



ANCB



UMSA  
IIG - IE



CICG

# **SIMPOSIO NACIONAL DE CAMBIOS GLOBALES**

**J. ARGOLLO & G. MIRANDA**  
EDITORES



**ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS**  
**21 - 23 DE JUNIO DE 2000**  
**LA PAZ - BOLIVIA**



# **SIMPOSIO NACIONAL DE CAMBIOS GLOBALES**

**J. ARGOLLO & G. MIRANDA  
EDITORES**

**ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS  
21 - 23 DE JUNIO DE 2000  
LA PAZ - BOLIVIA**

## **CONTENIDO**

**Pag.**

PRESENTACION.....	I
CAMBIOS GLOBALES DEL PASADO EN BOLIVIA	
Jaime Argollo.....	1
EL NIÑO, LA OSCILACIÓN DEL SUR - ENOS Y SU COMTRAPARTE LA NIÑA	
Freddy M. Alvarez Rodriguez.....	10
IMPACTO DE EL NIÑO EN BOLIVIA 1997-1998	
Reynaldo Maldonado.....	20
RECONSTRUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA REGISTRADA EN LOS TESITGOS DE HIELOS EN BOLIVIA	
B. Pouyaud .....	32
CHACALTAYA, EVOLUCIÓN DE UN PEQUEÑO GLACIAR EN LOS ANDES DE BOLIVIA, 16°S.	
J. Mendoza, B. Francou .....	44
S.O.I. Y VARIABILIDAD DE LOS REGIMENES HIDRO-PLUVIO MÉTRICOS DE LOS VALLES ALTOS-ANDINOS DE BOLIVIA	
R. Gallaire.....	50
DINÁMICA DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO	
Guillermina Miranda.....	56
EVOLUCIÓN ISOTÓPICA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO	
Andrés Burgoa Mariaca.....	68
ISOTOPOS DEL AGUA MARCADORES DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA	
R. Gallaire.....	78
DATOS DE ARCHIVOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE LLUVIAS EN POTOSÍ (1585-1737)	
Alain Gioda.....	84
MAGNITUD DE LAS COMPONENTES UVA Y UVB DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COTA COTA	
R. Torrez, L. Blacutt.....	92
PROGRAMA ESPECIAL DE OBSERVACIONES DEL VIENTO EN CHORRO DE NIVELES BAJOS EN LA REGIÓN ORIENTAL DE BOLIVIA	
Michael W. Douglas.....	99
LA ANOMALÍA DEL OZONO SOBRE EL ALTIPLANO ANDINO	
Francesco Zaratti.....	107
LINEA BASE DE CO <sub>2</sub> EN COBIJA Y LAS QUEMAS EN BOLIVIA	
René L. Gutierrez C.....	116
CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA:VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS	
Guillermina Miranda.....	121
ESTUDIO DE CAMBIOS CLIMÁTICOS - BOLIVIA	
María Eugenia García.....	133
ESTRATEGIAS ..."DISMINUCIÓN DEL COSTO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES, A TRAVES DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS: FISCALES Y DE MERCADO	
Maria del Carmen Hidalgo A.....	141
INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL HIDROSISTEMA AMAZONICO Y SUS IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA	
CASO DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN BOLIVIA: CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS Y RECOMENDACIONES	
Laurance Maurice Bourgoin.....	152
DIRECTRICES DE TEORÍA SOCIAL PARA EL ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL ANTE CAMBIOS EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE TRANSPORTES	
Hugo Cesar Boero.....	159

# PROGRAMA INTERNACIONAL GEOSFERA – BIOSFERA, ESTUDIO DE CAMBIOS GLOBALES

## INTRODUCCION

La tierra tiene 5 mil millones de años y desde entonces, a soportado el bombardeo de meteoritos, bruscos cambios de sus campos magnéticos, la deriva de las placas tectónicas así como el avance y retroceso de enormes masas de hielo que han remodelado la superficie. También la vida hizo prueba de su tenacidad, desde la emergencia de las primeras formas de vida, diferentes especies vivientes han aparecido y después desaparecido, pero la vida a perdurado, sin interrupción. Cualquier cosa que hagamos, nosotros los humanos parece poco probable que podamos suprimir sus potentes fuerzas físicas y químicas que son el motor del Sistema Tierra.

### El pasado Geológico

Las consecuencias de nuestras acciones se agregan a las variaciones naturales de la red constituido por los sistemas oceánicos, atmosféricos y biológicos del globo. Mientras se ensaya de predecir el ambiente global del futuro, nos confrontamos constantemente a enormes obstáculos, que son las lagunas en nuestro conocimiento concerniente a las interacciones múltiples entre los procesos físicos, químicos y biológicos y la manera como modifican hoy el planeta. Sin embargo lo que sabemos del pasado muestra que desde el origen de la vida sobre la tierra, el clima y el destino de los habitantes del planeta están estrechamente ligados y que cambios relativamente pequeños pueden tener consecuencias importantes e inesperadas.

