabana.

BIBLIOGRAFÍA

F. de ARMAS MEDINA, Cristianización del Perú (1532-1600), Sevilla 1953.

P. BAKEWELL, Miners of the Red Mountain. Indian labor in Potosí (1545-1650), Albuquerque 1984.

M. BELTRÁN ÁVILA, Capítulos de la historia colonial de Oruro, La Paz 1925.

J.A. COLE, The Potosí mita (1573-1700): compulsory Indian labor in the Andes, Stanford 1985.

A. CRESPO R., Historia de la ciudad de La Paz (siglo XVII), Lima 1961.

J.R. FISHER, Silver mines and silver miners in colonial Peru (1776-1824), Liverpool 1977.

B. LARSON, Colonialism and agrarian transformation in Bolivia: Cochabamba (1550-1900), Princeton 1988.

S. O'PHELAN GODOY, Rebellions and revolts in eighteenth century Pau and Upper Pau, Köln 1985.

G.A. OTERO, La vida social del coloniaje. Esquema de la historia del Alto Perú, hoy Bolivia, de los siglos XVI-XVIII, La Paz 1942.

F. PEASE, Del Tawantinsuyu a la historia del Perú, Lima 1978.

J. de la PUENTE BRUNKE, Encomienda y encomenderos en el Perú, Sevilla 1992.

N. SÁNCHEZ-ALBORNOZ, Indios y tributos en el Alto Perú, Lima 1978.

G. SEMPAT ASSADOURIAN, Mineriá y espacio económico en los Andes (siglos XVI-XX), Lima 1980.

La música étnica en Bolivia
Estado actual de las investigaciones

Por: *Ferdinand De Hen* [1]

RESUMEN

La música étnica boliviana se bifurca en dos grandes componentes: la arqueología musical delAltiplano y la música étnica actual.

La música arqueológica fue investigada por Raoul y Margarita d' Harcourt durante los años '25 y por otros como Robert Stevenson y el Padre José Díaz Gainza. Falta mucha información para hacerse una idea más o menos correcta de lo que fue. La música étnica actual ha sido investigada principalmente por Henry Stobart que ha publicado un resumen de la música étnica boliviana. Sin embargo existen muchas lagunas y faltan estudios en torno a la danza y la coreografía, la sociología musical, los sistemas modales, la música urbana, la música pluri-étnica y otros temas inherentes.

La organografía es conocida gracias al trabajo del charanguista Ernesto Cavour, quien cuenta con un Museo en la ciudad de La Paz. Asimismo existe el museo de la Universidad Autónoma Tomás Frías en Potosí.

La música y danza étnicas bolivianas autenticas desaparecen a gran velocidad, debido entre otras razones a la misiones evangelistas. El gran problema en Bolivia ha sido la falta de investigadores en el país en torno a este aspecto.

Debido a esta razón fue creado el Instituto Boliviano de Etno-Musicología, cuya forma de trabajo fue la educación en torno a nombres de instrumentos a estudiantes quienes luego de una prueba teórica así como práctica (manipulación de cámaras o de registradores acústicos) se los envió a diferentes poblaciones en el Altiplano, los Valles y el Oriente a fin de registrar la música y filmar las danzas durante la realización de fiestas. De esta manera investigadores bolivianos así como la población en general pudieron contar en el

[1] RoyalAcademy of Overseas Sciences, rue Defacqz 1/3 B-1000 BRUSSELS (Belgium). Telf.: +32.2.538.02.11, +32.2.538.47.72, Fax: +32.2.539.23.53. E-mail: kaowarsom@skynet.be

Instituto Boliviano de Etno-Musicología con información entre los cuales se hallan más de cien filmes. Pese a esto, muchos elementos escaparon a la investigación.

SUMMARY

The Bolivian ethnic music forks in two big components: the musical archaeology of the highlands and the current ethnic music.

The archaeological music was investigated by Raoul and Margarita d'Harcourt during the '25 years and by other as Robert Stevenson and the Father José Díaz Gainza.

The current ethnic music has been investigated by Henry Stobart. He has published a printed summary of the Bolivian ethnic music. However, there are many tribal lagoons, about several topics such as the dance and choreography, the musical sociology, the modal systems, the urban music, the pluri-ethnic music and other adherent problems.

The native musical instruments are well-known thanks to the work of the *charanguista* Ernesto Cavour. We can visit the collections of the Cavour's Museum in La Paz and the small museum at the University of Tomas Frias in Potosí.

The music and the authentic Bolivian ethnic dance is disappearing at great speed, among other things because of the evangelist missions. The great problem in Bolivia was the lack of investigators in this aspect on the country.

For this reason the Bolivian Institute of Ethno-Musicology has been created at the University of Potosí. The way for working there was to instruct students, with more theoretical testing than practice (manipulation of cameras or tape recorders). Then they were send to the rural fairs at different localities at the Highlands, the Valleys and the EaLowlands in order to register the music and to film the dances during the parties. In this way Bolivian investigators or others could watch them at the Bolivian Institute of Ethno-Musicology where more than a hundred films and even a lot more ethnic music was archived.

Nevertheless to this aspect, many elements delayed the investigation in Bolivia. In order to narrow with the general topic of the congress, I would like to speak about the production of flutes made by bones of big *Wallata* for the peasants, those flutes are marketed in Potosí, where the musical system is different from that of the Titicaca Lake basin.

INTRODUCCIÓN

La música étnica boliviana se bifurca en dos grandes componentes. Por una parte la arqueología musical del Altiplano (no se conoce nada de la arqueología musical del amazonas), por otra la música étnica actual. La primera es la música generada antes de la época de los conquistadores, la segunda antes de la época colonial.

La música étnica actual se divide a su vez en dos partes: la música étnica genuina y la música popular urbana.

A decir verdad, pocos investigadores de valor se atrevieron a describir y analizar los materiales excavados. Los tres más importantes fueron Raúl y Marguerite d'Harcourt (p.e. La Musique des Incas et ses survivances), el americano Robert Stevenson (Music in Aztec and Inca Territories (1968) y el autor boliviano, Padre José Díaz Gainza (Sistema Musical Incásico).

Sorprendentemente, todos los autores mencionados estudian únicamente la música de los Incas, sin embargo hubo una vida musical intensa en Bolivia, antes de los Incas especialmente en la región del lago Titicaca con la cultura Tihuanacu. En La Paz se conserva aún una estatua muy conocida, que es la del "lautista de Pán".

Existen flautas mucho más antiguas conservadas en el Museo Arqueológico de la Universidad Mayor de San Simón en Cochabamba, al igual que raspadores hechos de huesos de llamas, una flauta y un ocarino remontándonos así hasta la cultura megalítica, 30 km. al sur de Cochabamba.

Es sorprendente que los hallazgos antiguos de la cultura Mochica así como la de la cultura Nazca en Perú, generalmente sean discutidos en las publicaciones, pero nunca o muy raramente los de Bolivia.

Sorprendentemente los sikus o antaras de los Mochica o Nazcas existen también en Bolivia. la mayor parte de estos instrumentos exhumados fueron hechos de barro, aquellos que fueron hechos de hueso, madera o caña no resistieron el tiempo.

Probablemente en estos tiempos también se conocieron las flautas, flautas de Pán y trompetas hechas en plata o en oro, sin embargo estas fueron fundidas por los conquistadores.

Un texto de Orsúa y Vela, titulado "Historia de la Villa Imperial de Potosí" prueba de la existencia de instrumentos similares (Diciembre 1622): "*lo campesinos traían también unos cañoncitos de plata alternativamente puestos a manera de órgano, lo que llaman los indios ayarichis....*"

Los hallazgos restantes nos informan entre otras cosas, sobre la evolución de las posibilidades técnicas, musicales y orgánicas. Se conocían flautas de Pán simples y dobles, flautas con o sin digitación equidistante, sistemas musicales pentafónicos, diatónicos (como de los incas) o el uso de microtonos (como de los hombres de Nazca), el color y la talla de los instrumentos fueron índices de la situación social del propietario, etc..

El uso de estos instrumentos cubre un área importante, sólo la concha es limitada al litoral. Curiosamente en Bolivia nunca la concha fue imitada en barro como lo hacían los Aztecas y pueblos aliados. La aculturación es antigua, elementos musicales tomados de las tribus sometidas por otras como los conquistadores.

Es peculiar, pero algunos instrumentos nunca fueron aceptados, sin embargo otros sí lo fueron sin problema, como por ejemplo el arpa, el violín, la guitarra o el laúd.

En una escuela fundada en Copacabana, por los monjes españoles en el siglo XVII , los niños indios recibían una educación cristiana es decir una educación occidental, donde se les enseñaba a tocar los bajones, xirimias y otros instrumentos. Hubieron estudiantes muy virtuosos, sin embargo los indios nunca aceptaron, asimilaron o imitaron estos instrumentos de viento, a pesar de que la sonoridad estridente del xirimia convenía a la estética musical de los indios.

Desde el punto de vista de diferentes fuentes literarias, se debe mencionar a dos españoles que han legado información importante: un Diccionario Quechua, por Diego González Holguín publicado en 1608 y un Diccionario Aymara, por Ludovico Bertonio publicado en 1612. Ambos autores dieron una descripción detallada y muy exacta de diferentes tipos de flautas, flautas de Pán, etc., con la terminología justa.

Por otro lado se debe observar que se trata de lenguas de dos de las culturas más grandes y aunque los mismos fueron utilizados hasta inicios del siglo XVII, nada fue hecho por las lenguas Mochica y Puquina.

Además aparentemente las tribus situadas en el interior, en dirección al Amazonas, no se las tomaba en cuenta.

Se trata casi exclusivamente de la descripción de instrumentos musicales que a veces también eran utilizados para rituales llamados paganos. Se debe esperar hasta el siglo XIX para contar con transcripciones de la música.

En 1844, el francés Alcides d'Orbigny fue el primero en su "Voyage dans l'Amérique méridionale", editado en París, que legó diversos ejemplos de canciones indias de los Chiquitos y de los Morotacas.

Una relación del boliviano Melchor María Mercado no publicada pero conservada en la Colección Rûck de la Biblioteca Nacional boliviana rinde cuenta de la música de los indios del Beni y de los Moxos, ilustrando su relación de ejemplos musicales. No olvidamos que a partir de 1948, en la ciudad de La Paz, se publican varios estudios sobre la música.

En varios aspectos, la situación es un poco diferente en cuanto atañe a la música étnica *stricto sensu* en Bolivia, a juzgar por el hecho de que se trata de tres grupos claramente distintos:

- primero, los Indios del Altiplano con sus culturas muy antiguas precedentes,
- segundo la población negra y los mestizos que viven principalmente en los Valles de los Yungas y
- las tribus y poblaciones indias que viven en la selva tropical o subtropical.

Aunque existen muchos estudios de caso específicos (suscitos y limitados), ninguno de los tres grupos antes mencionados fue estudiado en su totalidad de manera seria. Las tentativas hechas hasta hoy para agruparlos y para describir en términos generales la cultura musical específica estriban en criterios diferentes y frecuentemente no tocan la materia.

Algunos autores los agrupan conforme al grupo lingüístico (Quechua, Aymará..), otros según la situación geográfica (Altiplano, Amazonas, Yungas) y otros conforme al color (Indios, mestizos...) o también campestre vs. urbana.

Cada una de estas clasificaciones pueden ser discutidas, los criterios que forman la base de la clasificación están descritos de manera confusa, ya que los autores no conocen bien la cultura musical para poder describirla o están seleccionados arbitrariamente.

Asimismo es posible otra clasificación, según el material tonal (es decir bi, tri, o tetratonal) como por ejemplo: en un radio relativamente importante (en el Cuzco) pueden escucharse melodías bi-focales, en cambio, al sur de Potosí y en la región de Tarija hay canciones que usan solamente los tres tonos de la triada, en tanto que trova melodías con cuatro tonos en las provincias Aroma y Pacajes, así como en varias partes de los Andes.

Melodías con cinco tonos pueden encontrarse comúnmente en elAltiplano (estas melodías pentatonas serían de origen incásico).

Un error que debe ser remarcada de esta clasificación es estar fundamentada sobre un número insuficiente de canciones y melodías registradas y transcritas en notación occidental.

Además estas clasificaciones son colmadas de datos muy diferentes o de descripciones de fenómenos muy diversos. Nunca estos datos fueron examinados de manera uniforme para las tribus y poblaciones de todo el territorio.

El artículo sobre la música étnica boliviana en la gran enciclopedia anglo-americana, The New Grove's Dictionary of Music and Musicians, es un caso muy típico. Describen que la música de Tarija y sus alrededores se caracteriza por melodías de tres tonos y que esta música es sobre todo vocal. Se usan portamentis y se añaden algunas trompas con nombre de Caña, de Pututu y de Erque.

Sobre la música de los Aymaras se piensa que anteriormente, fue únicamente instrumental pero este hecho es falso. En lo que se refiere a las tribus selváticas, la New Grove concluye que se conoce poco de ellas. En fin del artículo una pequeña observación: se dice que los Sirionós no tienen instrumentos, instrumentos rítmicos primitivos (dato que carece de veracidad).

Por lo general podemos decir que la música tradicional de los Indios de Bolivia es desconocida en su totalidad. La música étnica en muchos lugares sufre, especialmente en el Amazonas, de la evangelización por parte de religiones evangelistas, que a cualquier precio intentan extirpar la música étnica original de los Indios y sustituirla con música de calidad muy inferior desde el punto de vista musical.

Un ejemplo de lo que puede ocurrir, con la influencia de los misioneros es que Indios acepten los sistemas tonales extranjeros y desaprueban sus sistemas ancestrales y auténticos. Sin embargo, de la confrontación

de diferentes sistemas auténticos podría generar mucha información histórica. Actualmente se troban ya flautas con seis o siete aberturas digitales en lugar de flautas auténticas con tres o cuatro aberturas digitales.

Por lo demás, la aculturación ha permeado estas culturas selváticas por vía de cassettes y otras formas de multimedia. La música es influenciada también por este lado.

Por lo que toca a la música de los Afrobolivianos y mestizos, hasta hoy la misma es casi ignorada, no obstante la influencia de los futuros Afrobolivianos comienza ya en otros tiempos. Según documentos en los Archivos Nacionales de Sucre (Escr. Publi. Aguila 1568, folio 226 ff) los negros fueron seleccionados, en el siglo XVI, para enseñar bailes en una escuela de música. Otro indicio, el 26 de abril de 1716 "el Rey y la Reina de Angola" danzaron en Potosí. Hermandades negras por la música existieron anteriormente facilitadas por la existencia de hermandades similares en Andalucía.

Otra de las ramas de la Etnomusicología boliviana es la música para la diversión. Los estilos de esta música en Bolivia no corre el riesgo de desvanecerse en el tiempo debido a que estos estilos forman la mayor parte de la música urbana, que es como de costumbre, comercialmente explotada y editada en gran número por medio de cassettes, discos, discos compactos, lo cual hace que esta música se conserve. Además estos estilos y géneros no están limitados a la frontera, los mismos podrían escapar a la investigación en Bolivia, sin embargo podrían ser estudiados en un país vecino. Hasta hoy, la música pop y la música mundialmente conocida constituyen un fenómeno que jamás se ha investigado en Bolivia.

¿Cuáles son los elementos que forman parte de la música para la diversión?

Existen tres y son diferentes. Los orígenes geográficos y étnicos; de los influjos y ascendentes que resultan en un estilo de la música en cuestión, es decir de la influencia de la población original, los indios de los conquistadores y los colonos; y por último de los africanos importados como esclavos durante los siglos precedentes.

Inmediatamente se ve que la influencia de los indios son insignificantes y limitadas a los Indios del Altiplano, la influencia emana de los pueblos indios del Pantanal o del Oriente o de otras regiones vecinas del Brasil. La influencia de los Afrobolivianos de los Yungas es quizás un poco más grande, pero no preponderante. Concluimos que el ascendente más importante es de origen castellano.

Por 1960, en todos los países de América del Sur nace una conciencia de los propios valores culturales la cual apunta a la dominación económica de los Estados Unidos de la época. El latinismo americano es expresado en la "nueva canción" y acentuado por elementos que se refieren claramente a uno o más componentes mencionados anteriormente. El ideal pan-pandino será representado visualmente por el uso de por ejemplo ponchos y auditivamente por el uso de ritmos de bailes nacionales como la cueca.

Elaboran, a criterio de su origen geográfico, elementos del rock americano puesto que esta música es considerada como música de protesta contra la imposición. Más tarde, la nueva canción censurada, cambiará de dirección y volverá al "canto nuevo".

Desde sus inicios, Bolivia es un país importante en la difusión de la música llamada pan-andina. Ernesto Cavour y su grupo Los Jairas del Club Peña Naira en la ciudad de La Paz, reconocen, rehabilitan y aprecian nuevamente la música y la cultura de los Indios y de los mestizos en sus canciones. Cavour y su grupo son tan populares que imponen nuevamente el modelo mismo de la música pan-andina.

En lo sucesivo se comienza a tocar la música en Bolivia vistiendo un poncho y con instrumentos indios como los Charangos, Sikus o Quenas, al igual que en Chile. Las peñas demasiado populares subyugarán al tema comercial: música y texto sin ningún valor.

En 1974, se sigue una reacción estética y grupos como Savia Andina, Aymara o Los Takipayas toman la autenticidad. A partir de 1980, algunos grupos llevan a cabo conciertos en Europa y la música pan-andina es dada a conocer, pero los europeos creen que esta música es de origen anónimo indio. Por ello, por una parte, esta música pierde su razón y por otra genera problemas por derechos de autor. Famoso fue la demanda impuesta por el grupo los Kjarkas al grupo francés Kaoma.

Recapitulando podemos decir que de estas tres ramas de la música mencionadas, ni la música popular ni la música arqueológica corren peligro, pero la música étnica pura está en riesgo de desaparecer de forma rápida. Se debe actuar hoy, no mañana, actuar ayer habría sido mejor.

Por esta razón, el Instituto Boliviano de EtnoMusicología (IBEM), fue establecido en la UniversidadAutónoma Tomás Frías en Potosí en colaboración con la Universidad de Gante en Bélgica, cuyos objetivos fueron:

- Dar una formación simple pero suficiente a estudiantes voluntarios seleccionados luego de un examen teórico - práctico sobre cursos de iniciación. Los elegidos fueron enviados a diferentes regiones de Bolivia para registrar y grabar su música, su baile y estudiar, sí les fuese posible la fabricación de instrumentos musicales. Fueron equipados de grabadoras, cámaras y videocintas así como con información acerca de qué debería registrarse en todos los casos

- Conservar en un Archivo Central, fotografías, videos y grabaciones hechas a cientos de personas para que esté disponible a los investigadores Al mismo tiempo, se compraron instrumentos de música para coleccionarlos en un pequeño museo, la misma que en algunas ocasiones fue abierta al público en general

- Mostrar en lo posible aquellos que los estudiantes enviados tuvieron que elaborar, informes sobre el sujeto de investigación elegido (por ejemplo una danza, un instrumento o un ritual musical, etc).

Copias de fotografías y cassettes fueron remitidos a los campesinos, no solo porque es justo desde el punto de vista moral, sino también, es un estímulo para ellos ver la cultura musical como un aspecto muy importante y precioso.

Los resultados del IBEM, que desarrollo actividades durante 42 meses, fueron muy positivos.

El propósito fue informarse sobre la música en todo el país. Lamentablemente no fue posible visitar algunos lugares como el departamento de Pando, accesible únicamente por vía aérea, lo cual significaba un costo alto. Una y otra vez, las lluvias intensas imposibilitaban el acceso a diferentes pueblos. Como bien hiciera mención, en especial los misioneros de la secta de los Evangelistas hacen todo lo posible por exterminar la música étnica tradicional, los instrumentos y los bailes, en resumen el patrimonio cultural al cual califican de pagano y diabólico.

Sería importante que el Gobierno intervenga en este problema para defender a una cultura de mucho valor como es la andina, tanto como por la información histórica como por el turismo.

No obstante pese al intenso trabajo realizado por el IBEM, al presente es imposible dibujar un mapa musical del país, marcar información en cuanto a la sociología musical, la terminología y su etimología, la difusión de los instrumentos musicales, los estilos y sistemas musicales dejando de lado la coreografía de los bailes. Un gran problema es que no existe un centro de información referente a la música étnica.

En cuanto a instrumentos se cuenta con una colección muy importante de Ernesto Cavour pero algunas veces la terminología utilizada es inexacta. Existen otras pequeñas colecciones sin embargo éstas están dispersas.

CONCLUSIONES

Para concluir, por un lado podemos decir que se sabe más de lo que generalmente se piensa y por otro, no sabemos lo suficiente como para dibujar mapas del paisaje musical.

Lo que se necesita es:

- Reunir información tales como fotos, films, videos, grabaciones, etc., en una base de datos que esté en condiciones óptimas
- El centro debe estar dirigida a un público científico
- Continuar con la colección de música y danza sin olvidar información que se refiera a la sociología. El estudio de los datos podría realizarse posteriormente.
- Especializar al investigador boliviano en los Estados Unidos o en Europa
- Tratar de que en Bolivia se evite el error que se cometió en Europa, e investigar y estudiar la música étnica que se encuentra casi en una etapa de desaparición.

Campaña de verano de difusión del índice de radiación ultravioleta (IUV)

La experiencia del Laboratorio de Física de la Atmósfera

Por: *Luis A. Blacutt*[1]

RESUMEN

Desde el año 1998 se realizan campañas periódicas para educar a la población boliviana sobre los riesgos ligados a una excesiva exposición a la radiación ultravioleta en regiones de altura. La campaña abarca las ciudades como el campo, y en particular el altiplano paceño.

En esta ponencia se explican los objetivos y resultados de la campaña y, en particular, su impacto en el campo en la región del Lago Titicaca.

SUMMARY

Since 1998, we were carried out periodic campaigns to educate the Bolivian population about the risks to an excessive exhibition to the ultraviolet radiation at highlands regions. The campaign covers both cities and rural areas, but it is more important close to the la Paz city, where there are a big population.

In this report, the objectives and results of the campaign are explained. Also, the study shows its impact at the rural areas close to the Titicaca Lake.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de La Paz se encuentra a 3.600 msnm, su latitud es 16.5 °S; pertenece a la región altiplánica entre dos cadenas montañosas.

1 Laboratorio de Física de la Atmósfera, Instituto de Investigaciones Físicas – UMSA Campus Universitario Calle 28 Cota Cota - Edificio Facultativo Piso 2 Teléfono k Fax (591 2) 2799155 P.O. Box 3164 E-mail: *lucho@o3-bolivia.org*, La Paz Bolivia.

La población rural desarrolla mayormente sus actividades al aire libre tanto agrícolas como domésticas. Estas actividades no consisten en algo nuevo para el campesino, de hecho su piel tiene mecanismos de defensa que tienen sus limitaciones, por ese hecho la vestimenta típica consistía en sombrero de ala ancha y camisa de manga larga era la costumbre. Sin embargo, la generación actual de jóvenes campesinos prefiere el uso de gorras y camisas de manga corta, seguramente influenciados por la moda citadina actual.

La migración rural a las ciudades ha producido que algunos segmentos de la población urbana desarrollen actividades laborales al aire libre: los pequeños comerciantes, la policía, los constructores, etc. El asentamiento de gente extranjera ajena a los hábitos de vestimenta y cuidado de la piel también incrementa el riesgo de aparición de enfermedades cutáneas y oftálmicas en el plazo mediano.

EL ÍNDICE DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

En los últimos años la información meteorológica ha cobrado interés no sólo económico sino médico. Por este motivo los medios de comunicación social (MCS) han prestado mayor interés a tipos de información cada vez más sofisticados. La aparición de información como el índice de radiación ultravioleta (IUV) es el resultado de este empuje en los medios.

Sin embargo, la información que se proporciona justamente con respecto al IUV, no es una información precisamente fácil de leer, tampoco cumple con el objetivo para el cual está diseñada ya que su objetivo es prevenir a la población acerca de los riesgos de exponerse largos periodos a la radiación solar directa. La tabla del IUV que ha procurado hacerse con colores u otros efectos llamativos no parece estar llenando la expectativa de los directos interesados. El valor del índice que se proporciona es un número abstracto que además debe estar acompañado del tipo de piel al cual se está refiriendo.

La dificultad de la catalogación del tipo de piel de una persona, la estimación (por parte de la persona) del tiempo que permanece expuesta a la radiación solar directa y otros factores inciden en la complejidad del valor del índice. Sin embargo estas características son también parte de la información que es de ayuda para proporcionar el IUV.

LA EXPERIENCIA DEL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA ATMÓSFERA

La población urbana de la ciudad de La Paz conoce los riesgos de una prolongada exposición a la radiación ultravioleta. Sin embargo, esta información es subjetiva e imprecisa. Por otro lado no saben cómo protegerse con precisión.

Además la preocupación debido al conocimiento de que la intensidad de radiación ultravioleta incrementa por efecto de la altura y además por las mediciones que se tienen desde el verano de 1996, motivó a difundir esta información a partir del verano de 1998. Se daba el tiempo que requería un tipo de piel media para sufrir un eritema entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde.

El verano 1999 – 2000 se logró financiamiento de organizaciones como la OPS / OMS y el PNUD quienes gentil y mancomunadamente logramos lanzar la primera campaña de difusión del IUV para el departamento de La Paz, tanto el área urbana como rural.

Esta campaña tuvo un impacto mayor que el esperado ya que los medios de comunicación escrita, oral y audiovisual dieran cobertura a esta información.

Es importante mencionar que la información del IUV proporcionada por una agencia meteorológica extranjera a un medio de prensa escrito fue desplazada debido a un estudio realizado por F. Zaratti sobre la base del seguimiento de los valores entregados por esta agencia en el que se demostraba su falta de certeza (este estudio fue también publicado en el mismo medio de prensa), así pudimos brindar información de primera mano con valores medidos porque consideramos que la información del IUV que se entrega a la población es importante que tenga dos características responsabilidad y utilidad práctica. Por eso se diseñó una tabla de valores temporales considerando el tiempo en el que se produce un eritema y desglosando tres diferentes tipos de piel: *Muy oscura*, *Media* y *Muy clara*

En primera instancia se intentó desarrollar software para predecir el IUV, para este desarrollo era importante la información de las condiciones climáticas diarias pero la influencia de las nubes sobre el índice se encuentra todavía en estudio. Encontramos además que los datos recolectados no satisfacían las necesidades del modelo por lo cual se optó por otra manera de brindar el índice. Aumentamos columnas a nuestra tabla de valores desglosando tres posibilidades de la nubosidad: *Despejado*, *Seminublado* y *Nublado.*

De esta manera la tabla del IUV para la ciudad de La Paz tomó la forma que se muestra en el siguiente cuadro:

		Tiempo máximo de exposición (en minutos)		
Tipo de Piel	**Ejemplo**	**Nublado**	**Seminublado**	**Despejado**
Muy oscura	*Altiplánica*	30	20	16
Media	*Mediterránea*	17	11	9
Muy clara	*Nórdica*	8	5	4

Tabla de tiempo máximo de exposición continua al sol en minutos, esta tabla corresponde al índice de radiación ultravioleta 14.

No solamente logramos librarnos del cálculo de previsión del índice, sino también ampliamos nuestro alcance ya que si bien la ciudad de La Paz presenta cielo despejado, las regiones periféricas como el lago Titicaca o Los Yungas no necesariamente presentan las mismas condiciones climáticas, así pudimos abarcar mayor extensión geográfica.

La tabla que se entrega a los MCS también contempla los valores para las ciudades de Santa Cruz y Cochabamba. Debido a la falta de equipos en estas ciudades, extrapolamos los valores esperados en estas ciudades por medio de los modelos que tenemos. Aunque el laboratorio está trabajando en la influencia de la altura sobre el incremento de la cantidad de RUV recibida sobre la base de medidas a diferentes altitudes (Monte de Chacaltaya 5200, Ciudad de El Alto 3800, Valle Cota Cota 3450, Valle Valencia 2800) para cuantificar la manera en que la variación de altura afecta a la radiación ultravioleta.

La gente alcanzada fueron los policías de tránsito, bomberos y grupos de rescate en el ámbito urbano; en el ámbito rural se logró contar con la ayuda de radio San Gabriel que transmite en idioma nativo a las provincias de La Paz. Su audiencia se compone en su mayoría de población aymara.

El verano 2000 – 2001 se prosiguió con la ayuda de OPS/OMS con quienes se diseñó una estrategia para alcanzar además a sectores puntuales como el ejército y los profesores de educación física. Los resultados de ambos grupos poblacionales han sido altamente positivos. La campaña ha penetrado orgánicamente a la ciudad de Oruro con quienes se han aunado esfuerzos para desarrollar la prevención y la educación de la población de mayor riesgo.

CONCLUSIONES

El desarrollo de investigación científica en algunos campos puede impactar a la población cercana con fines y tareas definidas.

El cambio de mentalidad pasa necesariamente por la objetividad de las mediciones y se desvirtúa por la informalidad del conocimiento cualitativo y popular.

La campaña debe amoldarse a la configuración social de la población.

BIBLIOGRAFÍA

Report of the WMO-WHO Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public. N° 127.

Blacutt, *Una nueva manera de difundir el IUV.*

Andrade et. al., *Estudio preliminar del efecto de la altura sobre la radiación solar ultravioleta.* Revista Boliviana de Física N° 4.

Blacutt, *Indice de ultravioleta*. Revista Boliviana de Física N° 6.

Transformaciones en la economía prehispánica de la Península de Santiago de Huata, Bolivia

Por: *Carlos Lémuz Aguirre* [1]

RESUMEN

La península de Santiago de Huata albergó la presencia humana desde casi 6.500 años AP. Cambios ambientales, sociales y políticos configuraron un marco de rasgos específicos en su economía que demarcaron diferencias materiales que pueden rastrearse a través del estudio arqueológico.

En el presente estudio identificaremos y analizaremos temporal y espacialmente estas diferencias, las cuales nos permiten elaborar un marco histórico de aprovechamiento de recursos, interacción económica regional y crecimiento poblacional desde el Período Formativo (1.500 a.C.) hasta la presencia española en la región (1.532 d.C.).

SUMMARY

The peninsula of Santiago of Huata harbored the human presence from almost 6.500 years AP. Environmental, social and political changes configured a framework of specific features in their economy which demarcated material differences that can be raked through the archaeological study.

This study will identify and analyze these temporal and spatial differences. These allow us to elaborates you to historical framework of resources it uses, social organization composition and population growth from the Formative Period (1.500 B.C.) until the Spanish presence in the region (1.532 D.C.).

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El Lago Titicaca ha sido el núcleo político y demográfico del sur de los Andes Centrales por casi 6.500 años, en sus riberas se desarrollaron entidades políticas y económicas que acumularon enorme poder e influencia,

[1] Arqueólogo perteneciente al equipo de investigación de la empresa consultora EMCOM, Casilla postal 7018, E-mail : clemuz@ceibo.entelnet.bo, La Paz - Bolivia.

trascendiendo muchas veces los límites regionales de la Cuenca. Este hecho no es casual, sino que obedece a factores geográficos y culturales, principalmente relacionados con sus particulares condiciones ambientales; su capacidad para soportar grandes concentraciones poblacionales sustentadas en la agricultura, la pesca y el pastoreo; el acceso que se tiene hacia distribuciones verticales de zonas de recursos fuera de la Cuenca del Titicaca (Stanish 1992) y el antecedente de haber sido un punto importante en el ciclo de trashumancia a partir del cual se consolidaron las primeras poblaciones agrícolas en la región (Linch 1983).

No obstante las características favorables que el Lago Titicaca tuvo desde ese entonces, su economía no permitió la autosuficiencia total de su población, posibilitando la vigencia residual de las estructuras dejadas por la actividad trashumante del Arcaico Tardío (4.500 –1.500 a.C.) dentro de redes de relaciones económicas que les permitía equilibrar sus necesidades domésticas, productivas y sociales.

De esta manera, los asentamientos en el lago se hicieron dependientes del acceso a zonas ecológicamente diversas más allá de la meseta altiplánica (valles y puna), ya sea a través de una red de alianzas o de la implantación de colonias con las cuales establecían lazos de complementariedad económica.

Por tanto, el rasgo característico en la economía prehispánica de las poblaciones humanas de la Cuenca del Titicaca radicaba en la combinación de dos estrategias: a) La explotación de recursos locales y b) el acceso a sus recursos faltantes mediante relaciones de intercambio con otras ecozonas, lo cual ha sido denominado en la literatura arqueológica como "control vertical" o "complementariedad zonal" (Browman 1980; Murra 1964, 1968, 1972; Stanish 1992).

El presente artículo considera el estudio de la economía prehispánica en la península de Santiago de Huata a partir de cambios detectados en la naturaleza y composición de ambas estrategias.

Cambios paleoambientales en el Lago Titicaca

La descripción de transformaciones ambientales requiere de la interpretación de muchas y complejas variables, especialmente relacionadas con el clima, los procesos geológicos, energéticos y biológicos de la región o ecosistema estudiado. Obtener una panorámica de estas transformaciones en los pasados 10.000 requiere de estudios especializados con base en diferentes indicadores (análisis de los cambios geomorfológicos, sedimentológicos, litológicos y geoquímicos, palinológicos, paleofaunísticos, de glaciaciones, etc.), que aunque no ofrecen datos precisos, su correlación puede aproximarnos a lo que realmente aconteció hace miles de años, principalmente en torno a los niveles del lago, las temperaturas y el grado de humedad dominante para cada uno de los extensos períodos de tiempo.

Estudios recientes han elaborado esquemas paleoambientales del Lago Titicaca durante el Holoceno (Argollo y Mourguiart 1995; Mourguiart et al. 1995; Wirrman et al. 1991 ; Abott et al 1997) que nos permiten evaluar sus períodos críticos de cambio ambiental según los niveles que alcanzo la superficie del lago (Figura 1 y Tabla 1).

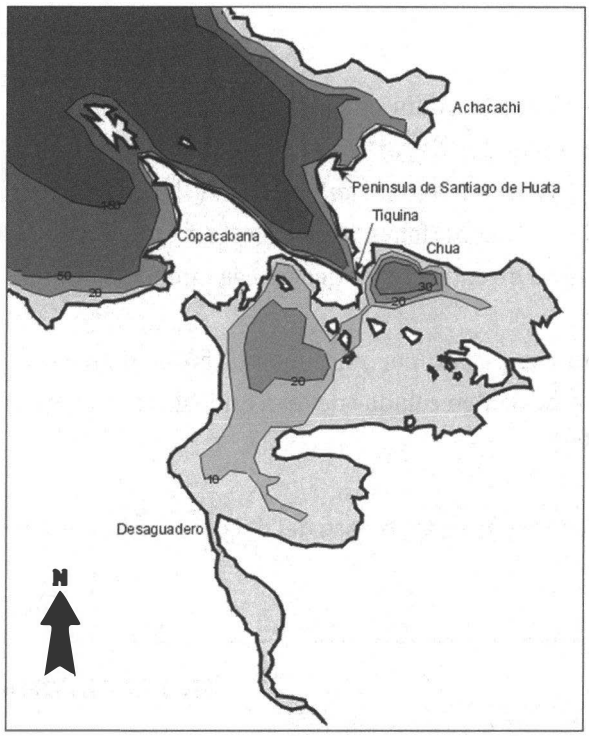


Figura 1
Mapa batimétrico del Lago Titicaca (tomado de Dejoux E Iltis 1991:233).

Tabla 1
Esquema de cambios paleoambientales en los últimos 25.000 años en la Cuenca del Lago Titicaca

ESQUEMA PALEOAMBIENTAL DURANTE EL HOLOCENO			
Paleolago	**Nivel**	**Años A.P.**	**Condiciones climáticas**
Minchin	3-15 m BNR	25000	Bajas temperaturas/periodos secos
		15.000	Temperatura < 5° C
	2-10 m BNR	11000	Paisaje similar al actual
Tauca	7-5 m BNR	10500	
		8000	
		7700	
	50 m BNR		Baja la superficie del lago hasta el 42% de la superficie anterior
		5500	
			Parecido al Lago Poopó
		4000	
	14-23 m BNR		Ambiente frío y seco
		3800	
	15 m BNR	3500	
		3350	Clima seco y cálido
Titicaca	8 m BNR	2900	Clima cálido y húmedo
	10-12 m BNR	2400	
	2 m BNR	1900	
	5-7 m BNR	1650	Nivel cercano al actual

Santiago de Huata

La Península de Santiago de Huata se halla ubicada en la parte meridional este del Lago Titicaca, como parte de la Provincia Omasuyos del departamento de La Paz (Figura 2), tiene una extensión de aproximadamente 200 Km2 y comprende los cantones de Ajllata Grande, Santiago de Huata, Kalaque, Jankho Amaya y Chua Visalaya. Geomorfológicamente esta formado por un conjunto de valles jóvenes y maduros dominados por dos tipos de estructuras geológicas que determinan sus diferencias:

1) Al este, principalmente compuesto por mioceno volcánico y oligoceno superior a mioceno inferior sedimentario, ambos comprenden coladas de lava andesítica y dacítica, rocas volcano-sedimentarias y piroclastitas (IGM 1997).

2) Al oeste, conformado por formaciones rocosas del devónico sedimentario: cuarcitas, lutitas y limolitas (IGM 1997).

Figura 2
Mapa Político de la Provincia Omasuyos mostrando el Área de Estudio.

El diseño del drenaje es fundamentalmente dendrítico en el área central y este de la península y de tipo parrilla al oeste, donde domina la estructura devónica y los ríos y drenajes siguen fielmente los buzamientos de la estructura geológica y litológica del terreno (Lémuz 2001).

Sólo dos ríos (Río Bello y Siquiña) son capaces de integrar redes de drenaje amplios, pues el resto de los ríos descargan sus aguas al lago temporalmente bajo una disposición de abanico radial independiente.

Climáticamente, la península de Santiago de Huata mantiene una temperatura promedio de 8 °C en las inmediaciones de la orilla y de 0°C como promedio anual incluyendo las áreas montañosas y puna alta. En la zona cercana a la orilla la humedad relativa varia entre 50 a 65% para la temperatura 10°C (Boulange y Aquize 1981; Roche et al. 1991) y la precipitación anual alcanza aproximadamente los 585 mm/año, poco más de la mitad de la precipitación que recibe la zona central del lago Titicaca. Las lluvias por lo general se extienden de diciembre a marzo, mientras que la temporada seca dura de mayo a agosto. Este cuadro nos muestra un panorama climático general moderadamente húmedo y frío en la parte inmediata a la ribera del lago Titicaca con zonas templadas y levemente secas en la parte este y central de la península (Kalake, Chuquiñapi y Santiago de Huata) gracias a las características del relieve que produce pequeños microclimas diferenciados (Erickson 1996; Lémuz 2001; Roche et al. 1991).

La prospección arqueológica

A pesar que las investigaciones arqueológicas en Santiago de Huata se iniciaron casi en la misma época que otros sitios y localidades arqueológicas como Chiripa y Copacabana, alrededor de la década del 1950 (Cordero 1957), no es sino hasta 1977 que se desarrolla una primera prospección y excavaciones en el sector de Kalake al este de la península (Cordero et al. 1977), posteriormente seguidas por las investigaciones de Max Portugal entre 1986 y 1996, principalmente enfocadas en el Formativo Chiripa y el estilo escultórico Pa-Ajanu[2] (Portugal O. 1981, 1987, 1989).

Nuestro Trabajo de investigación estuvo basado en el método arqueológico estándar de prospección por cobertura total (Parsons 1972, 1990; Sanders et al. 1979) fue desarrollado en la Península de Santiago de Huata entre los años 1992 y 1996, complementado en 1997 por excavaciones de sondeo en 4 sitios.

Se registraron 94 sitios en un área de 63.1 Km2, cuyos componentes cerámicos fueron identificados y ubicados dentro de un esquema cronológico local y regional (Tabla 2) elaborado a partir de datos estratigráficos (Lémuz 1991).

La información recuperada a partir de la estratigrafía, el material de excavación y prospección (cerámico, lítico, huesos de fauna) y el análisis de patrón de asentamientos permitió establecer un marco general de cambios en la organización social, política y económica a partir del período Formativo.

---

2 Conocido en los estudios peruanos como estilo escultórico Yaya-Mama (Chavez y Mohr1975; Mohr 1988).

Tabla 2

Esquema cronológico de la Cuenca del Lago Titicaca incluyendo el área de estudio

Esquema Cronológico Regional de la Cuenca del Lago Titicaca					
Años	**Cronología Relativa**	**Titicaca Norte**	**TIWANAKU**	**CHIRIPA**	**HUATA**
1600	Colonial Temprano	Colonial	Pacajes Tardio	Pacajes-Colonial	Omasuyos-Colonial
1500	Inca expansivo	Inca	Pacajes Medio	Pacajes-Inka	Omasuyos-Inka
1400					
1300					
1200	Señoríos Aymaras	Colla	Pacajes Temprano	Pacajes	Omasuyos
1100					
1000			Tiwanaku V Tardío	Tiwanaku V	
900		Tiwanaku V			
800			Tiwanaku V Temprano		
700					
600			Tiwanaku IV Tardío		
500		Tiwanaku IV	Tiwanaku IV Temprano		
400	Tiwanaku Expansivo			Tiwanaku IV	Tiwanaku Expansivo
300			Formativo Tardío 2		
200		?	Formativo Tardío 1B	Qeya	Pana Tardío
100					
A.c/D.c					
100	Formativo Superior o Tardío		Formativo Tardío A	Kalasasaya	Pana Temprano
200		Pucara			
300					
400					
500		Cusipata			
600					
700					
800			Chiripa tardío	Chiripa Tardío	Chiripa Tardío
900					
1000	Formativo Medio		Chiripa Medio	Chiripa Medio	Chiripa Medio
1100					
1200					
1300		Qaluyu			
1400					
1500	Formativo Inferior o Temprano		Chirpa Temprano	Chiripa Temprano	Kalake
1600					
1700	Arcaico Tardío/Terminal		Arcaico	Arcaico	Arcaico Terminal
1800		?			

Primeras ocupaciones humanas en la Península (4.500 a.C.-1500 a.C.)

Las únicas referencias obtenidas acerca de las primeras ocupaciones humanas en Santiago de Huata se resumen en tres hallazgos (sumando una punta de proyectil, dos prepuntas, un raspador, y una lasca), de los cuales dos provienen de prospección y uno de excavación. Este último resulta ser el más significativo, pues se constituye en una evidencia substancial de la temprana ocupación de grupos humanos (Figura 3).

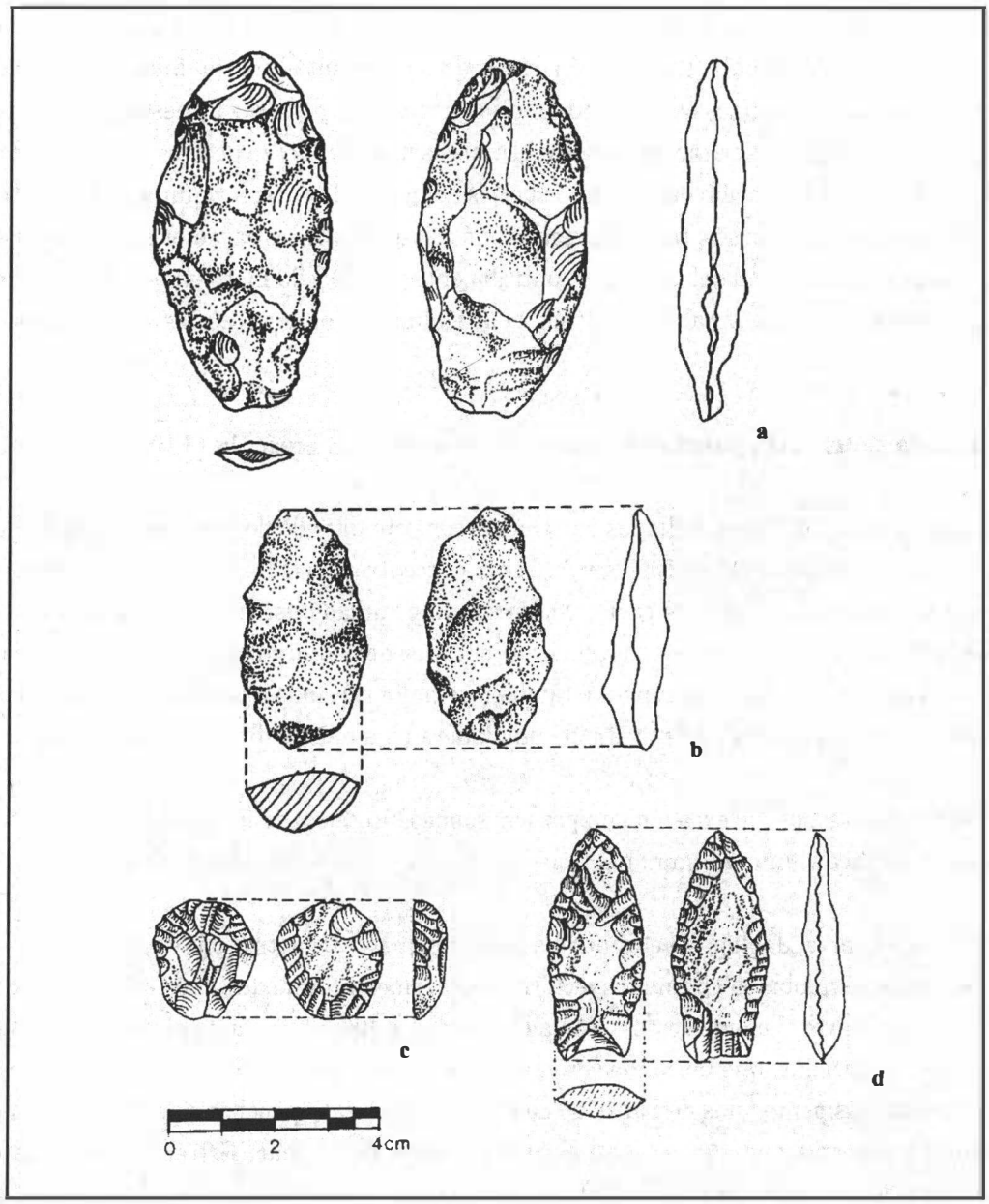


Figura 3

Artefactos líticos provenientes del Período Arcaico Tardío: (a) Preforma de punta de proyectil SH42, (b) Prepunta SH89; (c) cortador bifacial SH74, (d) Punta bifacial SH74

Lamentablemente el hallazgo hecho en excavación estuvo aislado de otra evidencia material que nos reporte mayor información acerca de la naturaleza de la ocupación y el carácter de su economía.

Sin embargo, a través de los estudios desarrollados en la zona de Ilave al noroeste del Lago Titicaca (Klink y Aldenderfer 1996) sabemos que los grupos humanos asentados en las cercanías del Lago Titicaca durante el Arcaico Tardío (4.500 – 3.800 a.C.) y Final (3.800 – 3.200 a.C.) se asentaban preferentemente en las

cercanías de ríos de agua permanente y quebradas abrigadas más que en las inmediaciones de la ribera lacustre (durante el Arcaico Final). La selección de sus áreas de habitat nos da una idea de su economía de subsistencia, por un lado los grupos que dependían prioritariamente de la caza y pesca fluvial, y por otra, los grupos que fincaban su dieta prioritariamente en recursos lacustres, la caza de aves, la crianza de camélidos y en menor medida de la plantación de algunas especies domesticadas (papa y quinua). Esta última opción, aunque es más prodiga en recursos, también resulta más riesgosa por las características del medio, puesto que durante este período el nivel del lago se encontraba entre los 50 y 23 metros por debajo del nivel actual dentro de un entorno frío, seco y salino, muy semejante al que se observa en las inmediaciones del Lago Poopó.

Inicios de la vida sedentaria y fortalecimiento de la actividad agrícola (1500 - 1000 a.C.)

Sólo cuatro pequeños sitios fueron hallados en relación con este período de tiempo (Figura 4), denominado por nosotros como Fase Kalake (1500-1000 a.C.). Tres se concentran en las laderas de un pequeño y abrigado valle flanqueado por dos montañas de casi 4.000 m.s.n.m. y surcado por un río de agua permanente (Río Cuñani) que se abre hacia una pequeña laguna interior antes de descargar sus aguas al Titicaca. El cuarto sitio, ubicado en la parte este de la península, también se halla asociado a una fuente permanente de agua dulce (Río Bello) y se emplaza la parte media de una ladera baja que da directamente al Lago.

En uno de estos cuatro sitios fue excavado un pozo de sondeo, producto de lo cual surge su identificación en el registro estratigráfico y una preliminar estimación de su economía de subsistencia.

Hacia el 1.550 a.C. el nivel del lago se encontraba más allá de los 21 metros por debajo del nivel actual, en medio de un clima que cambiaba en una trayectoria positivamente húmeda y más cálida. La comunicación entre los dos lagos (Mayor y menor) estuvo cortada hasta el 1.400 a.C. cuando el nivel subió hasta casi el nivel de rebalse, condiciones que permanecieron muy variantes hasta el 950 a.C. (6 a 14 m bajo el nivel actual). No obstante las penínsulas de Santiago de Huata, Taraco y Copacabana permanecieron unidas por rutas mucho más directas que atravesaban estrechos fáciles de sortear (Estrechos de Chua y Taquiri), (Abott et al. 1997; Lémuz 2001;Browman 1991; Bandy 2000).

La población sedentaria en Santiago de Huata ya tenía un tamaño importante y se sostenía sobre la base de practicas agrícolas domésticas (de papa, oca, ulluco, totora y quinua) que completaban la base proteínica de su alimentación, dominada por la carne de pescado provenientes de especies de *Orestias* sp. (ispis, bogas, carachis y umantos) y *Trychomicterus* sp. (suches o mauris), además de carne de camélidos, principalmente llamas y alpacas de edad juvenil o adulta, lo que podría significar que las familias se inhibían de sacrificar sus llamas o alpacas semi-adultas porque las empleaban para transporte y producción de lana (Tabla 3).

Tabla 3
Clasificación de restos arqueofaunísticos de la muestra de excavación (En piezas)
Según fases estratigráficas

CLASE	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	FASE							
					CHIRIPA		PANA				
				KALAKE	MEDIO	TARDIO	TEMPRANO	TARDIO	TIWANAKU	TOTAL	%
Ave	Anatidae		sp.				2	1	4	7	
	Total Anatidae						2	1	4	7	
	Rallidae	Rallus	sp.				2	1		3	
		Fulica	sp.					1		1	
	Total Rallidae						2	2		4	
					5	2	46	18	109	180	
Total Ave					5	2	50	21	113	191	5,97
Mamifero	Camelidae	Lama	glama		3		5		4	12	
			glama/pacos	7	44	53	36	119	125	384	
			pacos				2	1		3	
			(vacías)				3			3	
		Total Lama		7	47	53	46	120	129	402	
	Total Camelidae			7	47	53	46	120	129	402	
	Canidae	Canis	sp.		1	2	1	7	7	18	
	Total Canidae				1	2	1	7	7	18	
	Caviidae	Cavia	sp.		5			1		6	
			tschudii nana	1	1	10	59	23	18	112	
		Total Cavia		1	6	10	59	24	18	118	
	Total Caviidae			1	6	10	59	24	18	118	
	Cervidae	Hippocamelus	Antisensis						1	1	
	Total Cervidae								1	1	
	Felidae	Felis	sp.				1	4		5	
	Total Felidae						1	4		5	
	Lagidium		sp.						1	1	
	Total Lagidium								1	1	
	Muridae	Phyllotis	osilae		12		15	17	6	50	
		Total Phyllotis			12		15	17	6	50	
			sp.						4	4	
		Total Muridae			12		15	17	10	54	
	Total mamíferos no reconocidos						1	1	2	4	
Total Mamifero				8	66	65	123	174	167	603	18,83
Pez	Cyprinodontidae	Orestias	albus/luteus		99		30		91	220	
			Complejo cuvieri				61	98	73	232	
			Complejo cuvieri/agassii					100	229	329	
			sp.		299	198	324	157	614	1592	
			Total Orestias		398	198	415	355	1007	2373	
	Total Cyprinodontidae				398	198	415	355	1007	2373	
	Trichomycteridae	Trichomycterus	sp.		15	11	5		4	35	
		Total Trichomycterus			15	11	5		4	35	
	Total Trichomycteridae					15	11	5	4	35	
Total pez					413	209	420	355	1011	2408	75,20
Total general				8	484	276	593	550	1291	3202	100,00

Diversificación económica, crecimiento poblacional y consolidación de la organización sociopolítica Chiripa (1000 – 100 a.C.)

Las condiciones húmedas y parcialmente cálidas que llevaron el nivel del agua hasta los 14 a 6 m por debajo del nivel actual se mantuvieron relativamente estables por casi 500 años, lo que permitió que la población se estabilizara en las zonas más seguras y abrigadas. Dentro de los primeros 200 años de este período se instalaron 23 nuevos asentamientos que congregaban importante número de familias (Figura 5). Cerca de

27 ha se hallaban cubiertas por construcciones domésticas, públicas y agrícolas, principalmente en zonas de coluvio por debajo de los 4.000 m.s.n.m. Casi la mitad de la población se concentró en torno a pequeñas y grandes aldeas mientras que la otra mitad estuvo distribuida en pequeños ranchos edificados en las inmediaciones de zonas de agricultura.

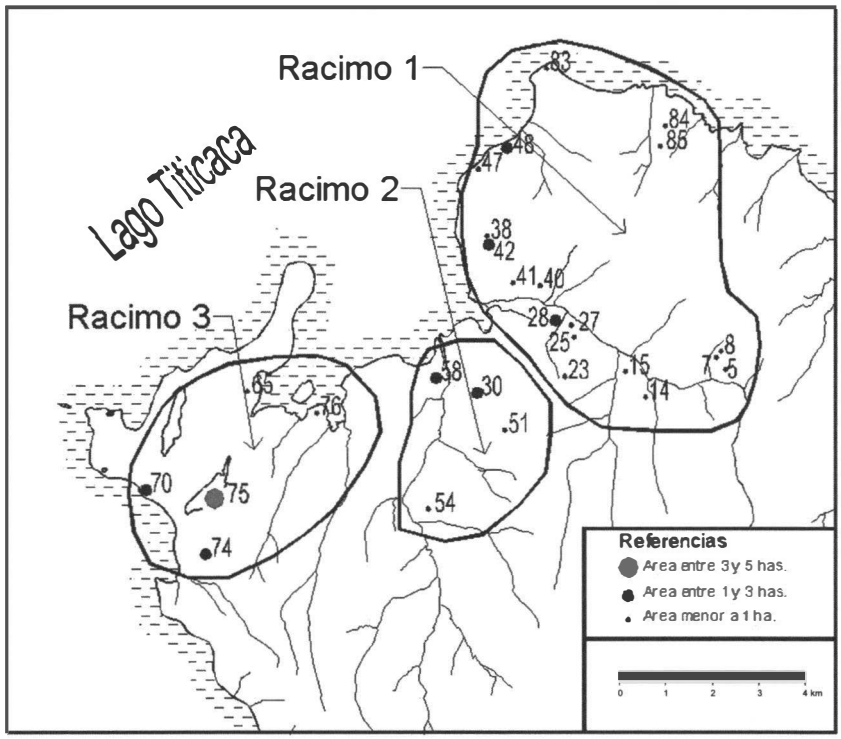


Figura 5
Distribución de sitios durante la Fase Chiripa Medio en Santiago de Huata.

Un análisis de las zonas agrícolas de la región y la naturaleza de los sitios relacionados a ellas nos muestra que el sector este de la península era responsable de la mayor proporción de la producción agrícola, especialmente aquella practicada en terrazas coluviales y plano lacustre.

La disposición de sitios en el terreno nos muestra la presencia de tres agrupaciones de aldeas, entre las cuales no se percibe marcados indicadores de diferenciación política, lo que nos lleva a inferir que el móvil de la configuración pudo ser principalmente económico o de subsistencia, ya que cada agrupación se halla circunscrita dentro de un área ecológica o geográfica particular.

La fuente cotidiana de proteína era la carne de pescado, proveniente de distintas especies del género *Orestias* sp., complementada con una proporción menor de carne roja obtenida de llamas (*Lama glama*) o alpacas (*Lama pacos*) y de cuyes (*Cavia* sp.). Por otra parte, la población sacrificaba preferentemente camélidos adultos más que pre-adultos o juveniles, cuando el propósito era la alimentación, lo que sugería que no existía actividad de cría de ganado con objetivos dirigidos al consumo cárnico.

La información que poseemos no nos permite efectuar afirmaciones contundentes en torno al consumo de aves, pero su presencia es mucho menor a la registrada en la fase Tiwanaku (400 – 1200 d.C.) o Pana Temprano (100 a.C.-200 d.C.). Sin embargo, los datos provenientes de Chiripa (Hastorf et al. 1999) nos indican que la carne de ave tuvo cierta importancia en la dieta de la población durante el Formativo Medio (Chiripa Medio y Tardío).

Como complemento a la producción agrícola (papas, quinua, oca y ulluco) y a la provisión de proteína a partir de la carne de pescado, la estrategia de balanceo dietético de las comunidades estaba fincada en el intercambio de una parte de sus productos por otros que se obtenían en otras zonas ecológicas (por ejemplo los valles del noreste y los yungas).

Las herramientas de labranza y artefactos domésticos fueron fabricadas mayoritariamente en cuarcita y pizarra, abundantes en toda la península.

Hacia el 450 a.C. el ambiente lacustre se torna más frío y seco, provocando que el nivel del lago descienda hasta 18 m bajo el nivel actual, afectando notablemente la producción agrícola en la zona de plano aluvial y promoviendo con más fuerza, las relaciones de complementariedad zonal, ya sea a través de colonias propias (Murra 1972), de interacción con otras entidades políticas cercanas (Stanish 1992) o a través del empleo de tráfico caravanero con otras zonas más alejadas (Browman 1980).

La población creció cerca de un 60% respecto a la fase anterior, concentrándose con mayor intensidad en torno a las principales aldeas surgidas durante la Fase Chiripa Medio (1000 - 800 a.C.), lo que podría sugerir que un número considerable de personas no dependía únicamente de su actividad agrícola, sino que pudieron estar involucrados en una actividad de producción artesanal con destino al intercambio.

Gran parte de las actividades familiares y comunales tenían como eje los centros templarios (patios hundidos y plazas) donde las manifestaciones ideológicas y rituales daban el marco a las fiestas, intercambio de productos, creación de relaciones, consolidación de alianzas y reorganización del mapa de poder local (Alconini 1996; Hastorf et al. 1999; Janusek 2000; Lémuz. et al. 2001).

A pesar de los cambios ambientales, la agricultura continuo con su trayectoria de crecimiento, especialmente fundamentada en nuevas técnicas agrícolas, aplicación de tecnología de riego y empleo de herramientas que permitieron mayor productividad. Esto se observa en el empleo creciente de materiales de mayor calidad como el basalto para la fabricación de azadones, azadas y artefactos de corte. El basalto se obtuvo de zonas alejadas de la península, probablemente a través de la red de trafico caravanero, consolidado como una institución económica desde principios del Formativo Medio.

La muestra estudiada presenta una baja en la proporción de restos de huesos de pescado y aves en los estratos Chiripa Tardío (800 – 100 a.C.), probablemente por efecto de la súbita baja del nivel del lago, es coincidente con un incremento en el consumo de carne de camélido (llama y alpaca) y cuy (*Cavia tschudii nana*).

Graves trastornos en la producción agrícola regional, desestructuración del sistema político-religioso Chiripa (100 a.C. – 200 d.C.)

La abrupta subida del nivel del lago vuelve a configurar un contorno muy parecido al que conocemos actualmente. Con el restablecimiento de la comunicación entre norte y sur del lago y el retorno de las condiciones húmedas, numerosas aldeas se vieron obligadas a reubicar su hábitat abandonando gran número de sitios, especialmente en la rivera oriental del Lago Menor. Santiago de Huata no se vio afectada dramáticamente por este cambio, pero la estructura de sus relaciones de intercambio con Taraco y Copacabana fue afectada substancialmente. Probablemente este fenómeno natural es coincidente con un clima de franco desgaste o desintegración de todo el sistema político y económico Chiripa que da como resultado la desaparición de sus principales manifestaciones culturales en toda la cuenca hacia el 100 a.C.

La población abandona los principales centros poblados y se asienta en pequeñas unidades familiares cerca de las zonas de cultivo (Figura 6). Probablemente otra parte migró hacia otras zonas con la perspectiva de encontrar mejores condiciones (valles y yungas por ejemplo).

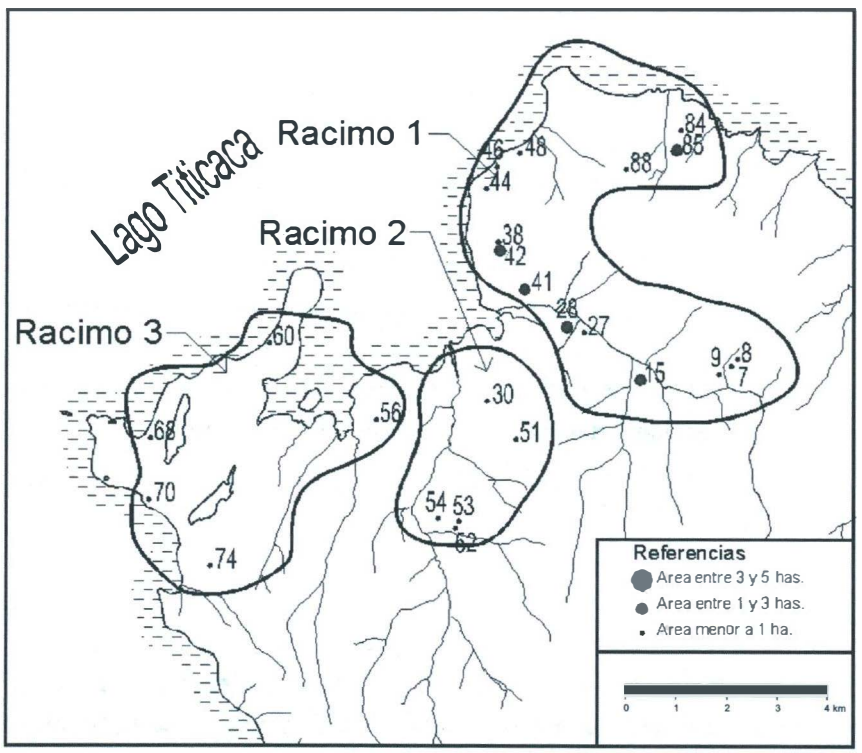


Figura 6
Distribución de sitios durante la Fase Pana Temprano en Santiago de Huata.

La inestabilidad política y las amenazas de conflicto fueron características de la península hasta la aparición de las primeras manifestaciones políticas de Tiwanaku, evidencia de ello es que por primera vez en la península se edifican poblados de altura con características defensivas.

Las entidades políticas y económicas de la cuenca compitieron por remplazar a Chiripa en el rol que cumplía en las redes de trafico e intercambio desarrolladas durante los últimos 1000 años, lo que derivó en un cuadro de poder dominado por Pukara, Kalasasaya y Sillumocco Tardío, principalmente sobre la fracción de la red que se relacionaba con los valles y costa occidentales.

Gran parte de los centros templarios Chiripa donde se llevaban a cabo actividades religiosas, festivas, funerarias, sociales y principalmente económicas fueron abandonados, lo que impactó fuertemente sobre los niveles productivos y de consumo de muchas poblaciones de la región.

Hasta este momento la península no supo de poderes centralizados que lideraran las relaciones económicas o dirigieran su curso pues la base de la economía durante el formativo estuvo concentrada en la unidad doméstica, hecho que cambiaría substancialmente en los siguientes mil años.

Las características favorables del ambiente lacustre mejoraron significativamente, producto de ello puede ser el notable incremento en el consumo de carne de pescado (*Orestias* sp. y *Trychomicterus* sp.), camélidos (llama y alpaca), cávidos (cuy) y principalmente aves (*Anatidae* sp. y *Rallidae* sp.) observado a través de la basura doméstica expuesta en excavación.

El basalto y la andesita se constituyeron en los principales materiales para la fabricación de herramientas de agricultura y artefactos de uso doméstico. La andesita era obtenida localmente y el basalto pudo provenir del noroeste del lago o de la zona de Tiquina.

Las excavaciones también reportan la presencia de artefactos elaborados con obsidiana arenisca, cuarzo, ópalo y diversos tipos de roca volcánica, de los cuales sólo la obsidiana no era de procedencia local, probablemente traída del noroeste del Lago Titicaca (Burger et al 2000).

A pesar de las condiciones políticas imperantes, la economía regional se encontraba en una situación muy favorable debido a la mejora de las condiciones del ambiente lacustre y la incorporación de Santiago de Huata dentro de distintas redes de intercambio que se hallaban en competencia.

Reordenamiento de la configuración política regional e inicios de la intensificación agrícola (200 – 400 d.C.)

Durante la fase Pana Tardío las aguas alcanzaron el nivel que conocemos actualmente con tendencia hacia un clima mucho más húmedo y templado. Estas condiciones alentaron el acelerado crecimiento de la población (duplicando el tamaño de la fase anterior) y permitieron el desarrollo de nuevas fuentes de poder que paulatinamente fueron concentradas en manos de algunas de las entidades que asumieron el rol de Chiripa en las redes de trafico e intercambio más importantes de los Andes sur centrales.

Los primeros elementos de centralización fueron observados en la península con el crecimiento de algunos de los centros ubicados al este (Pucuro y Ajllata).

Algunos de los centros templarios abandonados en la fase anterior volvieron a ser ocupados y adquirieron una renovada vitalidad, lo que implica una recuperación en las relaciones económicas y el valor de una forma de ideología regional.

La composición de la dieta de la población no parece haber cambiado substancialmente, pero la densidad de peces es menor que en fases anteriores (Tabla 3), contrariamente al crecimiento de la proporción de restos de camélidos, en el que aparecen por primera vez rastros significativos del sacrificio de individuos pre-adultos. Este dato podría interpretarse de dos maneras: 1) Que durante esta fase la actividad de crianza de camelidos con fines carnicos se habría incrementado y 2) Que la población estuvo atravezando por un período de contigencias en materia de fuentes de proteina que los obligó a consumir ocasionalmente carne de camélidos pre-adultos. Esta última posibilidad no parece ser muy coherente dada la gran cantidad de rastros de pez hallado en varios pisos de ocupación correspondientes a esta fase. Sin embargo la presencia de mayor cantidad de huesos de ave y de taruca (*Hippocamelus antisensis*) podría indicar una presión poblacional para extender las fuentes de obtención de proteína mas allá de las fuentes tradicionales.

La ocupación Tiwanaku y el auge agrícola en Santiago de Huata (400 – 1.100 d.C.)

Aunque la producción agrícola intensiva pudo ser un factor determinante para que Tiwanaku concentrase un poder substancial en la Cuenca del Titicaca y eventualmente en los Andes Sur Centrales, su emergencia y desarrollo parece estar fundamentado en un proceso regional que se inició a finales del Formativo Superior que le permitió controlar y desarrollar redes de tráfico e intercambio e institucionalizar un mecanismo de exportación de servicios y productos cuyo principal valor agregado era ideológico (Browman 1980; Earle 1997; Janusek 1994; Lémuz 2001).

Durante la parte terminal del Formativo Superior Tiwanaku habría incorporado a Santiago de Huata dentro de su amplia red de tráfico e intercambio estableciendo un complejo sistema de redistribución y trueque con los líderes e instituciones (segmentos con funciones específicas en la sociedad) de las comunidades con las cuales mantenía contacto (Bermann 1997:97).

En Santiago de Huata, Tiwanaku mantuvo relaciones de este tipo con los núcleos poblacionales de Ajllata, Santiago de Huata y Kalake principalmente, fortaleciendo el nivel de prestigio de sus líderes y dotando de nueva tecnología productiva agrícola a las comunidades asentadas al este de la península.

Hacia el 500 d.C. Tiwanaku se instaló sobre un número pequeño de sitios y fundó dos centros administrativos, el mayor de ellos en Ajllata y el menor en Kalake (Figuras 7 y 8). Estos centros concentraron la vida económica, ritual, festiva y funeraria de la península, principalmente en el sitio denominado "El calvario" (SH-85 de más de 15 ha), donde se construyó un templete subterráneo de similares características a los construidos durante el Formativo Chiripa, pero superándolos en tamaño e inversión de mano de obra.

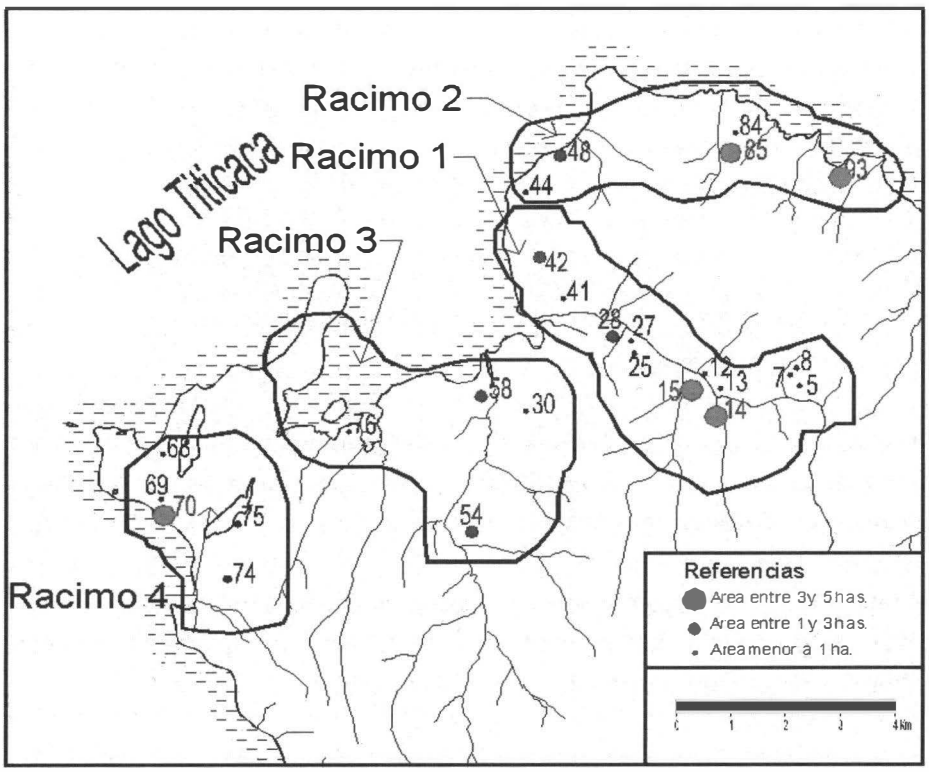


Figura 7
Distribución de sitios durante la Fase Tiwanaku en Santiago de Huata

Figura 8
Vista panorámica del sitio de "El Calvario".

El nuevo poder promovió el abandono de numerosos sitios pequeños y la concentración de la población en aldeas de mayor magnitud. Durante este período se ampliaron las dimensiones de las terrazas formativas, especialmente en la zona de ladera baja o coluvio inferior, con el objetivo de promover la intensificación de la actividad agrícola (Figura 9). Se construyeron terrazas hasta casi los 4.200 m.s.n.m. en casi todos los cerros que alberga la parte este de la península.

Cordero (1957) reportó numerosos artefactos de oro en tumbas Tiwanaku en el sector de Kalake. Este metal probablemente fue extraido de las cercanías de Lipi, donde se encuentra una zona de yacimientos de tipo aluvional que aún hoy esta en explotación.

Con el crecimiento de la población y la actividad productiva, también se incrementó el consumo de carnes, principalmente de pescado, triplicando el registrado para la Fase Pana Tardío. Similar comportamiento tiene el consumo de cuyes, vizcachas y tarucas.

La presencia de canes es característica durante esta fase y por la evidencia de material arqueofaunístico, no formaron parte de su dieta, de la misma manera que aconteció durante la fase Chiripa Medio, de donde se reportan los primeros especimenes registrados estratigráficamente.

Figura 9

Rasgo de la terraza agrícola y su reconstrucción en la Fase Tiwanaku.

Producción, consumo y complementariedad zonal después de Tiwanaku (1.100 – 1430 d.C.)

Con el colapso del sistema político de Tiwanaku, los centros más poblados de la península fueron abandonados o disminuyeron su población radicalmente. De las aproximadamente 52 ha. ocupadas por los poblados Tiwanaku sólo quedaron 26 ha. principalmente distribuidas en pequeños caseríos, habitaciones en zonas de pastoreo y resguardos defensivos de altura, menos del 20% de la población habitaba aún los grandes centros dejados por Tiwanaku (Figura 10).

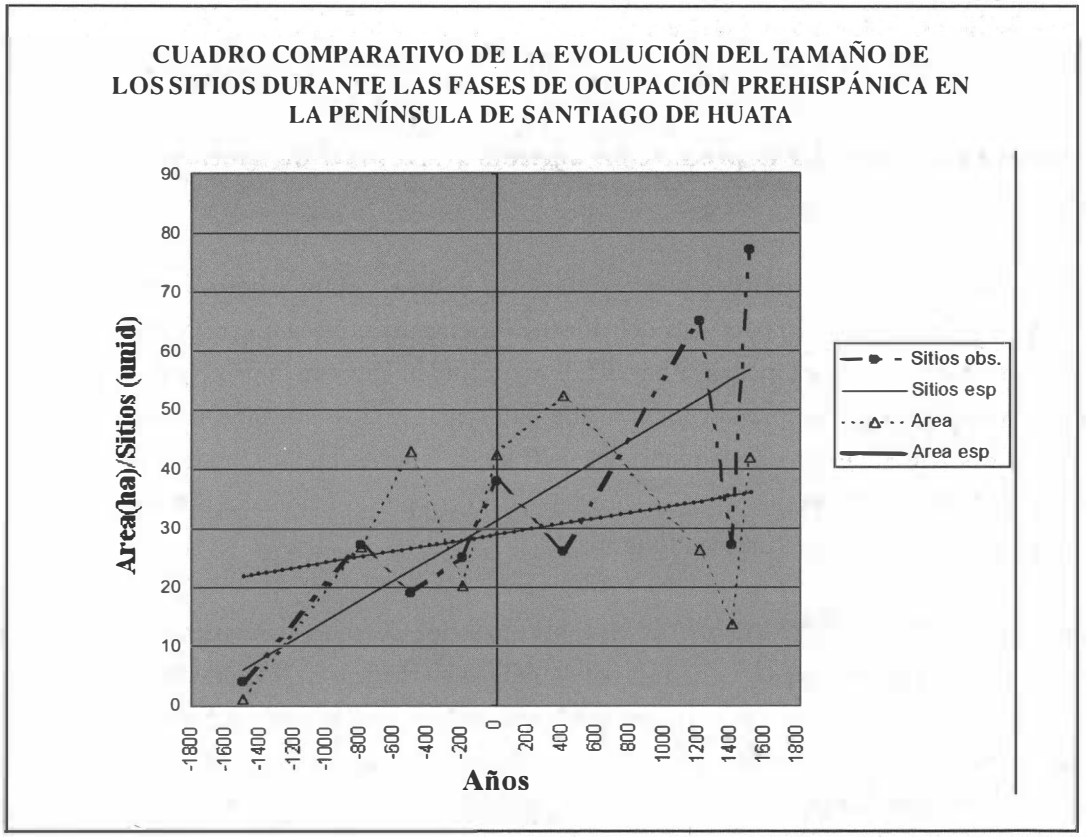


Figura 10
Evolución del tamaño y número de sitios en Santiago de Huata

La desintegración del aparato administrativo Tiwanaku generó un clima de tensión, conflicto y desestabilización en la organización política regional, producto de ello es la presencia de numerosos emplazamientos defensivos flanqueando los principales afluentes de agua permanente que dan al lago (Río Bello y Río Siquiña) o resguardando las zonas de principal actividad agrícola (Lémuz 2001), lo que denota competencia por el control de algunas fuentes de poder local. Sin embargo, gran parte del complejo de ingeniería agrícola desarrollado por Tiwanaku permaneció en uso bajo la administración de las propias unidades familiares o domésticas, que en algunos casos podían haberse constituido en agregados mucho mayores. Los enormes terraplenes de las laderas bajas de Ajllata y las terrazas de Pukuro permanecieron en uso por mas de 200 años después de la desaparición de la hegemonía política y económica de Tiwanaku.

La crianza de camélidos y las relaciones de intercambio a través de mercados locales y regionales pasaron a tener suma importancia en la economía de la península. Es posible que el incremento de la población en la zona de puna sugiera que la actividad de pastoreo se incrementó o que la actividad estuvo fragmentada de la misma manera que la producción agrícola. Sin embargo la falta de evidencia de que el consumo de carne de camélido fue masivo nos lleva a proponer que la crianza de camélidos tenía como propósito principal sostener las caravanas portadoras del producto local con destino a otras zonas con las que se tenían relaciones económicas. Esto implicaría que las redes estuvieron siendo operadas en el ámbito comunal o familiar, remplazando a las instituciones Tiwanaku que controlaron por casi 1000 años las redes de interacción regional.

El intento Inka por controlar la producción agrícola y artesanal de Santiago de Huata (1.430 – 1533 d.C)

La presencia Inka en Santiago de Huata podría datar del 1.430 d.C., aunque datos y referencias precisas no están disponibles. La prospección permitió identificar 27 asentamientos, la mayoría con un tamaño inferior a la hectárea. Sólo un sitio tenía más de 3 ha (SH76) y probablemente fue la principal ocupación Inca en la península. Sus características eran radicalmente diferentes de las aldeas omasuyos, primero por la ubicación (Omasuyos en Coluvio Superior y Zona montañosa e Inka en laderas bajas y montículos cercanos al lago), segundo por la distribución de sus espacios internos y tercero por la evidencia que dejaron sus prácticas culturales, principalmente de naturaleza funeraria.

La presencia Inka estuvo orientada dentro de una óptica política y económicamente expansionista, para ello extendió un ramal caminero hasta la zona, por lo demás se dedicaron a promover mayores niveles de productividad agrícola entre las terrazas que perduraban desde la ocupación Tiwanaku, probablemente muchas fueron reconstruidas o acondicionadas con tecnología Inka (caso de Watari, Chuquiñapi, Pana Grande y Chigani). Sin embargo, su presencia no alteró substancialmente la vida doméstica de la península y aunque intentó concentrar el poder político a partir de una estrategia del control de la producción, la instalación de mitimaes y la organización de una estrategia de desestructuración de la organización Pakaxe y Omasuyos (Choque 1993; Stanish 1997), no llego jamás a constituirse en un poder centralizado semejante al logrado por Tiwanaku.

CONCLUSIONES

Si bien las transformaciones en la economía de la cuenca fueron fundamentalmente influidas por los cambios ambientales, tal como lo muestra la correlación entre datos paleoambientales y arqueológicos, el factor político y cultural acrecentó su importancia a partir de la desintegración de la entidad política de Chiripa hacia el 100 a.C., a partir de esta fecha la competencia por el dominio de las principales fuentes de poder local demarcaron el mapa económico y sus cambios a través del tiempo.

A partir del Formativo Inferior en el que se delinearon las bases para la estructuración de una red de tráfico e intercambio, la economía tuvo como principal elemento estabilizador la obtención de recursos complementarios a partir de sus relaciones económicas con poblaciones asentadas más allá de la Cuenca del Lago Titicaca.

AGRADECIMIENTOS

Gran parte de los datos que se presentan en este artículo provienen de la prospección y excavaciones realizados entre 1996 y 1997 en la Península de Santiago de Huata, y los análisis de material culminados en 1998 en La Paz. En todas las temporadas participaron numerosos investigadores a quienes deseo agradecer por su colaboración: José Luis Paz, Dante Angelo, Gary Palacios, Javier Coriza, Paloma Clavijo, Emilio Velazco, Igor Patzi, Soraya Barrera, Jaime Sarmiento, Alvaro Garitano, Nuria Bernal y Karina Aranda.

Agradezco de igual manera el apoyo brindado por las autoridades civiles, políticas y tradicionales de los cantones de Ajllata, Santiago de Huata y Kalake, en especial de Damián Quispe (autoridad de Ajllata Grande).

Finalmente debo destacar un especial agradecimiento al padre Armando Carminati, párroco de la región y a todo su equipo de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Abbott, M.B., M.W. Binford, M. Brenner, and K.R. Kelts, 1997. A 3500 ^{14}C yr high-resolution record of water level changes in Lake Titicaca, Bolivia/Peru. *Quaternary Research* 47:169-180.

Alconini, S., 1996. *The temple and the cult to the ancestors in the process of social stratification in andean pre-state societies: The case of the Chiripa in the Bolivia highland.* Artículo inedito presentado en el curso de Chiefdooms de la Universidad de Pittsburgh, Pittsburgh.

Argollo, J. y Ph. Mourguiart, 1995. Los climas cuaternarios de Bolivia. En *Cambios cuaternarios en América del Sur,* editado por J.Argollo y Ph. Mourguiart, pp. 135-155. ORSTOM -IFEA

Bandy, M., 2000. *Informe de las Investigaciones de 1998-1999 del Catastro Arqueológico.* Informe presentado a la Dirección Nacional de Arqueología y Antropología de Bolivia (DINAAR), La Paz.

Bermann, M., 1997. Domestic life and vertical integration in the tiwanaku heartland. *Latin American Antiquity*, 8(2), pp.93-112.

Binford, M.W., A.L. Kolata, M. Brenner, J.W. Janusek, M.T. Seddon, M. Abbott, and J.H. Curtis, 1997. Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization. *Quaternary Research* 47:235-248.

Binford, M. W., M. Brenner, T. J. Whitmore, A. Higuera-Gundy, E. S. Deevey, Jr., and B. W. Leyden, 1987. Ecosystems, paleoecology, and human disturbance in subtropical and tropical America. *Quaternary Science Reviews* 6:115-28.

Boulage, B. y J. Aquize, 1981. Morphologie, hydrographie et climatologie du Lac Titicaca et de sen bassin versant. Rev. *Hydrobiol. Trop.* 14(4), 269-287.

Browmann, D. L., 1980. New Ligth an Andean Tiwanaku. *American Scientist* 69:408-419.

Browmann, D. L., 1991. The Dynamisc of the Chiripa Polity. Manuscrito no publicado. Citado con permiso del autor, Washington University. Washington.

Burger, R., K. Mohr Chávez, S. Chávez, 2000. Through the GlassDarkly: Prehispanic Obsidian Procurement and Exchange in Southern Peru and Northern Bolivia. *Journal of World Prehistory*, Vol 14, N° 3.

Cipolla, L. and C. J. Klink, 1996. An Alternative Method for Analyzing Archaic Period Surface Data in the Andean Highlands. Paper presented at the 25th Annual Midwest Conference of Andean and Amazonian Archaeology, Madison, WI.

Cordero, Gregorio, 1957. Reconocimiento Arqueológico de Kalake. *Arqueología Boliviana* N°1, pp. 207-222. Biblioteca Paceña, La Paz.

Cordero, G., D. Kuljis y F. Tapia, 1977. Prospección en la Peninsula de Huata. Ponencia presentada a la Reunión de Copacabana. El desarrollo de la Cultura Tiwanaku en el Area Circunlacustre. Copacabana (Documento citado de fuente secundaria), La Paz.

Cowgill, G. L., 1990. Toward Refining Concepts of Full-Coverage Survey. En *The Archaeology of Regions: A case for Full Coverage Survey*. Ed. Suzane K. Fish and Stephen Kowalewski. Smithsonian Institution Press, Washington D. C.

Chávez, S. y K. L. Mohr Chavéz, 1975. A carved Stela from Taraco, Puno, Perú, and the definition of the Early Style of stone sculpture from the Altiplano of Perú and Bolivia. In *Ñawpa Pacha* N°13. Publicación Internacional de Arqueología Andina, J. H. Rowe y P. Lyon (eds.), Instituto de Estudios Andinos, Berkeley, California.

Choque, Roberto, 1993. *Sociedad y Economía Colonial*. Hisbol, La Paz.

Earle, Timothy, 1997. *How Chief Come to Power. The political Economy in Prehistory* Standard University Press, Stanford California.

Erickson, Clark, 1988. *An Archaeological Investigation of Raised Fields In The Lake Titicaca Basin of Perú*. Ph.D. Disertation, Department of Anthropology, University of Illinois, Chicago.

1996. *Investigación Arqueológica del sistema agrícola de los camellones en la Cuenca del Lago Titicaca del Perú*. PIWA-P.E.L.T., La Paz

Hastorf, C. (editora), 1999. *Early Settements at Chiripa, Bolivia: Research of the Taraco Archaeological project*, N° 57, Contributions of the University of California Archaeological Research Facility, Berkeley.

Janusek, J., 1994. *State and Local Power in a Prehispanic Andean Polity: Changing Patterns of Urban Residence in Tiwanaku and Lukurmata, Bolivia*. Disertación Doctoral no publicada. Departamento de Antropología de la Universidad de Chicago, Chicago

1999. Craft and Local Power: Embedded Specialization in Tiwanaku Cities. *Latin American Antiquity* 10(2):107-131.

(2001) "Out of Many, One: Ceramic Style and Social Identity in the Tiwanaku State." In *Us and Them: The Assignation of Ethnicity in the Andean Region, Methodological Approaches*, Richard Reycraft, ed. Iowa City: University of Iowa Press.

Janusek, J. W., and A. L. Kolata, 2001. "Prehispanic Rural History in the Río Katari Valley." In *Tiwanaku and its Hinterland: Archaeological and Paleoecological Investigations of an Andean Civilization, Vol. II*, Alan L. Kolata ed., Chapter 6. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.

Lauzanne, L., 1991. The Orestias, En En C. Dejoux y A. Iltis eds. *El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual*, pp 69-79, ORSTOM, HISBOL, La Paz.

Lémuz, C., 2001. *Patrones de Asentamiento Arqueológico en la Peninsula de Santiago de Huata, Bolivia*. Tesis de licenciatura no publicada. Carrera de Arqueología de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.

Lynch, T., 1983. Camelid pastoralism and the emergence of Tiwanaku Civilization in the South Central Andes. *World Archaeology* 15(1):1-14. Canbridge.

Mohr Chávez, K. L., 1988. The significance of Chiripa in Lake Titicacac Basin developments. *Expedition*, 30(3), 17-26.

Mohr Chávez, K. L., 1997. The Temple site of Ch´isi on the Copacabana Península, Bolivia: A view of local differences and Regional similarities within the Yaya-Mama Religious Tradition. Paper presented at the 62nd Annual Meeting of the Society for American Archaeology, Nashville, in the Symposium, Understanding The Pre-Tiwanaku Yaya-Mama Religious Tradition in the Lake Titicaca Basin: Interdisciplinary perspectives, organizated by Karen L. Mohr Chávez.

Mourguiart, P., J. Argollo y D. Wirrmann, 1995. Evolución del Lago Titicaca desde 25.000 años B.P: en *Cambios Cuaternarios en América del Sur*, editado por J. Argollo y Ph. Mourguiart, pp. 157.

Murra, J., 1972. El control vertical de máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas. En *Visita de la provincia de León de Huanuco en 1952. Documentos por la historia y Etnologia de Huanuco y la Selva Central*, 2:427-476, Universidad Nacional Herminio Valdizan.

Parenti, L.R., 1984. A Taxonomic revision of Andean Killifish genus Orestias (Cyprinodontiformes, Cyprinodontidae). *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 178(2):107-214.

Parsons, J., 1972. Archaeological Settlement Patterns. *Anual review of Anthropology*, Vol 1, pp. 127-147

1990 Critical Reflections an a Decade of Full-Coverage Regional Survey in the Valley of Mexico. En *The Archaeology of Regions: A case for Full Coverage Survey*, Ed. Suzane K. Fish and Stephen Kowalewski. Smithsonian Institution Press, Washington D. C.

Portugal Ortíz, M., 1981. Expansión del estilo escultórico Pa-Ajanu. En *Arte y Arqueología* N° 7, pp. 149-159, La Paz

Portugal Ortíz, M., 1987. Informe de los trabajos arqueológicos de Santiago de Huata, Reporte no publicado remitido al Instituto Nacional de Arqueología (INAR), La Paz

Portugal Ortíz, M., 1988. Informe de prospección a Pacajes. En *Arqueología Boliviana* N° 3: 109-117. INAR, La Paz.

Portugal Ortíz, M., 1989. Estilo escultórico Chiripa en la Península de Santiago de Huata. *Textos Antropológicos* N° 1, carrera de Antropología - Arqueología. UMSA, La

Roche, M., J. Borges, J. Cortes y R. Matos, 1991. Climatologia e hidrologia de la Cuenca del Lago Titicaca. En C. Dejoux y A. Iltis eds. *El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual*, pp 61-67, ORSTOM, HISBOL, La Paz.

Sanders, W., J. Parsons y R. Santley, 1979. *The Basin of México: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization.* Academic Press, New York.

Sarmiento, J., L. Azabache, L. Mariño, A. Inojoza, 1987. Oldepesca – Documento de pesca N° 007: Sinopsis Biológica de las principales especies ícticas del Lago Titicaca. Publicación sobre los resultados del proyecto: Evaluación de los recursos pesqueros del Lago Titicaca. Ejecutado por el Instituto del Mar del Perú – IMARPE y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

Stanish, Ch., 1992. *Ancient Andean Political Economy*. University Texas Press, Austin.

Stanish, Ch., 1997. Non Market imperialism in the prehispanic americas: The Inka occupation of the Titicaca Basin. *Latin American Antiquity* 8(3), pp.195-216.

Stanish, Ch., E. de la Vega M., L. Steadman, C. Chávez, K. L. Frye, L. Onofre, M. Seddon y P. Calisaya, 1997. *Archaeological Survey in the Juli Desaguadero Region of Lake Titicaca basin, Southern Perú*. Fieldiana N°29. Publicación del Field Museum of Natural History, Chicago.

Wirrmamm, D., J.P. Ybert y PH. Mourguiart, 1991. Una evaluación paleohidrológica de 20.000 años. En C. Dejoux y A. Iltis eds. El Lago Titicaca, Síntesis del conocimiento limnológico actual, pp 61-67, ORSTOM, HISBOL, La Paz.

Introducción a la arqueología de la cuenca del Lago Poopó

Por: *Marcos Michel*[1] y *Carlos Lémuz*[2]

RESUMEN

El foco de la investigación arqueológica Boliviana ha sido desde sus inicios la Cuenca del Lago Titicaca y en particular todo lo que tiene que ver con el desarrollo de la Cultura Tiwanaku, no es sino hasta finales de los años sesenta que la Cuenca del Lago Poopó toma importancia dentro de la historia prehispánica de los Andes Sur Centrales, merced a los datos que identifican a la Cultura Wankarani como una de las más antiguas presencias humanas del Formativo altiplánico (1500 – 250 a.C.). Desde entonces, numerosos hallazgos fueron reportados, pero pocos estudiados de manera sistemática por lo que su presencia como manifestación regional fue por mucho tiempo muy poco entendida.

En la década de 1990 que estudios regionales y de sitio fueron emprendidos, obteniéndose principalmente resultados relacionados con la vida doméstica de los núcleos de ocupación Wankarani y a la estrategia que estos tenían para ubicarse dentro del paisaje que domina el entorno del Lago Poopó.

La investigación arqueológica por lo pronto esta centrada en el Formativo Wankarani, aunque la actividad humana en la región prosiguió con igual o mayor vitalidad en períodos subsecuentes, probablemente dentro de un cuadro de continuidad y cambio cuyos detalles aún no conocemos con precisión.

El presente trabajo es el resultado de un reconocimiento regional en los márgenes del Lago Poopó que suma importantes datos arqueológicos al inventario existente y pretende aportar al entendimiento del desarrollo cultural de toda la cuenca como una base para implementar un posterior estudio regional destinado a esquematizar un cuadro histórico cultural que se relacione con los procesos que se desarrollaron en la Cuenca

[1] Carrera de Arqueología - UMSA, Calle Azpiazu N° 609, Teléfonos (591 2)2415686 - 7154669. Fax: 2313664 E-mail : mmichel@ceibo.entelnet.bo, La Paz – Bolivia.

[2] Carrera de Arqueología - UMSA, Av. Del Maestro 1251 esquina calle D2. Fax: (591 2)2433183 Casilla 7018, E-mail : clemuz@ceibo.entelnet.bo, La Paz - Bolivia.

del Lago Titicaca, el altiplano central, los valles del este y sur, e incluso con los desarrollos culturales centrados en la costa norte de Chile.

Presentamos datos e interpretaciones dentro de un rango temporal que se extiende entre los 1.500 a.C . hasta 1533 d.C., desde las primeras manifestaciones agroalfareras hasta la presencia expansiva incaica.

SUMMARY

The focus of the investigation archaeological Bolivian has been from its beginnings the Cuenca of the Lake Titicaca and in particular all that has to do with the development of the Culture Tiwanaku, is not but until final of the years sixty that the Cuenca of the Lake Poopó takes importance inside the prehispanic history of the Central South, of the Andes grace to the data that identify to the Culture Wankarani like one of the oldest human presences in the Formative altiplánico (1500 - 250 B.C.). from then on, numerous discoveries were reported, but few studied in a systematic way for what its presence as regional manifestation was for a lot of time very little expert.

In the decade of 1990 that regional studies and of place they were undertaken, being obtained mainly results related with the domestic life of the occupation nuclei Wankarani and to the strategy that these they had to be located inside the landscape that dominates the environment of the Lake Poopó.

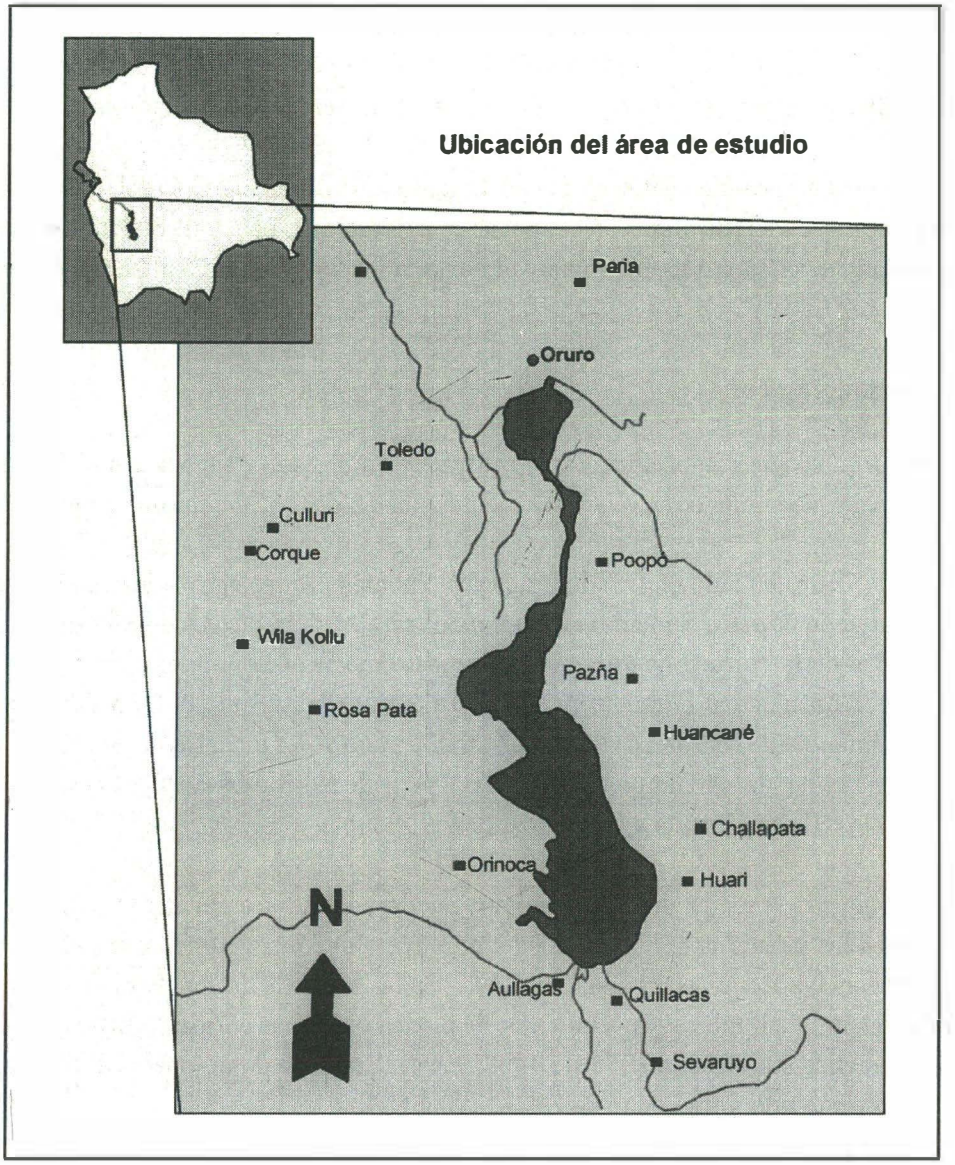
The archaeological investigation for the time being this centered in the Formative Wankarani, although the human activity in the region continued with same or bigger vitality in subsequent periods, probably inside a square of continuity and change whose details don't still know accurately.

The present work is the result of a regional recognition in the margins of the Lake Poopó that adds important archaeological data to the existent inventory and it seeks to contribute to the understanding of the cultural development of the whole basin like a base to implement a later regional study dedicated to schematize a cultural historical square that is related with the processes that were developed in the Cuenca of the Lake Titicaca, the central highland, the valleys of the east and south, and even with the cultural developments centered in the north coast of Chile.

We present data and interpretations inside a temporary range that extends among the 1.500 a.C. up to 1533 D.C., from the first manifestations agroalfareras until the Incan expansible presence.

INTRODUCCIÓN

La correlación entre los antecedentes etnohistóricos y arqueológicos del Departamento de Oruro en contrastación con nuestro trabajo de reconocimiento en los márgenes del Lago Poopó, nos permite esbozar una introducción a la arqueología de la cuenca del lago Poopó, teniendo como objetivo principal delimitar las características culturales y de patrón de asentamiento de la cuenca para futuros trabajos.



ANTECEDENTES

El Lago Poopó

En la actualidad se considera la región del Lago Poopó como una cuenca endorreica que recibe los aportes de los ríos: Desaguadero al noroeste, Río Huanuni al noreste, Laca Jahuira al sureste, Marquez, Wila Jawira y Sevaruyo al sur y Río Cortadera al sureste.

El Lago Poopó, con su rebalse norte o lago Uru Uru, tiene una medida en 1991, de 3191 km 2 y está situado en el centro del altiplano a una altura aproximada de 3686 msnm. La cuenca lacustre del Poopó es plana y los principales aportes acuíferos llegan al norte por el río Desaguadero y al sur por el río Marquez. El Lago Poopó tiene una profundidad máxima de 2.2 m, en épocas de niveles elevados (Montes de Oca 1997, Wirrman et al. 1991).

Según Boulangé (tomado de Montes), la longitud de sus costas en períodos de aguas altas es de 310 km y un ancho máximo de 53 km. La historia de subidas y bajadas del Poopó varía mucho de acuerdo a las estaciones lluviosas y sus orillas se desplazan en grandes distancias de acuerdo a los aportes de sus afluentes.

El Poopó, como parte del eje acuático: Titicaca, Poopó, Coipasa, Uyuni, es un reflejo del gradiente pluviométrico entre el noreste y suroeste del Altiplano, en el que las precipitaciones pasan de 800 mm año a menos de 200 mm y la evaporación pasa de los 15000 mm año, al norte, a los 2000 mm año al sur (Argollo y Mourguiart 1995).

Antecedentes Arqueológicos

Los antecedentes arqueológicos específicamente centrados en el Lago Poopó son muy escasos, por lo que tomamos la información acumulada con relación al departamento de Oruro como un primer marco referencial.

El departamento de Oruro ha sido motivo de limitados trabajos arqueológicos, los que se centraron en las cercanías de la ciudad de Oruro a comienzos de siglo. Se trataba de hallazgos de cabezas de llama talladas y grabados en piedra de la cultura que ahora conocemos como Wankarani, los investigadores Metraux y Lehman intuyeron la antigüedad e importancia de esta cultura (Hauthal 1911 y Means citados en Ponce 1970, Metraux y Lehmann 1931). Ibarra Grasso fue también uno de los pioneros en identificar la importancia de la cultura que denominó "de los Túmulos o Megalítica" en la década de los cincuenta por sus característicos montículos artificiales (Ibarra Grasso y Querejazu Lewis 1986).

También se desarrollaron trabajos de excavación en las décadas de los cincuenta y sesenta, entre 1958-1959, Walter realizó las primeras excavaciones del montículo de Wankarani (Cerca de Viscachani). Estos trabajos inauguraron las excavaciones sistemáticas de la "cultura de los Túmulos". Se descubrieron estructuras habitacionales circulares con cimientos de piedra y algunos entierros directos debajo del piso de las casas y fuera de ellas sin ofrendas (Walter 1966, 1994). Un trozo de un poste carbonizado fue fechado radiocarbónicamente con una antigüedad de 790 +- 100 a.C (Ibid.).

En 1966 el Centro de Investigaciones Arqueológicas de Tiwanaku realizó excavaciones en el montículo de Wankarani dejando descubiertos siete niveles habitacionales en 14 capas sedimentarías. Las estructuras de hábitat mostraron un patrón circular, con cimientos toscos, cantos rodados sin labrar y aparejo parietal. Las paredes estaban erigidas en adobe, unidas con argamasa de barro. La cultura de los "mounds" o montículos fue denominada "Wankarani" por Ponce a partir de sus excavaciones en el sitio de este nombre. Las investigaciones desarrolladas por el CIAT en 1966 dieron a conocer fechados radiocarbónicos que sitúan temporalmente a la cultura Wankarani entre los 1500 a.C y 250 a.C. (Ponce 1970: 40-41).

El único trabajo de corte regional en relación a la tradición cultural Wankarani fue desarrollado por Wasson, (1967) quien describió diez sitios en un área comprendida entre la población de Patacamaya al norte en el Depto. de La Paz y Orinoca en el área meridional del lago Poopó en Oruro (Wasson 1967: 151).

Desde los trabajos de Walter y Ponce no se habían desarrollado excavaciones y prospecciones mayores, hasta las investigaciones de la Universidad de Pittsburgh liderizadas por Bermann. Con base en la región

de La Joya los investigadores de la Universidad de Pittsburgh enfocan su trabajo en la época Tiwanaku, permitiendo comprender las formas de desarrollo cultural local en la región de La Joya durante dicho momento y la influencia de esta cultura. Bermann interpreta un modelo de "variación regional", en el que la interacción de la cultura Tiwanaku con otras poblaciones tomó una gama de complejas formas, mas que un control hegemónico de la región. Una segunda interpretación de este autor sugiere que la variación cerámica encontrada en La Joya refleja la continuación de modelos económicos y sociopolíticos preimperiales en áreas exteriores al núcleo Tiwanaku.

Las evidencias arqueológicas definen un patrón de asentamiento preliminar, una secuencia de ocupación y una tipología cerámica local, la cultura Wankarani ocupó la región hacia el 1800 a.C, despoblándose algunos siglos antes de la aparición expansiva de Tiwanaku. Posteriormente se habría desarrollado una tradición a la que corresponde el "Complejo cerámico Jachakala", y que entre los siglos IX y XIII habría interaccionado con Tiwanaku imperial (Bermann 1992,1993, 1995).

Mc Andrews (1998), también de la Universidad de Pittsburgh, plantea con base en prospecciones sistemáticas en La Joya, que los núcleos de hábitat Wankarani estaban constituidos por agrupaciones de viviendas, formando villas. Estas agrupaciones de viviendas en el tiempo formaron los montículos arqueológicos de coloración negruzca característicos de esta cultura. Los sitios Wankarani habrían sido completamente abandonados hacia el 250 d.C, habiendo cambiado la disposición de los sitios a un patrón disperso, correspondiente a la tradición de desarrollo local denominada Jachakala, la que continúa hasta la época del Intermedio Tardío.

Trabajos recientes han efectuado una definición preliminar del componente arqueológico Carangas, cuya raíz podría corresponder a un período posterior al Formativo de Oruro. Arellano y Kuljis identificaron una tradición cerámica y cultural que data después del 900 d.C. y cuyas características se aproximan a lo que nosotros hemos denominado Carangas.

De acuerdo al presente estudio podemos afirmar que Arellano y Kuljis lograron inferir algunas de las características de la cultura Carangas e Inca Carangas y posiblemente su límite de expansión hacia el actual departamento de La Paz, características que fueron atribuidas a una nueva cultura denominada "Anantoko" (Arellano 1992).

Gisbert y su equipo (Gisbert et al. 1995), efectuaron importantes aportes a la descripción de algunas facetas culturales referidas a la tradición Carangas, principalmente acerca de sitios arqueológicos como: La Pucara de Huaylilla, Changa Moco y Monterani en la jurisdicción de Curahuara de Carangas, información importante para la definición de las características del fenómeno cultural Carangas en la región de Sajama.

Cronología

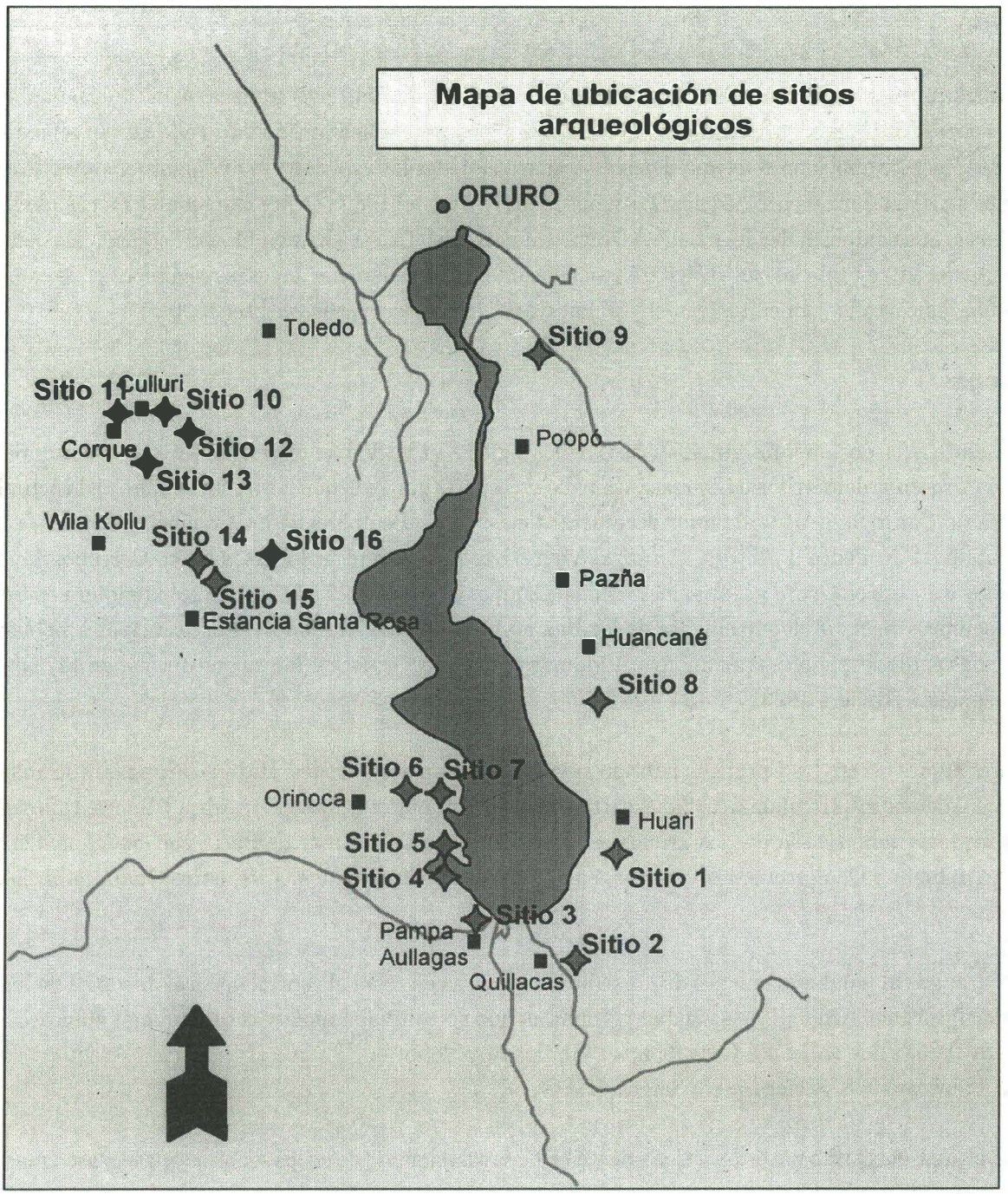
Aunque los antecedentes arqueológicos sobre la región del lago Poopó son escasos, podemos afirmar que en la actualidad se conocen las características de un largo proceso de desarrollo en el Departamento de Oruro, el que se constituye en un marco de referencia importante para las investigaciones que se desarrollen en la

cuenca del Lago Poopó. Apoyados por los trabajos de Berman (1993) y Michel (2000) elaboramos un esquema cronológico referencial para el desarrollo histórico cultural de nuestra explicación:

Período Formativo, cultura Wankarani:	1.800 a.C. - 400 d.C.
Desarrollos Regionales Tempranos:	400 d.C. - 1.200 d.C.
Desarrollos Regionales Tardíos	1200 d.C.- 1450 d.C.
Expansión Inka:	1450 d.C. - 1530 d.C
Época Colonial	1530.....

Esquema Cronológico comparativo de la Cuenca del Lago Poopó

AÑOS	Cronología Relativa	Valles del sur	TIWANAKU	JACKAKALA	POOPO
1600	Colonial Temprano	Contacto español	Pacajes Tardío	Colonial	Colonial
1500	Inca expansivo	Expansión Inka	Pacajes Medio	Inka	Expansión Inka
1400		Desarrollos Regionales Tardíos			Desarrollos Regionales Tardíos
1300					
1200	Señoríos Aymaras		Pacajes Temprano	Post-Tiwanaku	
1100		Desarrollo Regionales Tempranos			Desarrollo Regionales Tempranos
1000			Tiwanaku V Tardío		
900				Jachkala	
800			Tiwanaku V Temprano		
700					
600			Tiwanaku IV Tardío	Niñalupita	
500			Tiwanaku IV Temprano		
400	Tiwanaku Expansivo			Chuquiña	
300			Formativo Tardío 2		
200		FORMATIVO	Formativo Tardío 1B		
100					
A.c/D.c					
100	Formativo Superior		Formativo Tardío 1A		
200					FORMATIVO WANKARANI
300				San Andrés Wankarani	
400					
500					
600					
700		PRECERAMICO			
800			Chiripa Tardío		
900					
1000	Formativo Medio		Chiripa Medio		
1100					
1200					
1300					
1400					
1500	Formativo Inferior		Chiripa Temprano		
1600					
1700	Arcaico Tardío/Terminal		Arcaico		
1800					



BOSQUEJO ETNOHISTÓRICO

De acuerdo a la documentación etnohistórica sobre la región podemos citar como los principales pobladores de la región del Poopó a los Urus y Carangas que son mencionados en documentos desde mediados del siglo XVII.

Los Urus

Los Urus cubrían el denominado eje acuático en las márgenes del Lago Titicaca, el río Desaguadero y el Lago Poopó. Los Urus basaron su economía en la caza, pesca y recolección, debido a ello fueron considerados "salvajes" por los pobladores vecinos de habla aymara, quienes los explotaron y persiguieron durante cientos de años o mestizaron sus poblaciones (Posnansky 1947, Wachtel 1980). Ocupaban todavía en el siglo XVI un área geográfica extensa, desde el Lago Azángaro al norte del Titicaca hasta el Lago Coipasa. De acuerdo a la Visita del Virrey Toledo, en 1574-1575 la población Uru se constituía en los corregimientos de Azángaro, Cavana, Paucarcolla, Chucuito, Omasuyos, Pacajes, Carangas y Paria (Wachtel 1990).

Carangas

De acuerdo a los documentos etnohistóricos de los siglos XVI y XVII, el territorio Caranga se situaba en la porción Urqosuyo del territorio Charcas y ocupaba un espacio mayor al que lleva este nombre en la actualidad. El señorío Caranga de acuerdo a los documentos etnohistóricos abarcaba las provincias Sajama, Litoral, Atahuallpa, San Pedro de Totora, Carangas y en parte las provincias Tomas Barrón, Cercado, Saucari y Ladislao Cabrera en Oruro y la Provincia Daniel Campos en Potosí y es posible que se extendiera en tiempos prehispánicos hacia el departamento de La Paz en el sector del Río Mauri. Las principales poblaciones reducidas por los españoles eran Sabaya, Andamarca, Corque, Orinoca y Totora que nucleaban 147 poblados prehispánicos (Riviere 1983).

Según Saignes (1986) los Carangas habrían sido divididos en dos mitades: Hatun Carangas, que abarcaba: Corque, Andamarca, Huyllamarca, Sabaya, Huachacalla, Chuquicota, Turco, Curawara y Totora. Una segunda mitad estaría conformada por los grupos reducidos en el sector noreste de Paria por los inkas, los Soras entre Capinota y Challacollo; los Casayas, entre Saucare y Cicaya y los Urus, entre Challacollo, Toledo y Paria.

Los Carangas al igual que muchos de los señoríos aymaras ejercían el control vertical de valles de la costa del Pacífico como: Azapa, Lluta, Codpa y Timar, donde se cultivaba maíz y coca (Hidalgo y Focacci 1986, Riviere 1983) y los valles de Cochabamba: Tiquipaya y Popco en Chuquisaca, Tarija y Arequipa (Julien 1997, Pauwels 1983, Riviere 1983, Saignes 1986).

Los Carangas formaron parte de la Confederación Charcas, siendo uno de los señoríos que lograron mantener su personalidad cultural.

Respecto a la conquista inka de la región de Carangas y de acuerdo a los trabajos de Gisbert (Gisbert 1994, Gisbert et al. 1995), los inkas penetraron militarmente en el territorio aymara con Pachacuti, consolidándose la conquista del Collao durante el reinado de Tupac inca Yupanqui. De acuerdo a la relación de Guarachi, que colaboró con el Cacique de los Carangas, Soto, existió un pacto antiguo entre estos caciques a fin de que los Carangas colaborasen a los inka en la conquista a Pacajes, permitiendo que estos últimos pasen por territorio Carangas (Gisbert et. al. 1995:8). Las amplias y contundentes evidencias arqueológicas de la ocupación inka de la región apoyarían esta hipótesis.

Confederaciones étnicas

El área de estudio está comprendida dentro de la denominada Confederación Quillacas constituida por seis agrupaciones: Quillacas, Azanaques, Sevaruyos, Haracapis y Aullagas - Uruquillas (Abercrombie 1986) y los reinos Carangas al norte del Poopó. La Confederación Quillacas a su vez conformaban cuatro diferentes reinos: Quillacas, Azanaques, Aullagas-Uruquillas y Sevaruyos-Haracapis (Molina y Barragan 1987).

Quillacas al sur del lago Poopó es una pequeña comunidad cuyo nombre sirvió para denominar una federación que ocupaba un extenso territorio desde el período prehispánico. Su centro político y administrativo era el poblado de Quillacas. Los miembros de esta federación basaban su economía en actividades pecuarias, agrícola y en menor grado en la caza y pesca.

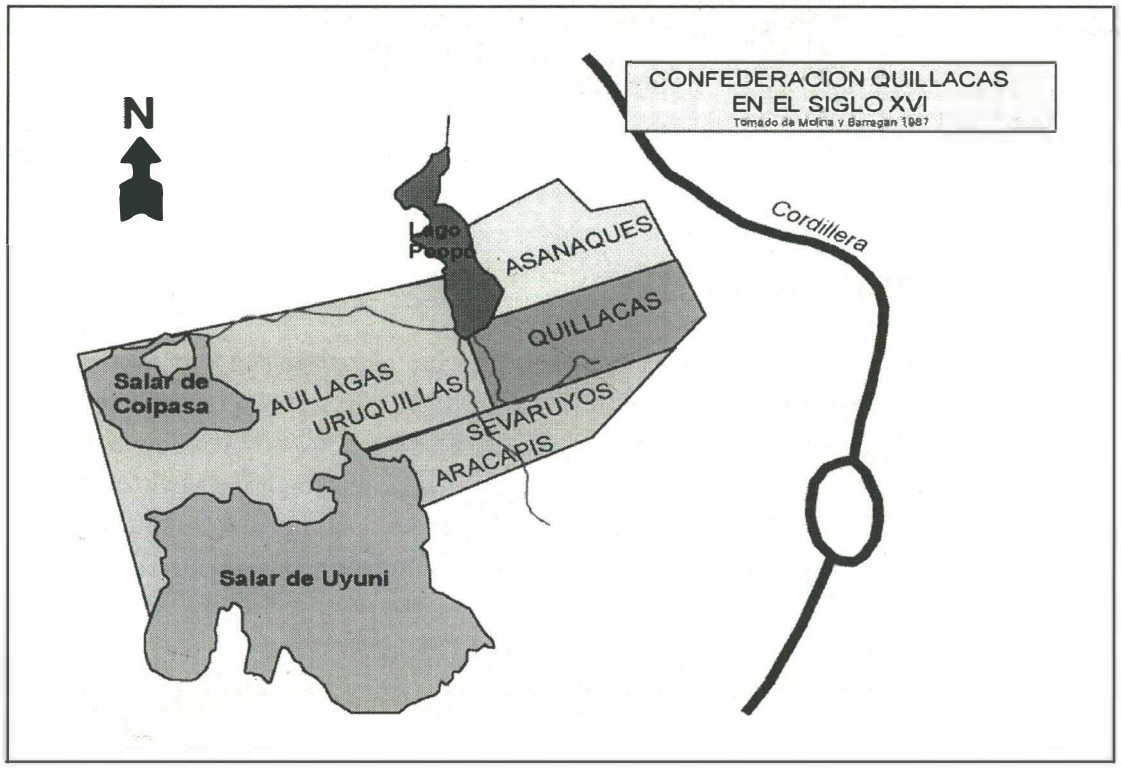


Figura 2
Mapa de las Confederaciones en la cuenca del Lago Poopó según Molina y Barragan 1987.

Los señoríos que conformaban esta confederación estaban formados por ayllus organizados dualmente en Aransaya y Urinsaya, cada parcialidad tenía un determinado número de ayllus. Estos señoríos tenían además tierras en los valles templados y la costa que permitían el cultivo de productos como el maíz, complementando sus dietas alimenticias. Los valles de Cochabamba, Chuquisaca, Yamparaéz, Pilaya y Paspaya, en las partes altas del valle del río Pilcomayo y las laderas del cerro Turqui del valle de Tarapaya eran áreas de acceso de los señoríos de la confederación.

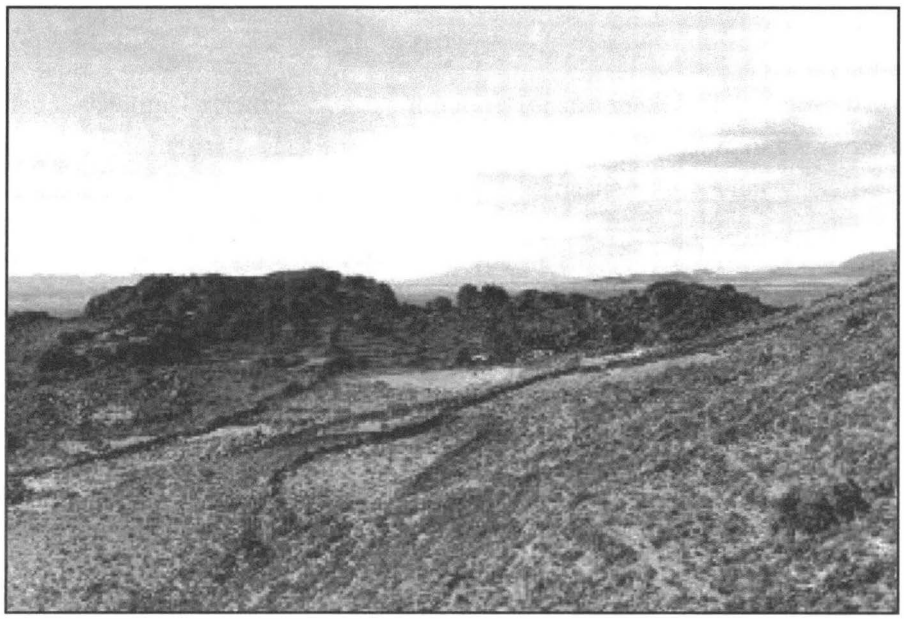


Figura 4
Vista panorámica del sitio de Quillacas.

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La región de estudio está circunscrita dentro del área Centro Sur Andina, sub-región Puna Norte, de acuerdo a la definición de áreas culturales propuesta por Lumbreras (1981). Comprende la cuenca lacustre del Lago Poopó limitada por las cordilleras de Azanaques y Frailes al este, las serranías de Huayllamarca al noroeste y la región de Pampa Aullagas al suroeste. El plano general fisiográfico describe la zona como Puna o Altiplano Intermontano. El área de estudio se caracteriza por la presencia de un 70% de llanuras inundables de la cuenca aluvial del lago Poopó, un 8% de arenales y un 22% de serranías y valle intermontano (Muñoz Reyes 1980).

Entre octubre y noviembre de 1993, con el auspicio del Centro de Tecnología Petrolera de la empresa estatal de petroleros (YPFB) se efectuó un reconocimiento arqueológico de los márgenes del Lago Poopó, con el objetivo de identificar potenciales daños al patrimonio arqueológico. El trabajo de reconocimiento fue dirigido a describir, documentar y mapear sitios arqueológicos en riesgo de ser destruidos en áreas de actividades petroleras, la metodología consistió en el reconocimiento pedestre y visual de transectos de prospección sísmica y de zonas de importancia histórica conocida, documentándose un total de 16 sitios arqueológicos.

Se obtuvieron también colecciones muestrales de artefactos de cada uno de los sitios, el análisis del material cerámico obtenido proporciona una imagen preliminar de las características de ocupación acontecida en el pasado prehispánico en la región de la cuenca del lago Poopó. Basados en 774 fragmentos, de los cuales 308 son decorados y 466 no decorados, se efectuó un análisis estilístico y tecnológico que merced a comparaciones con descripciones cerámicas aparecidas en la literatura arqueológica sobre la región, nos permitió la identificación preliminar de 4 períodos de ocupación cultural presentes en la cuenca del Poopó.

Para poder tener una idea correlativa de la relación de los asentamientos humanos con la ecología del lugar se efectuó una estratificación del área, la que fue complementada tomando como parámetro el sistema de clasificación de Rivera et al. (1996) de la siguiente manera:

Zona de Serranías cordilleranas
Se trata de pequeños cordones de serranías que atraviesan la región de estudio y son parte de las formaciones cordilleranas mayores, algunas se encuentran cerca de las orillas del Poopó (cerro Santos Vilca) y otras son cadenas pequeñas más alejadas (Iquizi).

Puna Seca (incluye la zona microambiental entre llanuras y laderas de montañas).
La región en general puede ser definida como Puna Seca, al ser un sector adyacente al Lago Poopó. Posee hasta un mínimo de 300 mm de precipitación promedio anual y cubre elevaciones entre los 3.600 y 4.200 m.s.n.m. En algunos sectores, se encuentran serranías de material ígneo y mesetas con afloramientos de sal. En las planicies se destacan las acumulaciones de sedimentos fluvio-lacustres, antiguos depósitos de los paleolagos. El promedio anual de temperatura fluctúa entre los 8 y 11 °C. Los suelos se erosionan por lluvias y viento aunque las inundaciones temporales redistribuyan el limo y la arena, los procesos de erosión se aceleran por la acción del pastoreo.

Puna Desértica o playas lacustres
Este ecosistema abarca toda la región central del Departamento de Oruro y los alrededores de los salares de Uyuni y Coipasa. La precipitación anual tiene un promedio de 200 mm, con mayores índices en el sector norte; allí, crecen con mayor intensidad los Arbustos (*Parastrephia lepidophylla*), los Cacti (*Oreocereus y Trichocereus*), y los Pastos (*Festuca orthophylla, Calamagrostis spp.*). La evaporación es fuerte, 1500 a 2.000 mm., mientras que la humedad es mínima y puede ser inferior a 15%. Las precipitaciones son irregulares y débiles, fluctuando de 100 a 300 mm.

Zona de arenales
Existe una importante dinámica de extensos arenales, que forman dunas y desiertos extensos con poca vegetación arbustiva. Los grandes arenales se concentran en las márgenes suroeste, norte y noreste del lago.

Zona de plano aluvial de ribera
Comprende las orillas de los ríos afluentes del lago Poopó que no están dentro de las zonas de arenales o playas lacustres. Se incluyen en esta: un segmento del río Desaguadero y los ríos afluentes Marquez, Sevaruyo, Lacajahuira, Peñas Corque y otros menores. El índice de salinidad de estos ríos se incrementa según su proximidad al lago Poopó y sus caudales fluctúan en un amplio rango de acuerdo a las estaciones y el índice de precipitación que afecta a la cuenca del lago Titicaca, especialmente en los afluentes al norte del lago.

RESULTADOS

A continuación presentamos los resultados del estudio resumidos en la tabla 1, de acuerdo a los períodos identificados.

Tabla 1

SITIOS ARQUEOLÓGICOS INVESTIGADOS EN LAS MÁRGENES DELPOOPÓ

Nº de sitio	Ubicación	Ecología	Tamaño	Características	Componentes
1	Ubicado en el interior de la hacienda Chacapuco, 10 Km. al norte de la población de Huari.	El terreno está dentro la cobertura de un extenso arenal a 3700 m.s.n.m. A pocos kilómetros de este lugar se encuentra un sector de minas y aguas termales.	500 m^2	Montículo cubierto de arena, compuesto por una serie acumulativa de estratos que culmina con la presencia de material cerámico contemporaneo. Aparentemente se trataría de un lugar de vivienda.	Carangas y colonial.
2	Estructuras agrícolas sobre los cerros Santa Bárbara Y San Juan Mallku en Quillacas. Una concentración importante de material cerámico se halla sobre una elevación llana entre los cerros Santa Barbara y San Juan Mallku.	Afloramientos volcánicos a una altura promedio de 3799 m.s.n.m	3 km^2	Parte del sitio y las laderas son usadas para un tipo de agricultura peculiar que prescinde de el arado y los surcos en arenales. La parte este del cerro San Juan Mallku fue probablemente una cantera de extracción de basalto de uso prehispánico, llama la atención la parcelación del cerro mediante pircas de rocas basalticas canteadas.	Colonial, Inka, Carangas y Formativo. Artefactos líticos: azadas y cuchillos convexos de doble faz fabricados en basalto negro.
3	Ladera oeste del Cerro Santos Villca, cerca de la población de Pampa Aullagas.	Zona de Serranía Cordillerana a 3640 m.s.n.m.	3 Km2 sobre las laderas norte y oeste del cerro	Una gran densidad de artefactos es visible en la superficie de las laderas oeste y norte del cerro Santos Villca, no se pudieron reconocer relaciones con contextos de andenes de cultivo u otras estructuras.	Inka, Carangas y Formativo. Instrumentos líticos de basalto, principalmete cuchillos y takisas (azadas).
4 Ancoma 1	Norte de Pampa Aullagas, a una altura de 3.640 m.s.n.m	Zona de arenales. Arenal Jala Manka Pampa, colindante con una playa inundable.	4 ha.	Restos de canales paralelos correpondientes al sistema prehispánico de campos drenados de cultivo. Los canales se encuentran separados entre 19 y 21 m. uno del otro, su ancho es de aproximadamente 2 m. y están orientados de noreste a suroeste, se contó un total de 36 canales alineados paralelamente. El estado de conservación de los campos elevados es malo, ya que apenas pueden ser distinguidos en la superficie del terreno por las marcas de los canales o las plantas que han crecido alineadas en las plataformas.	Colonial, Inka, Formativo y herramientas de basalto negro.
5 Ancoma 2	A un kilómetro al norte del sitio 4.	Zona contigua de Arenales y Pampa Inundable.	8 ha.	Se detectaron terraplenes y construcciones artificiales de arena, con un ancho entre 5 y 6 m. Estas estructuras se orientan formando cuadrángulos de diferentes dimensiones, con un ancho de 20 y 50 m y un largo de 50 a 80 m orientadas de sureste a noreste.	Colonial, Carangas y Formativo.

SITIOS ARQUEOLÓGICOS INVESTIGADOS EN LAS MÁRGENES DEL POOPÓ (Continuación)

Nº de sitio	Ubicación	Ecología	Tamaño	Características	Componentes
6 Carpani	El lugar se emplaza en las faldas inferiores del cerro Chicupaya (al este), y la orilla oeste del Lago Poopó.	Zona de arenales. Sirca Pampa, Maica Pampa, Pachikhaua Mamamni Kollu y Jacha Mamani Kollu. Altura promedio de 3.700 m.s.n.m..	Aprox. 25 Km^2.	La zona presenta una amplia ocupación dispersa. Posiblemente fueron pequeños sitios de hábitat temporal, talleres líticos, corrales y lugares de caza.	Carangas. El material lítico presenta en forma Preponderante formas grandes de azadas, cuchillos, raspadores y bifaces en basalto negro.
7 Mamani Khollo	Ubicado al este del camino Pampa Aullagas-Orinoca, aproximadamente a 2 Km del pueblo de Ancorcaya (3646 m.s.n.m).	Zona de arenales	2 ha	Aparentemente se trata de un taller lítico en medio de una zona de arenales móviles. El material está diseminado en dos extensas concentraciones de: azadas, hachas, cuchillos, raederas, desechos de talla y piezas a medio manufacturar . El material de fabricación es basalto negro.	Colonial, Carangas y Formativo.
8 Cayachata	Se ubica al oeste de la localidad de Challapata, sobre el margen este del lago Poopó, A una altura de 3636 msnm.	Playa inundable	10 ha	El sitio se asienta sobre una cubierta de regolito en un sector de playa inundable, la morfología de la superficie permite reconocer canales de camellones prehispánicos orientados de sudeste a noroeste, distanciados uno del otro entre 2 y 3 metros. El ancho de los canales es de aproximadamente un metro y están regularmente conservados sin presentar indicios de haber sido reutilizados.	Carangas y Formativo.
Sitio 9 Thola Pampa	Se encuentra en el margen noreste del lago Poopó, cerca de la actual población de Machacamarka, a una altura de 3.110 m.s.n.m.	Se trata de dos torres funerarias asociadas a material cerámico Carangas disperso.	1 ha		
Sitio 10 Iquizi	Se encuentra a 12 Km al este de la población de Toledo, se llega por un sendero que parte del camino carretero Oruro-Toledo 3.666 m.s.n.m.	Pampa de Poli Pujro	0.16 ha	Dispersión de cerámica.	Colonial y Carangas.
Sitio 11 Kollpuma	Sitio ubicado en las cercanías de la estancia Kollpuma.	Pajonal y Tholar.	3 ha.	Alta densidad cerámica de superficie, esta relacionado a un grupo de nueve torres funerarias asentadas a lo largo del cerro Khaso.	Colonial y Carangas. Azadas líticas de arenisca y basalto.

SITIOS ARQUEOLÓGICOS INVESTIGADOS EN LAS MÁRGENES DEL POOPÓ (Continuación)

Nº de sitio	Ubicación	Ecología	Tamaño	Características	Componentes
Sitio 12 Kolluri-Kollpuma	Cerca de Kolluri a 3670 msnm.	Ladera de serranía cubierta de tholares.	2 ha	Se encuentra relacionado a un sector de torres funerarias emplazadas en las laderas del cerro Pucara y Chullpa Casa Loma. Los sitios están dispersos en la zona de la llanura inundable, otros sitios correspondientes a Carangas se asientan sobre zonas de Tholar. La ocupación más densa se halla en las laderas bajas del cerro Quimsachata, cerro Condor Iquiña, cerro Humallata (Estancia Bella Vista) y cerro Kotasiña.	Carangas e Inka.
Sitio 13 Jankho Kala	Se encuentra muy cerca de la carretera que vincula las poblaciones de Toledo y Corque. A menos de un kilómetro se encuentran los ríos Caquiza y Corque a 3690 ms.n.m.	Arenales intercalados con vegetación arbustiva de tholas y paja.	4 ha.	Se destacan más de 50 torres funerarias distribuidas entre las laderas superiores del cerro y la planicie adyacente. La mayor densidad de estas contrucciones se asientan en la zona alta formando agrupaciones de 10 a 11 torres. Los «Chullpares» fueron edificados a base de adobes de tierra, se orientan uniformemente con su abertura al este.	Carangas e Inka, existen también herramientas de basalto negro.
Sitio 14 Laka Laka norte	Se ubica al noroeste de la población de Laka Laka, sobre la ladera este del cerro Quita-quita, a una altura de 3740 m.s.n.m.	Serranía, zona de alta densidad de matorrales de thola y paja.	15 ha	Se asocia a un grupo de torres funerarias (aprox. 8) y sitios habitacionales, pecuarios (corrales) y agrícolas (andenes). El material cerámico se extiende en forma profusa e ininterrumpida por toda la ladera este hasta alcanzar el poblado de Laca Laca. Es probable que la localidad se extienda por muchas hectáreas más sobre la pampa, tal como lo manifestaron pobladores del lugar.	Inka, Carangas, Tiwanaku, Formativo. El material lítico consta de cuchillos, raederas, afiladores hechos de basalto negro y desechos de manufactura en obsidiana negra. morteros y batanes para molido de grano y restos de talla de flechas en ópalo y pedernal.
				El sitio pertenece a un amplio complejo arqueológico que cubre todo el valle, desde las zonas más elevadas del cerro Vinto, pasando por las laderas del cerro San Pedro de Huaylloco, y las pampas de tolar que se extienden al noreste. En este territorio se cobijan numerosos sitios asociados a torres y urnas funerarias, talleres líticos, talleres de cerámica y estructuras habitacionales y agrícolas.	
Sitio 15 Condo roma	Se ubica a dos kilómetros del camino entre Laka-Laka y Andamarca, en la ladera noreste del cerro Vinto. La altura del lugar es de 3740 m.s.n.m.	Serranía.	9 Km^2	Se encuentran diseminadas profusas concentraciones de cerámica, torres funerarias, material lítico y óseo.	Colonial, Carangas. Herramientas fabricadas en basalto negro, restos de talla en pedernal y fragmentos alisados de ópalo.
Sitio 16 Quisipata	Sitio 16 Quisipata Está ubicada en las cercanías de Andamarca A3720 msnm.	Zona de arenal.			Colonial, Inka. Existen herramientas de basalto negro.

Período Formativo (1.800 a.C - 200 d.C (?))

El material obtenido en superficie sobre grupos formativos asentados en la región es escaso en este trabajo, sin embargo, las primeras evidencias muestran que estas poblaciones se asentaron con preferencia en la región de la orilla suroeste del Lago Poopó, su producto cerámico se vincula muy estrechamente con el conocido para Wankarani (desgrasante, formas de bordes y acabado superficial). La economía de estos pueblos, estuvo basada en la agricultura, la caza de roedores y aves, la pesca y la cría de camélidos, complementada por el intercambio de productos con los valles orientales y la costa (Ponce 1970).

Anállsis de artefactos

El componente formativo fue encontrado en 6 sitios (PO-2,PO-3,PO-4,PO-5,PO-7 Y PO-16), cinco de ellos al sur del Lago Poopó en sectores de playa inundable y arenal. Dos de estos sitios se encuentran en asociación con sistemas de manejo de aguas (plataformas, canales y posibles camellones) para fines agrícolas. Se colectaron 26 piezas con características formativas, ninguna con presencia decorativa. Un sólo tiesto mostraba desgrasante vegetal en su manufactura, el resto contenía una elevada proporción de mica. La pasta de los fragmentos formativos era en gran porcentaje de color marrón, sólo tres piezas estaban confeccionadas en pasta naranja con engobe rojo ocre. La mayor fracción de tiestos correspondía a jarrones y tazones de gran tamaño.

Seis de los diez bordes formativos colectados presentan las formas típicas observadas en recipientes Wankarani: para jarrones labios en forma de coma, evertidos con refuerzo, redondeado que continúa en asas verticales; para tazones y cuencos de gran tamaño, bordes directos de labios rectos horizontales.

Desarrollos Regionales Tempranos 400 d.C a 1200 d.C

Durante el estudio se recolectó material probablemente correspondiente al período de Desarrollos Regionales Tempranos (contemporáneo al desarrollo Tiwanaku en la Cuenca del Lago Titicaca). Cinco sitios (PO-1, PO-2, PO-3, PO-14, PO-16) albergaban este material de pasta marrón, compacta y de textura porosa y acabado tosco que exhibe un decorado muy peculiar y que no se relaciona con otros ceramios típicos de fases posteriores y anteriores. Sitios como Laka-Laka al oeste y Santos Willka son ubicaciones estratégicas, el primero por su acceso a fauna de piso prepuneño o de tolar (roedores, camélidos, chinchillas), a fauna de río y lago (peces y aves) y a regiones de explotación de oro, cobre y sal. Santos Willka ocupa una posición especial en medio de la extensa pampa desértica del sur, cercana a afloraciones de basalto como Queremita y Quillacas, a menos de un kilómetro del Lago y con fácil acceso a recursos minerales en las serranías del sur.

No se encontraron estructuras asociadas directamente con este material por lo que no es posible una mayor profundidad en la interpretación sin recurrir a trabajos de excavación.

Análisis de artefactos

Dentro de este componente se encontraron cinco sitios, recolectándose en ellos 27 fragmentos. Las formas populares en esta muestra son cuencos, jarrones y tazones. La pasta es liviana, generalmente de color rojo

y marrón, utiliza desgrasante de arena y mica, la decoración más notable se realiza bajo la técnica de pintura negativa. Los bordes son directos de extremo redondeado, pertenecen a tazones abiertos de base plana y paredes rectas.

Los datos respecto a este período son muy escasos, las fases Niñalupita y Jachakala en Jachakala (Bermann y Estevez 1993) pertenecen al único reporte documentado de la existencia de fases contemporáneas y antecedentes a Tiwanaku en la región.

Desarrollos Regionales Tardíos (1.200 d.C - 1.400 d.C).

Los sitios al sur del Poopó muestran una preferencia de la gente por ubicar sus asentamientos en las faldas de elevaciones serranas aisladas, cercanas al lago, en zonas de arenal de mediana elevación, cercanas a playas inundables y en las desembocaduras fluviales. Esta zona se ha identificado como el asentamiento de poblaciones Aullagas-Uruquillas, Quillacas y Asanaques en el sur del lago Poopó. Estos grupos poblacionales obtenían material lítico en diversas afloraciones de basalto como Queremita y Quillacas, con ello manufacturaban herramientas para trabajo agrícola, utensilios domésticos y artefactos de caza y faenamiento. Es posible que materiales manufacturados en basalto formaran parte de su grupo de bienes de intercambio a larga distancia (Bermann y Estevez 1993).

Los sitios arqueológicos estudiados en el norte, probablemente pertenecientes al señorío Carangas (por las características del material cerámico), tienen dos tipos de asentamientos: los primeros de carácter temporal en zonas de pampa inundable y los segundos en zonas elevadas en las laderas de las serranías. Los últimos corresponden a asentamientos permanentes donde se edificaron complejos de estructuras de habitación, campos para trabajo agrícola y extensas necrópolis. Utensilios líticos para molienda de granos, herramientas de cultivo como takisas y mazos para romper terrones junto a abundantes restos de huesos de camélido y roedor evidencian una economía mixta (Michel 2000).

Análisis de artefactos

El material de esta fase se halla distribuido en 14 de los 16 sitios encontrados, representa la mayor proporción del material, alcanza a 334 pzas, de las cuales 174 son decoradas, principalmente en negro sobre naranja, negro sobre rojo y negro sobre marrón. Algunos fragmentos incluyen el color blanco y naranja entre los colores usados para la pintura. Una sola pieza presenta diseños bajo la técnica de pintura negativa. La forma más popular es el tazón con el 42.8% del total de los tiestos encontrados, jarrones, ollas y cuencos completan la variedad de formas halladas.

Se identificaron cuatro tipos cerámicos con muy marcadas diferencias entre ellos, en la mayoría de los sitios sólo aparece un tipo aislado a la vez, sólo en tres de los sitios reportados se identificaron más de dos tipos. Es probable que estos sitios y localidades hayan sido asentamientos multiétnicos u ocupaciones temporales de poblaciones pertenecientes a diferentes manifestaciones culturales de tipo regional.

Expansión Inka (1.450 d.C. - 1.520 d.C.).

Este período representa un corto lapso de tiempo al final del intermedio tardío, la cultura inkaica influyó notablemente en el patrón de asentamiento como en el producto material de los señoríos asentados en la región, hecho que culminó al producirse la irrupción hispana en territorio andino.

Los sitios relacionados a la influencia inka en la zona presentan abundante cerámica confeccionada localmente y copiando los atributos inka, así también y en menor cantidad cerámica muy fina importada desde el Cusco. Los sitios inka son una clara imposición de centros de control administrativo y están estratégicamente ubicados en centros nodales de circuitos económicos (tambos) y en sitios rituales como Carangas.

Se identificaron 7 sitios, colectándose 73 fragmentos, gran porcentaje de decoración de influencia inka. Los tiestos están pintados principalmente en negro sobre rojo, negro sobre naranja y negro sobre marrón, tres piezas muestran un color blanco adicional y otras tres piezas pertenecientes a platos y aríbalos tienen figuras zoomorficas modeladas. La forma de tazón es la más popular con el 59% del total de fragmentos, los jarrones representan 26%, cuencos 8% y platos 5.5%. Existe uniformidad en cuanto a la presencia de material inka tanto en los sitios del sur como en los del norte, representando el 18%, en promedio, del total de los fragmentos de cada uno.

Período Colonial (posterior al 1.520 d.C).

El período Colonial muestra una heterogeneidad grande de asentamientos y material, probablemente pertenecientes a pobladores migrantes de otras regiones en periodos de inicio y coloniales, incentivados por la explotación y búsqueda de minerales y el comercio que de esta actividad se desprendió.

Análisis de artefactos

Este período se intersecta con las primeras manifestaciones de la colonia en la región, caracterizada principalmente por un tipo cerámico de menor calidad en la manufactura, de pintura post-cocción en color negro, blanco y rojo ocre; empleo de desgrasante grueso de arena y cuarzo; ausencia casi total de engobe y formas predominantes de jarrones, cuencos y tazones.

Se recolectaron para el análisis 272 fragmentos correspondientes a este período.

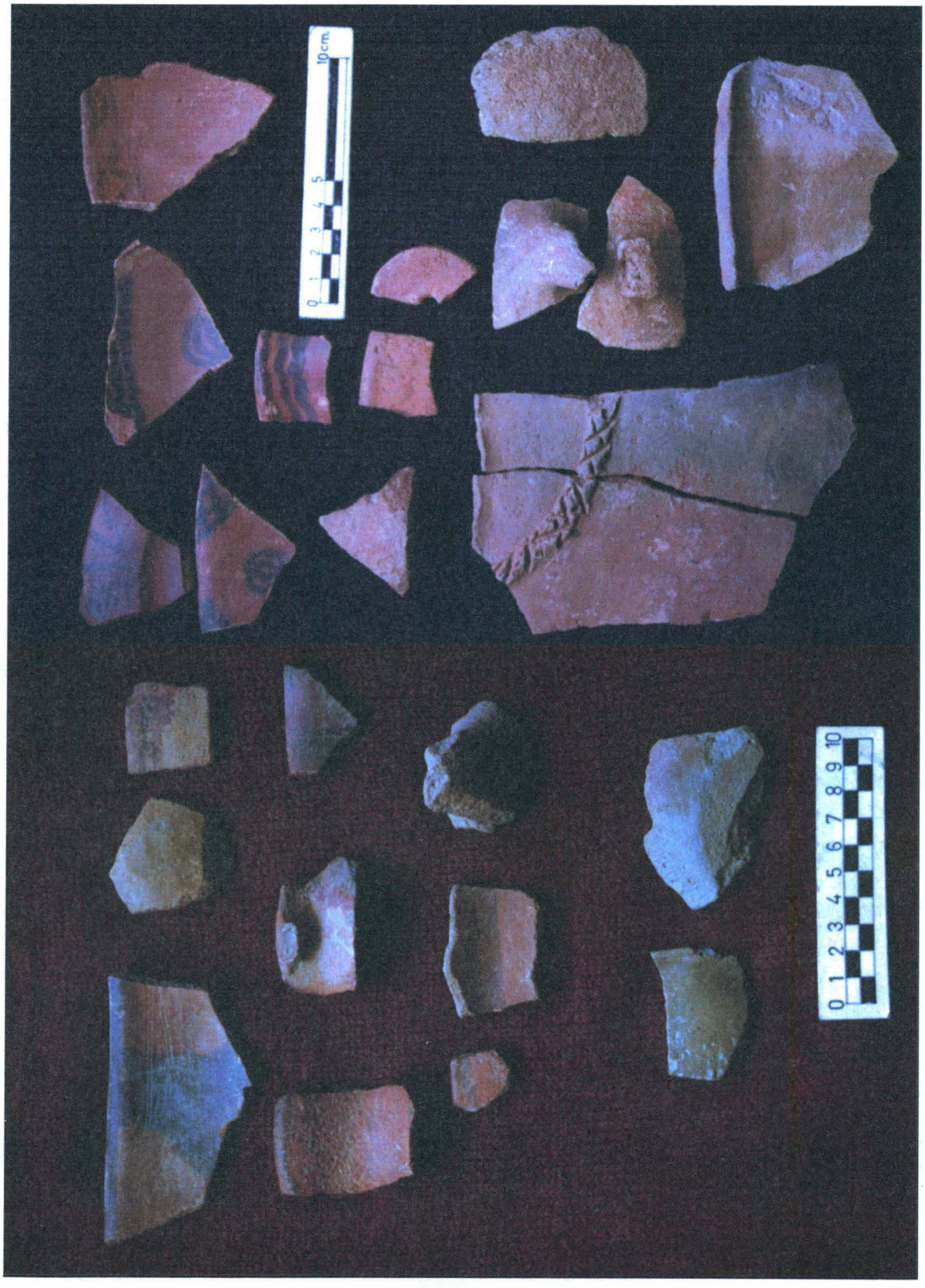


Figura 5
Material cerámico colectado en el reconocimiento.

Figura 6
Material lítico colectado en el reconocimiento.

CONCLUSIONES

Como conclusión general podemos reconocer que la historia de ocupación precolombina de la cuenca del lago Poopó posee una significativa e importante manifestación arqueológica con raíces en una época tan temprana como el Formativo, continúa con un periodo de Desarrollos Regionales Tempranos (todavía poco estudiados), un período de Desarrollos Regionales Tardío, la presencia de la expansión inka que se encuentra focalizada en centros de gran extensión, sugiriendo concentración de funciones a nivel regional, posiblemente ligados al proceso de expansión, explotación de los recursos locales y control de las redes de intercambio.

A partir del trabajo realizado podemos destacar algunas características importantes del proceso de poblamiento de la cuenca del Poopó.

1. Aunque las evidencias recolectadas sobre el período Formativo son escasas este momento habría estado relacionado al desarrollo de la cultura Wankarani en la cuenca. La naturaleza de su economía determinó su ubicación en el paisaje lacustre, una característica destacable de esta es la multilocalidad de las unidades familiares (o de producción económica) que disponían de asentamientos permanentes o estables en las laderas coluviales de las serranías cercanas al lago (McAndrews 1998) y asentamientos temporales en sectores de Puna y Plano Lacustre posiblemente relacionados a actividades de agricultura y crianza de camélidos. Muchos de los sitios arqueológicos de carácter temporal no son fácilmente identificables en la superficie debido al tamaño de los sedimentos acumulados sobre los rastros arqueológicos en un tiempo mayor a mil años como producto de la particular dinámica de erosión y deposición de suelos de la región.

2. Durante el período de Desarrollos Regionales Tempranos se nota un sustancial incremento y diversificación de las actividades humanas en toda la cuenca, producto de ello es posible distinguir diferentes manifestaciones locales dentro de un continum regional. Las diferencias registradas pueden ser causa de una serie de fenómenos culturales (etnicidad, funcionalidad, territorialidad, estratificación social, comercio, etc...) aun poco conocidos a nivel de las investigaciones actuales (Bermann y Estévez 1993). Creemos posible que durante este período la economía regional habría dependido crecientemente de las redes de tráfico e intercambio (Nuñez Dillehay 1978, Lecoq 1991, Browman 1984, McAndrews 1998).

3. El período de Desarrollos Regionales Tardíos nos muestra la consolidación de un proceso de segmentación política dentro de una misma unidad cultural, probablemente muy relacionada con la formación que la etnohistoria menciona. Según dicha información Carangas (como grupo étnico) habría tenido la mayor influencia regional en gran parte de la cuenca del Poopó, como parece sugerir la presencia de características estilísticas comunes en el material cerámico. Por otra parte las diferencias políticas que reporta la etnohistoria aún no han podido ser distinguidas en el registro arqueológico, quedando abierta la posibilidad para futuras investigaciones. Este mismo fenómeno acontece en la zona circumlacustre en el material atribuido a los grupos Pacajes y Omasuyos (Albarracín Jordán 1996b, Lémuz 2001, Portugal 1985).

4. El patrón de asentamiento inka sugiere una estrategia similar a la aplicada en la región circunlacustre a partir de 1450 después de la llegada de Tupac Yupanqui a la zona del Collao y la expansión de su hijo Huayna Capac hacia el sur. En particular notamos similitudes del cambio de patrón de asentamiento a partir de la implementación de dos redes importantes del Capaqñan que se introducen por las márgenes este y oeste del Poopó y el nucleamiento en centros administrativos como Paria, Aullagas, Quillacas y Sevaruyo (Condarco 2001, Ibarra Grasso y Querejazu Lewis 1986, Raffino 1998).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las siguientes instituciones y personas:

Al Willy Gutiérrez y su equipo del Centro de Tecnología Petrolera (CTP) de YPFB, a Don Luis Guerra Gutiérrez por su gentileza al habernos mostrado la colección arqueológica del MuseoAntropológico de Oruro, a Rossana Barragán por su cooperación bibliográfica y sus comentarios, a Gonzalo Lémuz por la valiosa identificación del material lítico, a Carla Jaimes por su cooperación en el análisis de materiales cerámicos, a Jorge Arellano, Mariane Vetters, Clark Erickson, Marc Bermann, Olivia Harris, Guilles Riviere, Patrice Lecoq, Dante Angelo y Carola Condarco por habernos proporcionado importantes sugerencias y material bibliográfico.

BIBLIOGRAFÍA

Abercrombie, Thomas, 1998. Pathways of memory and Power. The University of Wisconsin Press. USA.

Abercrombie, Thomas, 1986. The politics of sacrifice: en Aymara Cosmology in action. P.H.D. University of Chicago; Chicago, Illinois.

Albarracín Jordan, Juan, 2000. Arqueología de Tiwanaku. Fundación Bartolomé de Las Casas. La Paz.

Albarracín Jordan, Juan, 1999. The archaeology of Tiwanaku. PAP. La Paz.

Albarracín Jordan, Juan, 1996. Tiwanaku. Arqueología regional y dinámica segmentaria. Plural Editores. La Paz.

Albarracín Jordan, Juan y James Mathews, 1990. Asentamientos prehispánicos del valle de Tiwanaku Vol. 1. Producciones CIMA. La Paz.

Arellano López, Jorge, 1992. El desarrollo cultural prehispánico en el altiplano y valles interandinos de Bolivia. Taraxacum Ed. Washington. USA.

Arellano López, Jorge, 1985. Síntesis cultural prehispánica de la zona circunlacustre norte de Bolivia. Arqueología Boliviana N 2. IANR-OEA. La Paz.

Arellano López, Jorge, 1987. Primeras evidencias sobre el paleoindio en Bolivia. Estudios Atacameños N. 8. Antofagasta. Chile

Arellano, Jorge y Danilo Kuljis, 1986. Antecedentes preliminares de las investigaciones arqueológicas en la zona circumtiticaca de Bolivia. Prehistóricas 1. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz.

Barragan Romero, Roxana y Ramiro Molina Rivero, 1987. DE LOS SEÑORÍOS A LAS COMUNIDADES: HISTORIA ETNICA DE LOS QUILLACAS, Cristian Children Foundation; La Paz.

Bermann, Marc y José Estevez, 1995. Activities in the Bolivian Formative. Inédito.

Bermann, Marc y José Estevez, 1993. Jachakala: A new archaeological complex of the Department of Oruro. Bolivia. Field Archaeology.

Bermann, Marc y José Estevez, 1992. "Archaeological Investigation in La Joya: First Season Report (Draft); University of Pitsburgh. Department of Anthropology.

Bouysse Cassagne, Theresse, 1988. Lluvias y cenizas. Dos Pachacuti en la historia. Hisbol. La Paz.

Bowman, Isaías, 1916. The Andes of Southern Peru. New York.

Brockington, Donald; Pereyra, David; Sanzetenea, Ramon; María De Los Angeles Muñoz, 1995. Estudios arqueológicos del período Formativo en el Sur Este de Cochabamba. U.M.S.S, ODEC, SEMILLA. Cochabamba. Bolivia

Browman, David. Tiwanaku development of interzonal trade and economic expansion in 1984 the Altiplano. En: 44 International Congress of Americanist, Symposium: Social and economic organization in the prehistoric Andes. BAR. Manchester. Int Senes 194. Londres.

CAEA, 1994. Investigaciones de arqueólogos alemanes en Bolivia. CAEA. Buenos Aires. Argentina.

Condarco, Carola, 2001

Gisbert, Teresa, 1987. Los cronistas y las migraciones aymaras. Historia y Cultura 12. La Paz. Bolivia.

Gisbert, Teresa, 1994. El Señorío de los Carangas y los Chullpares del río Lauca. Revista Andina. Año 12, No 2. Cusco. Perú.

Gisbert, Teresa, 1999. El paraíso de los pájaros parlantes. Plural. UNSP. La Paz. Bolivia.

Gisbert, Teresa; Gemio, Jan Carlos; Montero, Roberto; Salinas Elvira y Quiroga, Maria S., 1995. Los Chullpares del Río Lauca. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. La Paz.

Hidalgo, Jorge y Guillermo Focacci, 1986. Multietnicidad en Arica, S. XVI. Evidencias etnohistóricas y arqueológicas. Revista Chungará. Nos 16-17.Universidad de Tarapaca. Arica. Chile.

Ibarra Grasso, Dick y Roy Querejazu Lewis, 1986. 30.000 años de Prehistoria en Bolivia. Enciclopedia Boliviana. Ed. Los Amigos del Libro. La Paz-Cochabamba.

Julien, Catherine, 1997. Historia de Tarija. De. Guadalquivir. Tarija. Bolivia.

Lemuz, Carlos, 2001. Patrones de asentamiento arqueológico en la Península de Santiago de Huata, Bolivia. Tesis de Licenciatura presentada a la carrera de Arqueología. Facultad de Ciencias Sociales. UMSA

Lemuz, Carlos y Marcos Michel, 1994. Descubrimientos en el Lago Poopó. Presencia 10 de julio. La Paz. Bolivia.

Lumbreras, Luis Guillermo, 1981. Arqueología de la América Andina. Ed. Carlos Milla Batres. Ed. Milla Batres. Lima. Perú.

Metraux, A. y Lehman, A., 1953. Arqueología del departamento de Oruro. Revista KHANA; Junio, La Paz.

Michel López, Marcos Rodolfo, 2000. El Señorío Prehispánico de Carangas. Universidad de la Cordillera Diplomado Superior en Derechos de los Pueblos Indígenas. La Paz. Febrero.

Michel López, Marcos Rodolfo, 1996. Diagnóstico Arqueológico para el Plan de Manejo del Parque Nacional Sajama. Presentado a la DNCB. La Paz

Mc. Andrews, Tim, 1998. Early Village Based Society and Long-Term Cultural Evolution in the South Central Andean Altiplano. Disertación Doctoral (Ph. D). Universidad de Pittsburgh. Pittsburgh. USA.

Montes de Oca, Ismael, 1997. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Edobol. 3ra edición. La Paz. Bolivia.

Montes de Oca, Ismael, 1982. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Edición Don Bosco. La Paz.

Muñoz Reyes, Jorge, 1980. Geografía de Bolivia. Ed. Juventud, La Paz.

Pauwels, Gilbert, 1998. Los últimos chullpas. A. Metrux en Chipaya. (Enero-febrero de 1931). Eco Andino. Año 3. No 6. Oruro. Bolivia.

Pauwels, Gilbert, 1983. "Dorpen en Gemeenshappen in de Andes". Acco Academishche cooperatief s.v) Leuven. Bélgica.

Ponce Sanjines, Carlos, 1970. Las Culturas Wankarani y Chiripa y su relación con Tiwanaku. Academia Nacional de Ciencias, La Paz.

Portugal Ortiz, Max, 1985. Informe de la prospección arqueológica efectuada en la Provincia Camacho del Departamento de La Paz (Primera parte). En: Revista Arqueología Boliviana N° 2. OEA. Instituto Nacional de Arqueología. La Paz. Bolivia.

Posnansky, Arturo, 1947. Tihuanacu: Cuna del hombre americano. Vols. 1 y 2. Austin. New York. USA.

Posnansky, Arturo, 1937. Antropología y sociología de las razas interandinas y adyacentes. La Paz.

Posnansky, Arturo, 1918. Los Chipayas de Carangas.

Posnansky, Arturo, 1915. La Lengua Chipaya. La Paz. Bolivia.

Raffino, Rodolfo, 1993. Inka. Corregidor. Buenos Aires. Argentina.

Rivera, Marco O. Et al., 1999. Comunidades Indígenas. Territorios Indígenas y Biodiversidad en Bolivia. Ed. Katy Mihotec. CIMAR. La Paz. Bolivia.

Riviere, Gilles, 1982. Sabaya: Styructures socioeconomiques et representations symboliques dans le Carangas. Tesis doctoral, Ecole des Hauts Etudes en Sciences Sociales. Paris. Francia.

Riviere, Gilles, 1983. Sabaya: Estructuras socioeconómicas y representaciones simbólicas de los Carangas. Tesis doctoral. Escuela de Altos Estudios en Ciencias Sociales. Paris. Francia. Traducción en español de la versión original. Inédito.

Saignes, Thierry, 1986. En busca del poblamiento étnico en los Andes Meridionales s. XV-XVI. Anales de investigación N° 3. MUSEF. La Paz.

Schiapacasse, Virgilio; Castro, Victoria y Hans Niemeyer, 1988. Los desarrollos regionales en el Norte Grande (1000 a 1400 d.C). Culturas de Chile. Prehistoria. Santiago. Chile.

Walter, Heinz, 1966 (1994). Excavación Mound Wankarani. Centro Argentino de Etnología Americana. Bs. As.

Wasson, John, 1967. "Investigaciones preliminares de los Mounds en Oruro". KHANA No 1. La Paz.

Wachtel, Nathan, 1980. Los mitimaes del valle de Cochabamba. La política de colonización de Huayna Capac. Historia de Bolivia N° 1. Cochabamba.

Wachtel, Nathan, 1990. Le retour des ancestres.

Wachtel, Nathan, 1991. Les indiens Urus de Bolivie. XXE-XUVLE. Sciecle. Essai de Histoire Regressive. Sallimar. Paris.

Wirrman D., Ybert J. P. Y., Mourguiart, Ph., 1991. Una evaluación paleohidrológica de 20.000 años. Dejoux, C. & Iltis, A. (Eds). El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual. ORSTOM. Hisbol. La Paz. Bolivia.

Conclusiones

Necesidades del desarrollo del conocimiento en el Sistema del Lago Titicaca

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones emergentes del debate realizado en los cinco grupos de trabajo organizados para el tratamiento de los diferentes grupos temáticos.

En el conjunto de conclusiones y recomendaciones, se aprecia que todos los grupos coinciden con la necesidad de realizar un esfuerzo de sistematización de todo el conocimiento generado en el ámbito del Sistema del Lago Titicaca, y buscar mecanismos que posibiliten el acceso de la sociedad a esta información.

Otra de las conclusiones y recomendaciones coincidentes, es la necesidad de establecer mecanismos formales de coordinación a nivel interinstitucional para crear sinergias en la acción y potenciar de esta manera el manejo integral del Sistema en la perspectiva de un desarrollo sostenible.

1. Manejo del Sistema del Lago Titicaca

- ***Confusión sobre lo que significa el Sistema del Lago Titicaca:***

Existe una gran confusión sobre el significado del concepto de Sistema del Lago Titicaca. La mayor parte de la población considera que este Sistema se reduce al Lago Titicaca, ignorando que el Sistema está constituido además por el río Desaguadero, el Lago Poopo, el Salar de Coipasa, y todo el entorno involucrado en su equilibrio y funcionamiento ecológico.

Es importante difundir el concepto del significado del Sistema del Lago Titicaca, resaltando la intrínseca relación entre sus diferentes constituyentes.

- ***Escasa información, poca difusión y disponibilidad de datos:***

Pese a que en la región, y especialmente el Lago Titicaca ha sido uno de los sitios donde se ha concentrado la labor de investigación científica, la información generada aún es limitada, siendo además muy difícil el acceso a esta información.

Es imprescindible encarar trabajos de investigación para completar la información necesaria para el manejo del Sistema en su conjunto, sistematizar la información generada y coordinar el manejo de la información, buscando la forma de socializarla y hacerla disponible a los actores sociales locales y a las instituciones vinculadas con la temática.

- ***Deficiente utilización e involucramiento de los recursos humanos existentes:***

Tanto en Perú como en Bolivia existen profesionales adecuadamente capacitados para afrontar desafíos en los diferentes ámbitos de la gestión del Sistema del Lago Titicaca, sin embargo en una gran mayoría no son tomados en cuenta al momento de emprender iniciativas y programas.

Es necesario abrir las oportunidades para involucrar a estos recursos humanos, en la perspectiva de coadyuvar a la construcción de un desarrollo sostenible en el área del Sistema del Lago Titicaca.

- ***Coordinación e integración de esfuerzos institucionales:***

Si bien en la actualidad existen muchas acciones y experiencias positivas de los diferentes programas que han actuado en el ámbito del Sistema del Lago Titicaca, sin embargo, no existe una adecuada coordinación ni sinergia en las acciones y esfuerzos que diferentes instituciones desde distintas perspectivas actúan sobre el Sistema.

Es por ello importante hacia el futuro, la integración de todos los esfuerzos institucionales orientados hacia el manejo de este Sistema.

- ***Continuidad y reforzamiento de las acciones del ALT en el manejo de la cuenca:***

Sin lugar a dudas, la acción desplegada por la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT) ha sido destacada, por este motivo, y a la luz de su experiencia es necesario fortalecer su accionar y permitir su evolución, a través de un replanteo de su propuesta y el fortalecimiento de su capacidad técnica para un mejor manejo del Sistema.

- ***Constitución de un Comité de Coordinación Binacional con la involucración de todos los actores institucionales:***

Con el propósito de generar sinergias institucionales, y avanzar de manera mas decidida hacia un manejo optimo del Sistema, se hace necesaria la constitución de un Comité de Coordinación Binacional donde se convoque a la participación de todos aquellos actores institucionales que están buscando aportar a la construcción de un desarrollo sostenible en la región.

2. Investigaciones sobre condiciones Físicas y Ambientales

- ***Instalación y mejoramiento de una red de medición en todo el Sistema (radiación solar, evapo-transpiración, aforos, niveles lacustres, calidad de aguas y suelos).***

La disparidad entre resultados y predicciones observadas en diferentes presentaciones, podría ser superada a través del mejoramiento de la red de medición instalada en el Sistema. Es por ello urgente la implantación de una red más amplia e integrada para todo el Sistema.

- ***Implementación de una base de datos con toda la información temática y la socialización de su información.***

Con el propósito de optimizar el uso de la información generada y su aplicación mas amplia a programas de manejo en el área del Sistema, es urgente la implantación de una base de datos temática, así como los mecanismos para socializar esta información.

- ***Estudio multidisciplinario sobre la contaminación generada por la actividad minera de las cooperativas en el área sur de Oruro.***

Habiéndose detectado importantes evidencias sobre efectos contaminantes ocasionados por la actividad minera en el área sur de Oruro, se debe priorizar la realización de estudios multidisciplinarios que verifiquen la magnitud del impacto, y la búsqueda de sus soluciones.

- ***Reorientar la investigación científica con una visión de todo el Sistema, de manera interdisciplinaria y con carácter internacional***

Si bien la labor de investigación científica hasta ahora realizada en el ámbito del Sistema es muy importante, es preciso reorientar la generación de conocimientos en el marco de una visión de manejo ecosistémico, buscando integrar las diferentes disciplinas, involucrando de manera mas estrecha los esfuerzos de Perú y Bolivia, y priorizando la actividad en aquellos tópicos que se requieren para orientar procesos de manejo de los recursos naturales en la perspectiva del Desarrollo Sostenible.

3. Investigaciones Económicas

- ***Fomentar las posibilidades de desarrollo económico de la cuenca:***

Toda la región del Sistema del Lago Titicaca presenta grandes potencialidades de desarrollo, dada la abundancia de recursos naturales renovables y no renovables. En este contexto, se hace urgente el fomento de estas potencialidades en la perspectiva del mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del lugar, y al desarrollo de ambos países.

- ***Fomentar la producción de manera integral:***

El fomento de la producción de la amplia gama de recursos agrícolas y ganaderos de la región del Sistema, debe ser realizado considerando todos los aspectos requeridos para el desarrollo de la cadena integral productiva.

- ***Potenciamiento de los sectores pesquero y turístico:***

Sin lugar a dudas, tanto el sector pesquero como el turismo constituyen dos recursos insuficientemente utilizados de manera sostenible en el ámbito del Sistema del Lago Titicaca.

Su potenciamiento debe partir del rescate del conjunto de la información científica generada sobre ictiología y producción pesquera y orientar con esta información la actividad de uso de este recurso estratégico.

Por su parte la promoción y desarrollo turístico debe considerar la satisfacción de la necesidad de fijar una etiqueta nacional, que permita competir con otros polos de atracción. En este sentido los principios del ecoturismo podrían ser potenciados, y también el desarrollo de servicios básicos a partir de una activa participación de los municipios y el sector privado.

- **Coordinación de esfuerzos interinstitucionales para la formación de recursos humanos calificados:**

Si bien en estas dos últimas décadas la formación y especialización de recursos humanos en áreas vinculadas al manejo de recursos naturales renovables ha sido muy importante tanto en Bolivia como en Perú, es urgente la coordinación de esfuerzos interinstitucionales por parte de las entidades académicas y de investigación, con el propósito de insistir aun mas en la formación y especialización de recursos humanos calificados y competentes para afrontar las necesidades específicas de la complejidad del manejo del Sistema.

- ***Incorporar en la educación formal de la región la experiencia y conocimientos generados sobre el Sistema:***

Los resultados emergentes del proceso de sistematización de las prácticas locales de manejo sostenible de los recursos naturales, así como la experiencia y conocimientos generados sobre el Sistema del Lago Titicaca deben ser incorporados en los procesos educativos formales de la región.

- ***Promover la investigación en toda la cuenca:***

Siendo evidente que hasta la fecha, la labor de investigación científica ha sido concentrada en las inmediaciones del Lago Titicaca, es urgente promover el desarrollo de conocimientos de todo el ámbito de la cuenca.

4. Investigaciones sobre Biodiversidad y Conservación

- ***Insuficiente investigación sobre los sistemas de cultivos locales:***

Es importante profundizar el conocimiento sobre los sistemas de cultivos locales, y las estrategias desarrolladas en los agroecosistemas para afrontar presiones y condiciones de riesgo a la actividad productiva.

Otro ámbito donde es también necesario profundizar el conocimiento en la relación entre cultivos y cambios climáticos (cereales y tubérculos)

- ***Insuficiente investigación sobre los efectos de los cambios climáticos en el Sistema:***

Investigaciones desarrolladas, muestran la situación de riesgo del Sistema frente a los cambios climáticos globales; por ello es necesario fortalecer el desarrollo de conocimientos que posibiliten un seguimiento de los efectos al Sistema, y permitan prever algunas acciones que minimicen los impactos.

- ***Información insuficiente o no conocida en la diversidad de especies:***

Es importante continuar con la generación de investigación científica básica que permita conocer la biodiversidad presente en el Sistema.

- ***Falta de conciencia ambiental sobre la problemática ecológica del Sistema:***

Es urgente el desarrollo de una campaña de educación y concientización dirigida a los diferentes segmentos de la población local, sobre la problemática ambiental que enfrenta el Sistema, y promover acciones de conservación y uso sostenible de los recursos con su activa participación.

- ***Coordinación interinstitucional para optimizar las investigaciones:***

Se ha observado en vasos casos la duplicación y dispersión de esfuerzos en la labor de generación de conocimientos sobre el Sistema. Por este motivo, es urgente el establecimiento de un mecanismo formal que permita coordinar y optimizar el desarrollo de la investigación científica en el ámbito del Sistema.

Este esfuerzo deberá involucrar a las instituciones de Bolivia y Perú.

- ***Establecimiento de sistemas de monitoreo y alerta temprana:***

Es prioritario el establecimiento de programas de monitoreo sobre el estado e impacto de especies introducidas y de las tecnologías introducidas, así como sobre las especies con valor económico.

- ***Normativa binacional para todo el Sistema:***

En su condición de Sistema transfronterizo, y ante la necesidad de asegurar el manejo integral de la cuenca, se sugiere la formulación e implantación de una normativa de carácter binacional para el manejo de todo el Sistema.

- ***Consolidación de una Base de datos y centro de información para el Sistema:***

Debido a que la información generada sobre el Sistema se halla dispersa, y es poco accesible, se sugiere la consolidación de un Centro de información y difusión activa de la información sistematizada.

- ***Fortalecimiento de proyectos de manejo de recursos:***

En virtud de los avances sobre el conocimiento de las potencialidades de varios de los recursos de la biodiversidad presentes en el Sistema, se debe reforzar iniciativas para extender su manejo y aplicación, como es el caso de la experiencia de manejo de Totorales.

- ***Impulso al desarrollo de nuevas áreas de investigación:***

Se ha identificado como prioritario, el estudio de enfermedades transmisibles vía animales o plantas, como una de las áreas donde es urgente el desarrollo de investigación científica en el Sistema.

5. Investigaciones Sociales y Culturales

- ***Deficiente apoyo al desarrollo de investigaciones socio-culturales en el ámbito del Sistema:***

Frente a la gran cantidad de conocimientos técnicos generados en el ámbito del Sistema del Lago Titicaca, es evidente el incipiente desarrollo del conocimiento etnográfico.

Los programas sobre el manejo del Sistema, en la actualidad no poseen un componente que enfatice en los aspectos culturales y arqueológicos.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de manifestaciones culturales presentes en el Sistema del Lago Titicaca, y con la experiencia de que la falta de consideración de los aspectos socio-culturales ha constituido en muchos casos el fracaso de proyectos, se hace necesario el potenciar en el ámbito del Sistema, la generación de conocimientos de manera integral y holística donde el componente socio-cultural constituya el marco donde se integra la información técnica, y donde la historia colabore a relacionar el pasado con el presente.

- ***Impulso al desarrollo de conocimientos etnográficos en el ámbito del Sistema:***

Se han identificado como prioritarias los siguientes temas de investigación sociales y culturales: el desarrollo de trabajos de investigación arqueológica para apoyar la planificación turística en el Lago Poópo y los Salares; estudios etnográficos para medir la contaminación, y las evaluciones histórico – culturales de todo el Sistema.

- ***Potenciamiento del turismo en su rol de generador de ingresos económicos:***

En virtud al gran patrimonio natural y cultural presente en la región, es necesario considerar el gran potencial del desarrollo turístico como generador de ingresos económicos.

La estructuración de una estrategia de desarrollo turístico para esta región debe considerar entre otros, la provisión de servicios básicos de transporte, información y atención al turista, así como aspectos de alimentación y hospedaje.

Considerando que los municipios se han constituido en los nuevos actores locales claves, es urgente su involucración en los procesos de conceptualización, desarrollo y operación de esta actividad.

- ***Monitoreo de los efectos de obras de infraestructura:***

Es muy importante el establecimiento de un sistema de monitoreo integral sobre los efectos en todo el Sistema de la construcción de la infraestructura de regulación hidrológica. Constituye una prioridad conocer el impacto de la regulación de las aguas del Titicaca sobre el Lago Poopó y el Salar de Coipasa

- ***Potenciar la educación y salud:***

Frente al escaso desarrollo de proyectos en áreas de educación y salud, se debe priorizar el impulso a este tipo de actividades.

- ***Aplicar los principios de la participación popular:***

El desarrollo de proyectos debe considerar la involucración de la población en todas las etapas, desde su concepción hasta su evaluación. Es necesario priorizar las percepciones y necesidades de la población local.

- ***Propiciar la planificación integral de uso de los recursos naturales:***

Si bien existen significativos avances en los procesos de planificación regional, es prioritario el continuar con estos esfuerzos, a escalas de mayor resolución en el marco de una visión de manejo ecosistémico. En este contexto, es urgente el desarrollo de conocimientos y su aplicación al manejo de los recursos hídricos y la solución de aspectos de tenencia de la tierra.

- ***Potenciar procesos de revalorización y valoración socio-cultural:***

Dentro de los esfuerzos de sistematización y rescate de conocimientos y prácticas socio-culturales, en los cuales se debe involucrar de manera activa a la población local, se recomienda impulsar festivales de música, danza y gastronomía, como mecanismos de difundir y revalorizar el patrimonio local.

Anexos

Anexo 1

COMITÉ ORGANIZADOR

Co-Presidente:	Profesor Carlos Aguirre Bastos, Presidente de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia
Co-Presidentes:	Profesor Hugo Baetens Beardsmore, Presidente de la RealAcademia Belga de Ciencias de Ultramar.
	Profesora Yola Verhasselt, Secretaria perpétua de la Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar.
Co-Presidentes de Honor:	Lic. Ronald Maclean, Ministro de Desarrollo Sostenible y Planificación.
	Dr. Alain Kundycki, Embajador de Bélgica en Bolivia.
Vicepresidentes:	Lic. Jorge Paz Navajas, Presidente de la Asociación Boliviana para el Avance de la Ciencia y Rector de la Universidad Nuestra Señora de La Paz.
	Dr. Gonzalo Taboada López, Rector de la Universidad Mayor de San Andrés.
Secretaría:	Lic. Carmen Miranda L., Instituto para la Conservación e Investigación de la Biodiversidad/ANCB.
	Lic. Philippe Mol, Consejero Adjunto de la Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar.
Miembros:	Arturo Liebers Baldivieso, Diputado Nacional.
	Ing. David Morales V., Director del Instituto de Desarrollo Regional /UMSA.
	Ing. Jorge Córdova, Vicedecano de la Facultad de Ciencias Geológicas/UMSA.

Almirante Jorge Badani Lens, Comandante General de la Fuerza Naval de Bolivia.

Cn.DAEN Gustavo Zalles, Director General de Intereses Marítimos, Fluviales, Lacustre y Marina Mercante del Ministerio de Defensa Nacional.

MSc. Ing. Germán Lizarazu Pantoja, Rector -UniversidadAutónoma Tomás Frías.

Dr. Juan B. Astorga Neira, Rector - Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

Ing. Amilcare Gaita Zanatti, Presidente Ejecutivo ALT.

Ing. Julio Sanjinés Goitia, Director Unidad Operativa Boliviana/ ALT.

Anexo 2

PROGRAMA OFICIAL

Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago Titicaca

7-11 deMayo de 2001

Fecha: Lunes 7 de Mayo de 2001
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

16:00 Inscripciones al Congreso
19:00 Sesión inaugural – y Cocktail de Apertura

Fecha: Martes 8 de Mayo de 2001
SESIÓN: CONFERENCIAS INTRODUCTORIAS AL MANEJO DEL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

9:00 **Título:** "Geo y fluviomorfología en el Sistema TDPS"
Expositor: Dr. Jean Jaques Peters - Bélgica
Institución: Real Academia Belga de Ciencias de Ultra Mar

9:30 **Título**: "Balance hídrico y energético del Lago Titicaca"
Expositor: Dr. Jean Pierre Carmuze - Francia
Institución: Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD - Francia)

10:00 - 10:15 Refrigerio

10:15 Proyección de Video (Programa ALT)

10:30 **Título:** "Antecedentes del Plan Director Binacional para la Conservación y Preservación del Lago Titicaca"
Expositor: Ing. Julio Sanjinés-Goitia - Bolivia
Institución: Autoridad Binacional del Lago Titicaca

11:00 **Título:** "Ejecución del Plan Director Binacional para la Conservación y Preservación del Lago Titicaca"
Expositor: Ing. Amilcare Gaita – (Bolivia/Perú)
Institución: Autoridad Binacional del Lago Titicaca

11:30 – 12:00 *Espacio para preguntas y comentarios*

12:00 - 14:30 *Receso para almuerzo*

Fecha: Martes 8 de Mayo de 2001
SESIÓN: INVESTIGACIONES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS Y AMBIENTALES

14:30 **Título:** "Estudios físicos y fotobiológicos en la banda ultravioleta en el Lago Titicaca
Expositor: Dr. Francesco Zaratti - Bolivia
Institución: Laboratorio de Física de la Atmósfera - UMSA

15:00 **Título:** "Climatología del sistema TDPS"
Expositor: Ing. Carlos Herbas - Bolivia
Institución: Instituto de Hidráulica e Hidrología - UMSA

15:30 **Título:** "Mecanismo de formación de las precipitaciones en el lago Titicaca"
Expositor: Ing. Guillermina Miranda - Bolivia
Institución: Instituto de Ecología - UMSA

15:45 **Título:** "Magnitud del componente ultravioleta en la radiación solar en el Altiplano Boliviano"
Expositor: Lic. René Torrez - Bolivia
Institución: Laboratorio de Física de la Atmósfera - UMSA

16:00 **Título:** "Evolución paleo climática del Sistema del Lago Titicaca"
Expositor: Dr. Jaime Argollo - Bolivia
Institución: IGEMA - UMSA

16:15 – 16:45 *Espacio para preguntas y comentarios*

16:45 - 17:00 *Refrigerio*

17:00 **Título:** "Características petrológicas del volcanismo cenozoico en el lago Titicaca"
Expositor: Acad. Waldo Avila Salinas - Bolivia
Institución: Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

17:15 **Título**: "Comportamiento hidrológico de los principales afluentes al Lago Titicaca"
Expositor: Ing. Cesar Ancco Carita - Perú
Institución: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca

17:30 **Título**: "Aplicación isotópica en el balance hídrico del lago Titicaca"
Expositor: Ing. Marco Paredes Riveros - Perú
Institución: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca

17:45 **Título**: "Comportamiento Hidrológico de Niveles de Agua en el Lago Titicaca período 1938 - 2001"
Expositor: CN. DAEN Marco Antonio Justiniano Escalante - Bolivia
Institución: Fuerza Naval Boliviana

18:00 **Título**: "Hidroquímica y contaminación de la cuenca Endorreica del Altiplano"
Expositor: Ing. Jorge Quintanilla Aguirre - Bolivia
Institución: Centro de Estudios Ecológicos y de Desarrollo Integral y el Instituto de Investigaciones Químicas de la UMSA

18:15 - 18:45 Espacio para preguntas y comentarios

Fecha: Miércoles 9 de Mayo de 2001
SESIÓN: INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

8:30 **Título**: "Aporte de las técnicas de realidad virtual en el desarrollo de proyectos de investigación"
Expositor: Dr. Pierre. Beckers - Bélgica
Institución: Real Academia Belga de Ciencias de Ultra Mar

9:00 **Título**: "Rentabilidad Económica de los Cultivos Andinos en el Altiplano Norte del Departamento de La Paz, bajo el sistema tecnológico de Sukakollus y A secano"
Expositor: Lic. Hugo Ossio Sibila - Bolivia
Institución: Universidad Católica Boliviana

9:30 **Título**: "La Investigación en Agricultura y Ganadería en el Sistema del Lago Titicaca"
Expositor: Dr. Armando Cardozo - Bolivia
Institución: Academia Nacional de Ciencias de Bolivia

10:00 **Título**: "Zonificación Agroecológica y Socioeconómica del Altiplano Paceño
Expositor: Dr. Aernout Weeda - Bolivia
Institución: ZONISIG

10:30 - 11:00 Espacio para preguntas y comentarios

11:00 - 11:15 Refrigerio

Fecha: Miércoles 9 de Mayo de 2001

SESIÓN: INVESTIGACIONES SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

11:15 **Título**: "Speciation in an ancient lake"
Expositor: Dr. P. Martin - Bélgica
Institución: Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique

11:45 **Título:** "Proyecto Binacional de Conservación de la Biodiversidad en el Sistema TDPS"
Expositor: Ing. Antonio Bazoberry – Bolivia/Perú
Institución: Autoridad Binacional del Lago Titicaca

12:00 - 12:30 Espacio para preguntas y comentarios

12:30 - 14:30 Receso para almuerzo

14:30 **Título**: "Respuesta de variedades de Quinua ante incrementos de radiación UVB solar"
Expositor: Dr. Eduardo Palenque - Bolivia
Institución: Laboratorio de Física de la Atmósfera - UMSA

14:45 **Título**: "Identificación de la diversidad de tubérculos andinos"
Expositor: Lic. Victor Iriarte - Bolivia
Institución: PROIMPA

15:00 **Título:** "Flora de la Isla Amantaní"
Expositor: M.Sc. Elias Condori Robles - Perú
Institución: Facultad de Ciencias Biológicas/Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú

15:15 **Título:** "Diversidad de Flora en la Isla Taquile"
Expositor: M.Sc. Elias Condori Robles, Bach. Ana Paola Galvan Llancho - Perú
Institución: Facultad de Ciencias Biológicas/Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú

15:30 **Título**: "Conservación, uso y manejo de la totora en el Lago Titicaca
Expositor: Ing. Alberto Lescano Rivero - Perú
Institución: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca

15:45 - 16:15 Espacio para preguntas y comentarios

1615 - 16:30 Refrigerio

16:30 **Título**: "Actualización de la Información de la Ictiofauna del Lago Titicaca"
Expositor: Lic. Francisco Osorio - Bolivia
Institución: Colección Boliviana de Fauna

16:45 **Título**: "La Rana Gigante del Lago"
Expositor: Lic. Esther Pérez - Bolivia
Institución: Colección Boliviana de Fauna

17:00 **Título**: "El potencial de aprovechamiento cinegético de los tinamues (Tinamiformes) del altiplano boliviano y la necesidad de reglamentarlo"
Expositor: Dr. Alvaro Garitano Zavala - Bolivia
Institución: Colección Boliviana de Fauna

17:15 **Título**: "El Lago Titicaca como Área RAMSAR"
Expositor: M.Sc. Eliana Flores - Bolivia
Institución: ICIB/ANCB

17:30 **Título**: "Descontaminación de aguas residuales con la totora"
Expositor: Lic. Evelyn Taucer - Bolivia
Institución: MEDMIN

17:45 - 18:15 Espacio para preguntas y comentarios

Fecha: Jueves 10 de Mayo de 2001
SESIÓN: INVESTIGACIONES SOCIALES Y CULTURALES

8:30 **Título**: "Mineros y Misioneros en el "Camino Real". La integración del Titicaca en la economía del Altiplano (s. XVI-XVIII)"
Expositor: Dr. John Everaert - Bélgica
Institución: Real Academia Belga de Ciencias de Ultra Mar

9:00 **Título**: "La música étnica en Bolivia. Estado actual de la investigación"
Expositor: Dr. Ferdinand De Hen - Bélgica
Institución: Real Academia Belga de Ciencias de Ultra Mar

9:30 **Título**: "Campaña de educación y salud sobre la UVB en la región del Lago Titicaca"
Expositor: Lic. Luis Alberto Blacutt - Bolivia
Institución: Laboratorio de Física de la Atmósfera

9:45 **Título**: "Transformaciones económicas de la época prehispánica en la Península de Santiago de Huata, Bolivia"
Expositor: Lic. Carlos Lemuz - Bolivia
Institución: Carrera de Arqueología/UMSA

10:00 **Título**: "Introducción a la Arqueología del Lago Poopó"
Expositor: Lic. Marcos Michel y Lic. Carlos Lemuz - Bolivia
Institución: Carrera de Arqueología/UMSA

10:15 **Título**: "Visiones del pasado" (*Video*)
Expositor: Lic. Ximena Medinacelli - Bolivia
Institución: Carrera de Historia-CIVES/UMSA

10:30 - 10:45 Refrigerio

Fecha: Jueves 10 de Mayo de 2001
SESIÓN DE TALLER: NECESIDADES DEL DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO EN EL SISTEMA DEL LAGO TITICACA

11:00 – 12:30 Mesas de trabajo (grupos temáticos)

12:30 - 13:00 Presentación del trabajo de grupos

13:00 Plenaria final de conclusiones

13:30 Entrega de certificados de asistencia y Clausura del Simposio.

Fecha: Viernes 11 de Mayo de 2001
EXCURSIÓN AL LAGO TITICACA DE ACUERDO A PROGRAMA ESPECIAL

Anexo 3

LISTA DE EXPOSITORES

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
1	Ancco Carita César	Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca	Tel. (0051-54) 252825 e-mail: atirac-31@mpcmail.com	Perú
2	Argollo, Jaime Dr.	IGEMA-UMSA	Tel. (591-2) 2793392 e-mail: geoims@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
3	Avila Salinas, Waldo A.	Academia Nacional de Ciencias Acad. de Bolivia-ANCB	Tel. (591-2) 2406618	La Paz/Bolivia
4	Bazoberry Q., Antonio Ing.	Autoridad Binacional del Lago Titicaca - Gerencia Biodiversidad Bolivia	Tel. (591-2) 2431414 e-mail: antonio1@ceibo.entelnet.bo	Bolivia/Perú
5	Beckers, Pierre Dr.	Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar	Tel.0032-2-538 0211 0032-2-538 4772 Fax: 0032-2-539 2353 e-mail: pierre.beckers@ulg.ac.ee	Bélgica
6	Blacutt, Luis Alberto Lic.	Laboratorio de Física de la Atmósfera – LAFIAT/UMSA	Tel. (591-2) 2799155 e-mail: lucho@03-bolivia.org	La Paz/Bolivia
7	Cardozo, Armando Dr.	Academia Nacional de Ciencias de Bolivia - ANCB	Tel. (591-2) 2363990 Fax: (591-2) 2379681 e-mail: aciencia@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
8	Carmouze, Jean Pierre Dr.	Instituto de Investigación para el Desarrollo - IRD	Tel. (591-2) 2782969-2784925 Fax: (591-2) 2782944 e-mail: jpcarouze@mail.megalink.com	La Paz/Bolivia
9	Condori Robles Elías M. Sc.	Universidad Nacional del Altiplano: Facultad de Ciencias Biológicas	Tel. (0051-54) 969175	Puno/Perú
10	De Hen, Ferdinand Dr.	Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar	Tel.0032-2-538 0211 0032-2-538 4772 Fax: 0032-2-539 2353	Bélgica
11	Everaert, John Dr.	Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar	Tel.0032-2-538 0211 0032-2-538 4772 Fax: 0032-2-539 2353	Bélgica
12	Flores, Eliana M. Sc.	Instituto para la Conservación e Investigación de la Biodiversidad – ICIB/ANCB	Tel. (591-2) 2227607-2350612 e-mail: eliflor@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
13	Gaita Zanatti, Amilcare Ing.	Autoridad Binacional del Lago Titicaca	Sopocachi Campos No. 348 Tel. (591-2) 2443545 –2431493 e-mail: aalt@caba.entelnet.bo	Bolivia/Perú
14	Galván Llacho, Ana Paola	Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Biológicas - U.N.A.	Av. Ejército 329 Apartado 291 Tel. (0051-54) 969175 – 352206 Fax: (0051-54) 368590 e-mail: galvan@ozo.es	Puno/Perú

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
15	Garitano Zavala, Alvaro Dr.	Colección Boliviana de Fauna	Tel. (591-2) 2794225	La Paz/Bolivia
16	Herbas, Carlos Ing.	Instituto de Hidráulica e Hidrología – IHH/UMSA	Tel. (591-2) 2795724 - 2792655	La Paz/Bolivia
17	Iriarte S., Víctor Lic.	Fundación PROINPA	Tel. (591-2) 2416966 e-mail: v.iriarte@proinpalp.org	La Paz/Bolivia
18	Justiniano Escalante, Marco A. CN.DAEN	Fuerza Naval Boliviana	Tel. (591-2) 2751413	La Paz/Bolivia
19	Lemuz, Carlos Lic.	Arqueología – UMSA	Monobloc Central de la UMSA P. 3 Tel. (591-2) 2442228	La Paz/Bolivia
20	Lescano Rivero, Alberto Ing.	Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – PELT	Tel. (591-2) 2352825	Bolivia/Perú
21	Martín, Patrick Dr.	Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique		Bélgica
22	Michel, Marcos Lic.	Arqueología – UMSA	Tel. (591-2) 2415686 e-mail: mmichel@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
23	Miranda, Guillermina Ing.	Instituto de Ecología – IE /UMSA	Tel. (591-2) 2792416 e-mail: cicg@yupi.mail.com	La Paz/Bolivia
24	Osorio, Francisco Lic.	Colección Boliviana de Fauna	Tel. (591-2) 2794225	La Paz/Bolivia
25	Ossio Sivila, Hugo Lic.	Universidad Católica Boliviana	Tel. (591-2) 2782222 e-mail: idroac@ucbsis.bo	La Paz/Bolivia
26	Palenque, Eduardo Dr.	Laboratorio de Física de la Atmósfera – LFA/UMSA	Tel. (591-2) 2799155	La Paz/Bolivia
27	Paredes Riveros, Marco Ing.	Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca – PELT	Tel. (591-2) 352825 e-mail: pelt@terra.com.pe	Bolivia/Perú
28	Peréz Bejar, Maria Esther	Colección Boliviana de Fauna	Tel. (591-2) 2792582	La Paz/Bolivia
29	Peter, Jean J. Dr.	Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar	Tel.0032-2-538 0211 0032-2-538 4772 Fax: 0032-2-539 2353	Bélgica
30	Quintanilla Aguirre, Jorge Ing.	Centro de Estudios Ecológicos de Desarrollo Integral – CEEDI /	Rosendo Gutierrez No. 571 Tel. (591-2) 2412114 - 2795878 Fax: (591-2) 2412114 e-mail: ceedi@megatron-bo.net	La Paz/Bolivia
31	Sanjinez Goitia, Julio Ing.	Autoridad Binacional del Lago Titicaca – UOB/ALT	Tel. (591-2) 2431088 – 2443545 e-mail: uobalta@caoba.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
32	Taucer, Evelyn Lic. Franken Margot Dra.	MEDMIN Instituto de Ecología	Tel. Dom. (591-2) 2490641 Tel. (591-2) 2792582 - 2792416	La Paz/Bolivia La Paz/Bolivia
33	Torrez, René Lic.	Laboratorio de Física de la Atmósfera – LFA/UMSA	Tel. (591-2) 2794155 e-mail: reneto@fiumsa.bo	La Paz/Bolivia
34	Weeda, Aernout Dr.	ZONISIG	Tel. (591-2) 2417086	La Paz/Bolivia
35	Zaratti, Francesco Dr.	Laboratorio de Física de la Atmósfera – LFA/ UMSA	Tel. (591-2) 2799155	La Paz/Bolivia

LISTA DE PARTICIPANTES

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
1	Aban Botello, Genaro Nelson	SENAHMI	Tel. (591-2) 2365288	La Paz/Bolivia
2	Aguilar Alvarez, Hugo	UMSA	Cel. 715-89469	La Paz/Bolivia
3	Aguilar Llanos, Milenka	Biología - UMSA	Tel. (591-2) 2488699 e-mail: mile_all@hotmail.com	La Paz/Bolivia La Paz/Bolivia
4	Aguilar P., Jaime	UPEPP - MDSP	Cel. 779-06769 e-mail: jaguilarpa@latinmail.com	
5	Aguilar, Gonzalo David	UMSA	Tel. (591-2) 2433665	La Paz/Bolivia
6	Aguilar, Silvia	CIPCA	Tel. (591-2) 2813529 e-mail: cipcalpz@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
7	Alberto Quelca, Marcelo	AGRUCO	Av. Petrolera Km. 4 Casilla 3392 Tel/Fax: (591-4) 4252601-425602 e-mail: agruco@pino.cbb.entelnet.bo	Cbba./Bolivia
8	Alanes Orellana , Víctor	CEPA	Tel. (591-2) 5263613 Cel.719-86369	Oruro/Bolivia
9	Alanoca Limachi, Emilio	Turismo - UMSA	Cel. 722-04794 e-mail: emilio79@latin mail.com	La Paz/Bolivia
10	Alfaro Tapia, René	Universidad Nacional del Altiplano U.N.A	Tel. (0051-54) 366189	Puno-Perú
11	Almanza Acno, Mirtha	UMSA	Tel (591-2) 2283681 e-mail: stefkin@latinmail.com	La Paz/Bolivia
12	Almaráz Dávila, Carla	SENAHMI	Tel. (591-2) 2316934 e-mail: dany0077@latinmail.com	La Paz/Bolivia
13	Andrade Romero, Fabiola	Instituto de Hidráulica e Hidrología-IHH/UMSA	Tel. (591-2) 2285221	La Paz/Bolivia
14	Andrade, Sandra	PRODENA	Tel. (591-2) 2444022 e-mail: sandra-andra@yahoo.com	La Paz/Bolivia
15	Angulo María Elena	Independiente	Tel. (591-2) 2414233	La Paz/Bolivia
16	Aramayo Mérida., José Luis	Asociación Ramphastos Toco Universidad Tecnológica Boliviana – UTB	Tel. Dom. (591-2) 2223319 e-mail: grillotucan@yahoo.com	La Paz/Bolivia
17	Arce Olañeta, Juan Lic.	Gobierno Municipal de La Paz – Calidad Ambiental GMLP	Tel. (591-2) 2368800	La Paz/Bolivia
18	Arduz, Eduardo	CIPCA	Tel. (591-2) 2825272 e-mail: cipcalpz@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
19	Arias, Simón	Dirección Nacional de Arqueología - DINAR	Tel. (591-2) 2225176 - 2131613	La Paz/Bolivia
20	Aruquipa Merino, Renzo Ing	Autoridad Binacional del Lago Titicaca – UOB/ALT	Tel. (591-2) 2431088	La Paz/Bolivia
21	Bacarreza M., Wilber (Tte.)	Academia Diplomática	Cel. 715-62338	La Paz/Bolivia
22	Baldiviezo, Glagys	Servicio Hidrografía Naval	Tel. (591-2) 2224307	La Paz/Bolivia
23	Barrón Calcina, Arturo	UMSA	Tel. (591-2) 2235788	La Paz/Bolivia
24	Benavente Bueno, Georgina	Fac. Ciencias Geológicas-UMSA	Tel. 706-21382 e-mail: gina_benabente@yahoo.com	La Paz/Bolivia
25	Bernabé Uño, Adalid	AGRUCO	Av. Petrolera Km. 4 Tel/Fax: (591-4) 4252601-4252602 Tel. 052-73815 e-mail: agruco@pin.cbb.entelnet.bo	Cbba./Bolivia
26	Berrios Contreras, Iván David	UMSA	Tel. (591-2) 2484437 – 24269533 e-mail: ivanberrios@latinmail.com	La Paz/Bolivia
27	Bilbao La Vieja Espinoza, Edgar	SNHN	Tel. (591-2) 2229307	La Paz/Bolivia
28	Blacutt, Pablo	CBF	Tel. Dom. (591-2) 2722188 e-mail: pblacutt@hotmail.com	La Paz/Bolivia
29	Bustamante Mercado, Andrés	Facultad de Agronomía-UMSA	Cel 775-72130	La Paz/Bolivia
30	Caballero P., Verónica	Universidad. Tecnológica Boliviana	Tel. (591-2) 730691 e-mail: iniavero@yahoo.com	La Paz/Bolivia
31	Cabezas A, Jaime	UMSA	Tel. (591-2) 2413205 e-mail: atso@hotmail.com	La Paz/Bolivia
32	Cahuaya Quispe, Sandro Iván	Turismo – UMSA	Tel. (591-2) 2382154 e-mail: vanitur@yahoo.com	La Paz/Bolivia
33	Calderón V., Laura	Geografía – UMSA	Tel. (591-2) 2494537	La Paz/Bolivia
34	Calderón, Hermógena	CODERMA	Tel. (591-2) 2821302	La Paz/Bolivia
35	Callejas, Francisco Ing.	Autoridad Binacional del Lago Titicaca – UOB/ALT	Tel. (591-2) 2431088	La Paz/Bolivia
36	Callisaya, Omar Ing.	CICDA (Centro Integral para la Cooperación Agrícola)	Tel. (591-2) 2413184 - 2812346 e-mail: cicda@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
37	Campos, Virginia N.	Agronomía – UMSA	Cel. 715-89469	La Paz/Bolivia
38	Campuzano Alcázar, Marcelo	Turismo – UMSA	Tel. (591-2) 2484138 e-mail: chelo_bo@hotmail.com	La Paz/Bolivia
39	Canqui Magne, Freddy	H. Municipalidad de El Alto	Cel. 715-07602 e-mail: fredanqui@hotmail.com	La Paz/Bolivia
40	Capriles Flores, Carmen	Agronomía – UMSA	Tel. (591-2) 2227607 e-mail: carmengato@yupimail.com	La Paz/Bolivia
41	Capriles M., José	Arqueología – UMSA	Tel. (591-2) 2227607 e-mail: eliflor@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
42	Cárdenas A., Miguel	Facultad de Ciencias Geológicas – UMSA	Tel. (591-2) 2493255 e-mail: Migueldavidcardnas@latinmail.com	La Paz/Bolivia
43	Cari Choquehuanca, Angel	Universidad Nacional del Altiplano U.N.A	Tel. (0051-54) 366080	Puno/Perú

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
44	Carrasco L., Vladimir C.F	Armada Boliviana	Cel. 715-00474	La Paz/Bolivia
45	Carrasco Nattes, Luis Miguel	Hidrografía Naval	Tel. (591-2) 2229307 e-mail: hidronav@umete.com	La Paz/Bolivia
46	Carrasco, Jenny	UNSLP	Tel. (591-2) 2418290	La Paz/Bolivia
47	Cartagena, Pamela	CIPCA – La Paz	Tel. (591-2) 2823597 e-mail: cipcalpz@caoba.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
48	Casas V., Ivàn	Facultad de Arquitectura - UMSA	Cel. 719-03840 e-mail: ivanc@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
49	Castillo V., Luz	Facultad de Antropología - UMSA	Tel. (591-2) 2283364 e-mail: luzcastillo78200@yahoo.com	La Paz/Bolivia
50	Castro Cabero, Janeth	UMSA	Tel. (591-2) 2226996 e-mail: castro_ani@hotmail.com	La Paz/Bolivia
51	Centellas V., Miriam	Turismo – UMSA	Tel. (591-2) 24904851 e-mail: miriam_rosa@yahoo.com	La Paz/Bolivia
52	Céspedes López, Marcelo	AGRUCO	Tel. (591-4) 4252602 e-mail: sapinmcl@yahoo.com	Cbba./Bolivia
53	Challgua N., Ricahard	UTO – F.C.A.P.	Tel. (591-2) 5261401 e-mail: challgua@estcor.net.bo	Oruro/Bolivia
54	Chavéz Araujo, Rimort	UMSA – AASANA	Tel. (591-2) 2810205 e-mail: rimort_bo@yahoo.es	La Paz/Bolivia
55	Chavéz Ortuño, Jorge		Cel. 722-62178	La Paz/Bolivia
56	Chavéz Ponce, Gary R.	Facultad de Arquitectura - UMSA	Cel. 722-44163 e-mail: jarachavez@latinmail.com	La Paz/Bolivia
57	Chavéz Torrico, Luis C.	Dirección General de planificación de tierra y cuencas – VMARNOF	Tel (591-2) 2311057 –2312475 e-mail: luischavez@maximel.com	La Paz/Bolivia
58	Choque Padilla, Angel	Fuerza Naval Boliviana	Tel. (591-2) 275-1830	La Paz/Bolivia
59	Choque Quispe, Juan Luis	Turismo – UMSA	Cel. 715-16158	La Paz/Bolivia
60	Choquehuanca P., Dante	Universidad Nacional del Altiplano U.N.A.	Av. Ejército 329 Apartado 291 e.mail: iandes@latin mail.com	Puno/Perú
61	Claros Salzar, Jaime	Particular	Tel. (591-2) 2332468 e-mail: claros2001@yahoo.com	La Paz/Bolivia
62	Clavijo Zárate, Mónica	Antropología – UMSA	Tel. (591-2) 2795267 e-mail: monida78@yahoo.com	La Paz/Bolivia
63	Coca Noya, Neyda F.	Asociación Ramphastos Toco – Universidad Tecnológica de Boliviana – U.T.B.	Tel. Dom. (591-2) 2242301 e-mail: pekkletucan@yahoo.com	La Paz/Bolivia
64	Cochi De la Cruz Sánchez, Manuel	P.A.S.	Cel. 719-22031	La Paz/Bolivia
65	Cortez, María Luisa	UMSA	Tel. (591-2) 2440039	La Paz/Bolivia
66	Cortez, Pablo	Arquitectura - UMSA	Tel. (591-2) 2229164	La Paz/Bolivia
67	De Urioste L., Alejandro	Acción para el Medio Ambiente - AMA	Tel. (591-2) 2440147 e-mail: aaurioste@caoba.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
68	Del Castillo, José Luis	Autoridad Binacional del Lago Titicaca – UOB/ALT	Tel. 8591-2) 2431088	La Paz/Bolivia
69	Delgadillo Carrión, Luis F.	Agronomía - UMSA		La Paz/Bolivia
70	Domic, Alejandra	Biología - UMSA	Tel. (591-2) 2720670 e-mail: alejandradomic@biociencias. Org	La Paz/Bolivia

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
71	Doria Medina, Sergio	Fac. de Ciencias Ecológicas - UMSA	Cel. 722-05651	La Paz/Bolivia
72	Espejo Cruz Adrián	Agronomía - UMSA	Cel. 706-31768	La Paz/Bolivia
73	Fernández J., Magaly	UMSA	Cel. 719-04375	La Paz/Bolivia
74	Fernández, Soledad	Arqueología - UMSA	Cel. 722-29711 e-mail: ma.solefer@eudora.com	La Paz/Bolivia
75	Figueroa Quezada, Fernando	AASANA – UMSA	Tel. (591-2) 2822079	La Paz/Bolivia
76	Flores Cuba, Luis Guillermo Ing.	Proyecto Conservación Biodiversidad – Perú	Tel. 0051-54-364557 – 2431414 Fax. 0051-54-364558 e-mail: gerbiodiver@terio.com.pe	Perú
77	Flores Flores, José Juan	Geografía	Tel. (591-2) 2384079	La Paz/Bolivia
78	García Cárdenas, Magali	Facultad de Agronomía - UMSA	Tel. (591-2) 2491558 – 2240059 e-mail: magali.garciacardena@agr. Kuleuren.ac.bo	La Paz/Bolivia
79	Gómez Villalva, Edgar	UMSA	Tel. (591-2) 2235188	La Paz/Bolivia
80	González Titile, Nelly Gladys	Turismo - UMSA	Tel. (591-2) 2542210	La Paz/Bolivia
81	González, Liliana	Embajada de Holanda	Tel. (591-2) 2444040 e-mail: lilianagonzales@minbosa.al	La Paz/Bolivia
82	Gutiérrez Valdivia, Gualberto	Universidad Técnica de Oruro -UTO	Tel. (591-2) 274028	Oruro/Bolivia
83	Gutiérrez, Davz	Mur Pazña	Cel. 716-63640	Oruro/Bolivia
84	Guzmán E., Marcelo J.	UMSA - IIQ	Cel. 715-33681 e-mail: guzman@latimail.com	La Paz/Bolivia
85	Guzmán S. Ruben	Servicio Nacional de Hidrología Naval - SNHN	Tel. (591-2) 2229307 e-mail: hidronab@unete.com	La Paz/Bolivia
86	Guzmán, Franz	CEPRODA	Tel. (591-2) 2250109 - 2360586	La Paz/Bolivia
87	Herrera Torres, Alberto	Universidad Nacional del Altiplano	Tel. (0051-54) 366080	Puno/Perú
88	Hinojosa Montes, Fernando	UMSA	Cel. 706- 26590	La Paz/Bolivia
89	Huaman Valdéz, Alan Willian	Turismo – UMSA	Cel. 779-27080 e-mail: alanito@hotmail.com	La Paz/Bolivia
90	Huasco Flores, Volga	BISOMA	Tel. Dom. 2213251 e-mail: biosomalp@yahoo.com	La Paz/Bolivia
91	Huisa Humpiri, Renato Ing.	ALT (M.D.S.P.)	Tel. (591-2) 2430398 e-mail: rhisah@hotmail.com	La Paz/Bolivia
92	Jung Peters, Jorge	UNSLP	Tel. (591-2) 2413167	La Paz/Bolivia
93	León Alvéstegui, Gabriela	CEPA	Tel. (591-2) 5263613	Oruro/Bolivia
94	Liebers, Arturo	Honorable Cámara de Diputados HCD	Tel. Dom. (591-2) 2721430	La Paz/Bolivia
95	Liendo, Roxana	CIPCA	Tel. (591-2) 2823997	La Paz/Bolivia
96	Limachi Suxo, Porfirio	Asociación de Artesanos de Totora	e-mail: artbototora@hotmail.com	La Paz/Bolivia
97	Llanque Velasco, Javier	Facultad de Arquitectura - UMSA	Tel. (591-2) 2863149	La Paz/Bolivia
98	López De la Riva, Omar	Particular	Tel. (591-2) 2231720 e-mail: superpañal@mixmail.com	La Paz/Bolivia
99	Machaca C., Esther	CAIT	Tel. (591-2) 2811072	La Paz/Bolivia
100	Machaca Q., Víctor	CSUTCB	Tel. (591-2) 2251072	La Paz/Bolivia
101	Martens Kner	Institut Royal des sciences Naturelle De Biologue		Bélgica
102	Magnani Flores, Freddy	H.A.M. – San Pedro de Tiquina	Cel. 722-46382 Tel. (591-2) 2787183 e-mail: fmagnani@latinmail.com	La Paz/Bolivia
103	Maldonado Candia Arcenio	Turismo - UMSA	Tel. (591-2) 2814918 e-mail: maldoca@eudora.mail.com	La Paz/Bolivia
104	Maldonado De la fuente. Iván	CGFNB	Tel. (591-2) 2751830	La Paz/Bolivia

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
105	Mamani Catari, Germán Agr.	Centro de Fomento Cooperativo Agropecuario – CEFODFA Centro Walipini	Tel. (591-2) 2315101	La Paz/Bolivia
106	Mamaní Luque, Oscar Raúl	Universidad Nacional del Altiplano U.N.A.	Tel. (0051-54) 366192	Puno/Perú
107	Marca Cáceres, Carmen Rosa	FCAP .UTO	Tel. (591-2) 5263815 –5243770 e-mail: carmenrosac@hotmail.com	Oruro/Bolivia
108	Marca Huanca, Percy Ulises	Universidad Nacional del Altiplano U.N.A.	Tel. (0051-54) 366192	Puno/Perú
109	Mario Copa, Gérman	UMSA	Tel. (591-2) 2817038	La Paz/Bolivia
110	Marquéz A., Gerardo Lic.	CEPRODA	Tel. (591-2) 2360586	La Paz/Bolivia
111	Marquéz, Ricardo	Ministerio de Defensa	Tel. (591-2) 2432529	La Paz/Bolivia
112	Martínez, Alejandra	UMSA	Tel. (591-2) 2306211	La Paz/Bolivia
113	Meave Arce, Eloy	A. A. S. A. N. A. – Metereología	Tel. (591-2) 2732533	La Paz/Bolivia
114	Medrano, Carlos Ing.	Autoridad Binacional del Lago Titicaca - ALT	Tel. (591-2) 2431088 e-mail: uobalt@caoba.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
115	Mendieta Aguilar, Brizeida	Universidad Técnica de Oruro - UTO	Tel. (591-2) 5257008 e-mail: brizei_yahoo.com	Oruro/Bolivia
116	Mendizabal Vedia, Jesús	SNHN	Tel. (591-2) 2229307	La Paz/Bolivia
117	Meneses Junco, Lilia	H. Municipalidad de Cochabamba	Tel. (591-4) 283523	Cbba./Bolivia
118	Mercado Jauregui, Sandro	A.A.S.A.N.A. - Meteorología	Tel. (591-2) 2454030	La Paz/Bolivia
119	Mollo, Antonia Rosalinda	INE - UMSA	Tel. (591-2) 223643	La Paz/Bolivia
120	Molina, Jorge	Instituto de Hidráulica e Hidrología – IHH/UMSA	Tel. (591-2) 2795724 e-mail: ihh@mail.megalink.com	La Paz/Bolivia
121	Montaño Centellas, Flavia Alejandra	Biología - UMSA	Tel. (591-2) 2241591 e-mail: gaia@biociencias.org	La Paz/Bolivia
122	Nelson, Franck S.	Ministerio de Defensa	Tel. (591-2) 2431991	La Paz/Bolivia
123	Nina, Grover	UMSA	Tel. (591-2) 2481005	La Paz/Bolivia
124	Niura Zurita, Amalia	IIQ - UMSA	Cel. 71584246 e-mail: niura@latinmail.com	La Paz/Bolivia
125	Ochoa Paredes, Miltón	Pastoral Social	Tel. (591-2) 5255572	Oruro/Bolivia
126	Ordoñez Burgos, Walter	Cancillería	Tel. (591-2) 22456965	La Paz/Bolivia
127	Oros Vladimir	Autoridad Binacional del Lago Titicaca - ALT	Tel. (591-2) 2430398	La Paz/Bolivia
128	Pacheco Choque, Dora	Agronomía - UMSA	Tel. (591-2) 2785863	La Paz/Bolivia
129	Pacocillo Hilari, Roberto	Parlamento del Pueblo Kollana Aymara PPKA	Tel. (591-2) 2824785	La Paz/Bolivia
130	Padilla Callejas Veronica	Agronomía - UMSA	Tel. (591-2) 2382577	La Paz/Bolivia
131	Panoso Ovando. Jorge	Dirección Intereses Maritimos	Tel. (591-2) 2431161	La Paz/Bolivia
132	Paredes Cadima, Carlos F.	Particular	Tel. (591-2) 2421626 e-mail: cfparedes30@hotmail.com	La Paz/Bolivia
133	Paredes Zeballos, Gonzalo	SEDAG – LA PAZ Unidad de pesca	Tel. (591-2) 2842637	La Paz/Bolivia
134	Peñaranda S., Jaime Jorge	Mecanismos "El niño"	Tel. (591-2) 2204262 e-mail: ptocon@caoba.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
135	Pillco Zola, Ramiro	Instituto de Hidráulica e Hidrología – IHH/UMSA	Tel. (591-2) 2795724 e-mail: markawimanta@yahoo.com	La Paz/Bolivia
136	Pinto, Julio	Instituto de Ecología	Tel. (591-2) 2794161 e-mail: sulpic@latinmail.com	La Paz/Bolivia
137	Plata Chuquimia, Luis Horacio	Idioma - UMSA	Tel. (591-2) 2386817	La Paz/Bolivia
138	Plata Fernández, Nicolás	Puerto Guaqui	Tel. (91-2) 2841102	La Paz/Bolivia
139	Quiroz T., Eduardo	Consultor Independiente	Tel. (591-2) 2229515 e-mail: edquit@animail.com	La Paz/Bolivia
140	Quispe Mamani, María	BIOSOMA	Tel. (591-4) 4485324 e-mail: biosoma@supernet.com.bo	Cbba./Bolivia

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
141	Quiuchaca Quispe, Fidela	CSUTCB	Cel. 779-08355 e-mail: fidelaq@hotmail.com	La Paz/Bolivia
142	Ramallo Acuña, Cinthya	Facultad Geológica - UMSA	Tel. (591-2) 2483139 e-mail: cinthya97@hotmail.com	La Paz/Bolivia
143	Ramírez Aguirre, Jorge	Fac. de Ciencias Geológicas - UMSA	Tel. (591-2) 2491069	La Paz/Bolivia
144	Ramos Gutiérrez, Víctor	Consultor independiente	Tel. (591-2) 2214205 Cel. 715-47234 e-mail: saud@unete.com	La Paz/Bolivia
145	Ramos Huamanquispe, Lifoy Ing.	Proyecto Conservación Biodiversidad - Perú	Tel. (0051-54) 2431414 - 2364557	Perú
146	Ramos López, Richard	AGRUCO	Tel. (591-4) 4785863	Cbba./Bolivia
147	Ramos Mayta, Trifón	Facultad de Humanidades - UMSA	Tel. (591-2) 2306695 e.mail: salazar34@latinmail.com	La Paz/Bolivia
148	Reyes Zarate, William	Carrera de Historia - UMSA	Tel. (591-2) 2491632 e-mail: ereyesz@latinmail.com	La Paz/Bolivia
149	Reyes, Juan	Asociación para el Desarrollo Sustentable - ADESU	Tel. 2784858 e.mail: forestboliviandina@yahoocom	La Paz/Bolivia
150	Reyes, Ximena	UMSS	Tel. (591-2) 246013 e-mail: rastaxi@hotmail.com	La Paz/Bolivia
151	Rocha Grimoldi, Carol	Pastoral Social	Tel. (591-2) 5255572 e-mail: cedipasoruro@hotmail.com	Oruro/Bolivia
152	Rocha Quispe, Virginia	SENAHMI	Tel. (591-2) 2365288 e-mail: virginia_rocha@latinmail.com	La Paz/Bolivia
153	Rodas Sanjinéz, Dennise M.	UMSA	Tel. (591-2) 2751069 e-mail: denniserodas@latinmail.com	La Paz/Bolivia
154	Rodrigo, Luis Alberto	ANCB	Tel. (591-2) 2363990 e-mail: frodrigo@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
155	Rojas Paredes, Juan Carlos	Facultad de Arquitectura - UMSA	Cel. 772-44163	La Paz/Bolivia
156	Romero Salas, Jaime M.	Turismo - UMSA	e-mail: salazar34@latinmail.com	La Paz/Bolivia
157	Royas, Mirtha	Asociación para el Desarrollo Sostenible - ADESU	Tel. (591-2) 2784858	La Paz/Bolivia
158	Saenz Laguna, Cristhian	Fac. de Ciencias Ecológicas - UMSA	Tel. (591-2) 279-1467 e-mail: crissano2@latinmail.com	La Paz/Bolivia
159	Saenz, Virginia	Arqueología - UMSA	Tel. (591-2) 2432408 e-mail: Grecasa@hotmail.com	La Paz/Bolivia
160	Salinas, Andrea	Facultad de Ciencias Geológicas - UMSA	Tel. (591-2) 2770089 e-mail: Grecasa@hotmail.com	La Paz/Bolivia
161	Salinas Astorga, Paula	Bibliotecología - UMSA	Tel. (591-2) 2203808 e-mail: Wreyesz@latinmail.com	La Paz/Bolivia
162	Sánchez Bustamante, Daniel	USAID	Tel. (591-2) 2786544	La Paz/Bolivia
163	Saravia Ch., Nelson	SENAMHI	Tel. 07001127	La Paz/Bolivia
164	Silva, Lourdes	Ingeniería industrial - UMSA	Tel. (591-2) 2381700	La Paz/Bolivia
165	Soliz Gamboa, Claudia C.	UMSA	Tel. (591-2) 2795062 e-mail: sol_clau@yahoo.com	La Paz/Bolivia
166	Soliz Guarachi, Karin	Ingeniería Civil – E.M.I.	Tel. (591-2) 2227729 e-mail: karin562000@yahoo.es	La Paz/Bolivia
167	Soria B., Miguel Angel	Fac. de Ciencias Geológicas - UMSA	Cel. 71675848	La Paz/Bolivia
168	Terceros C., Zulema	UMSA	Tel. (591-2) 2415414 e-mail: zuterces@yahoo.es	La Paz/Bolivia

	NOMBRE	ENTIDAD	DIRECCION	PAIS
169	Terrazas, Gualberto	Programa interinstitucional Suka Kollo - PROSUKO	Tel. (591-2) 2442583 e-mail: prosuko@mail.megalink.com	La Paz/Bolivia
170	Ticona Ramos, Germán	CIPCA	Tel. (591-2) 2825266 e-mail: cipcalp2@ceibo.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
171	Torrez, Acarapi Abraham	Municipio de Guaqui	Tel. (591-2) 2306043	La Paz/Bolivia
172	Torrez, Carlos	UMSA	Tel. (591-2) 2232294	La Paz/Bolivia
173	Trujillo Ayma, Irene	Puerto Guaqui	Tel. (591-2) 2305783	La Paz/Bolivia
174	Trujillo, Félix	UMSA	Tel. (591-2) 2227281	La Paz/Bolivia
175	Urioste, Miguel	TIERRA	Tel. (591-2) 2430145 Fax: 2432269 e-mail: tierrabo@caoba.entelnet.bo	La Paz/Bolivia
176	Urrelo, Janira F.	Biología - UMSA	Tel. (591-2) 2232286 e-mail: jani@biociencias.org	La Paz/Bolivia
177	Usquiano, Michael	UMBA -ADM	Cel. 779-39441 e-mail: miagian@latinmail.com	La Paz/Bolivia
178	Vaca Echalar, Ramón	Comando FNB	Tel. (591-2) 2750143	La Paz/Bolivia
179	Valencia Espinoza, Edmundo	UMSA	Tel. (591-2) 2396115	La Paz/Bolivia
180	Valle Aranibar Uby	Instituto de Hidráulica e Hidrología – IHH/UMSA	Tel. (591-2) 2415813	La Paz/Bolivia
181	Vargas Arturo	Biodiversidad	Tel. Dom. (591-2) 2222019 Cel. 775-52214	La Paz/Bolivia
182	Vargas Erika	Grupo de Asesoramiento Multidisciplinario en Medio Ambiente y Agroecología - GAMMA	Tel. (591-2) 2241905 Gamma@mail.megalink.com	La Paz/Bolivia
183	Vargas Molina, Fernando	Asociación Boliviana de Geografía y Recursos Naturales	Cel. 775-59374	La Paz/Bolivia
184	Veizan Navarro, Elizabeth	Universidad Técnica de Oruro - UTO	Cel. 718-52309	Oruro/Bolivia
185	Velasco, Rossemary	ADEJO	Tel. Dom. (591-2) 2787858	La Paz/Bolivia
186	Venegas Patricia	PRODENA	Tel. (591-2) 2444022 e-mail: prodena@yahoo.com	La Paz/Bolivia
187	Vera Barba Wilson	SNHN	Tel. (591-2) 2720143	La Paz/Bolivia
188	Vera Loza, Claudio	Asociación de Operadores de Turismo - ASOPUR	Tel. (591-2) 2444426 e-mail: cveraloza@travelperubolivia.com	La Paz/Bolivia
189	Verhasselt, Yola	Real Academia Belga de Ciencias de Ultramar	Tel. 0032-2-538 0211 0032-2-538 4772 Fax: 0032- 2- 539 2353	Bélgica
190	Villalpando, Abelardo	ABAC	e-mail: gearena@mixmail.com	La Paz/Bolivia
191	Villazón, Verónica	UMSA	Tel. (591-2) 2232681 e-mail: villadel@entelnet.com.bo	La Paz/Bolivia
192	Villca Calle, Vicky	Representación FAO	Tel (591-2) 2418971-78 e-mail: fao-searpi@kila.net	La Paz/Bolivia
193	Villegas Alvarado, Gabriela	Biología - UMSA	Tel. (591-2) 2432330 e-mail: gabrievillegas@hotmail.com	La Paz/Bolivia
194	Yucra Masco, Alina	UMSA	Tel. (591-2) 2843232	La Paz/Bolivia
195	Zambrana, Iván		email: jzambrana@latinmail.com	La Paz/Bolivia
196	Zapata Sánchez, Juan C.	Ministerio de Defensa	Tel. (591-2) 2432525	La Paz/Bolivia
197	Zapata, Beatriz	Biología - UMSA	Tel. (591-2) 2417943	La Paz/Bolivia
198	Zegarra, Marcelo	Instituto de Investigación Agrícola y Veterinaria de Altura y Trópico - INAGRO	Tel. (591-2) 2370376 e-mail:mzegarra@usa.net	La Paz/Bolivia