### La formación de la capa de ozono

Las lecciones del pasado nos muestran, que los organismos acuáticos primitivos, las algas, comenzaron a utilizar la energía solar para romper la molécula de agua y de gas carbónico antes de volverla a recombinar, bajo la forma de compuestos orgánicos y de oxígeno proceso llamado fotosíntesis. A medida que la tasa de oxígeno aumenta, disminuye el gas carbónico. En la alta atmósfera, ciertas moléculas de oxígeno ( $O_2$ ) se rompen absorbiendo la energía emitida por los rayos ultravioletas, produciendo átomos de oxígeno aislado. En combinación con el oxígeno, estas forman las moléculas de ozono ( $O_3$ ), que absorbe eficazmente las radiaciones ultravioletas del sol. Gracias a esta capa de ozono la tierra a sido capaz de albergar las formas de vida mas complejas.

### La Pangea

A principios de la edad de los dinosaurios, el movimiento de las placas tectónicas provocó la agrupación en un solo megacontinente, llamado Pangea, de los dos principales continentes, Laurasia al norte y Gondwana al sur por un periodo relativamente corto.

En esta época, la tierra era totalmente diferente a lo que es hoy o lo que era durante las eras geológicas precedentes y siguientes. Este antiguo fenómeno natural, es estudiado para comprender mejor como la repartición de la tierra y océanos influye sobre el clima. Antes de la

formación de la Pangea, la diversidad y la abundancia de formas de vida estaban en expansión, pero cuando los continentes se acercaron para formar uno solo, un número sin precedentes de organismos vivientes desaparecieron. Según estimaciones más de la mitad de todas las familias y tres cuartas partes de diferentes especies se extinguieron.

### Periodos glaciares

Otro evento significativo y relevante de la historia de la tierra es la variación climática, de cálido a frío, que comienza aproximadamente hace 100 millones de años, época en la que el clima era más cálido que hoy y el tenor en gas carbónico tal vez 10 veces más elevado que en la actualidad. Es posible que un volcanismo generalizado haya cargado la atmósfera con gas carbónico. Cuando la Pangea se desintegra, los continentes se separan y el volcanismo tal vez era más intensa de lo que es hoy en las zonas volcánicas; los fondos marinos se desarrollan lentamente mientras que los continentes derivan hacia su posición actual. Las investigaciones hacen suponer que después de este fenómeno, la actividad volcánica y las emisiones de gas carbónico disminuyen, provocando un enfriamiento del clima. Estas informaciones provienen de los núcleos cuidadosamente extraídos de los casquetes glaciares de Groenlandia y Antártico. Analizando las burbujas de gas atrapados en el hielo, los estudios muestran que la atmósfera de los períodos glaciares era muy diferente a lo que es hoy y que las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y de aerosoles han sufrido importantes variaciones. Otras informaciones suplementarias han sido obtenidos a partir de los granos de polen fosilizados, los anillos de crecimiento de los árboles, las manifestaciones de cambios de nivel de mar inscritos en los arrecifes de corales o la tasa de restos dejados por los roedores. Los sedimentos extraídos de los fondos marinos, son particularmente instructivos, por que su composición química o los fósiles de especies de aguas frías y cálidas que contienen son el reflejo de las variaciones de temperatura del agua y del volumen de los casquetes polares.

Estos estudios establecen casi con certeza, que los períodos glaciares se producen por variaciones relativamente débiles de cantidades de la luz solar que llegan a la tierra en las diferentes latitudes y estaciones. Estas pequeñas modificaciones de la luz solar resulta de tres fenómenos orbitales: ligeras modificaciones de la órbita elíptica de la tierra alrededor del sol, que de casi circular se hace más elíptica, sobre un ciclo de aproximadamente 100 mil años; de las modificaciones del ángulo de inclinación del eje de la tierra, sobre un ciclo aproximado de 40 mil años y la oscilación del eje mismo, sobre un ciclo de 20 mil años.

Es posible que no solo la física pero también la química y la biología actúan como catalizadores en el ciclo climático.

### Período cálido actual

Los datos geológicos muestran que el último acto del drama glacial comienza al momento donde el período de glaciación más reciente llega a su fin, aproximadamente 18 mil años en el hemisferio norte y 14 mil años en el hemisferio sur. El actual clima agradable constituye un breve período cálido en medio de un ciclo glacial típico, en un período frío que dura generalmente 100 mil años.

El calentamiento global durante los últimos 18 000 años (HN) ó 14 000 años (HS) ha sido de aproximadamente 5° C, el calentamiento futuro anunciado resultante de la contribución antrópica en gases de efecto invernadero puede producirse en menos de un siglo, es decir de 10 a 50 veces más rápido.

Entre 12 000 y 6000 años la mayor parte del norte de África (HN) hoy cubierto de arenas, estaba inundado por lagos y una sequía importante caracteriza el altiplano (HS).

El clima igualmente ha conocido variaciones importantes en los últimos siglos y decenios. Aunque estos no fueron dramáticos como aquellos más antiguos ni como aquellos previstos para el siglo próximo. Se sabe que el clima puede alterarse bruscamente y que los cambios pueden ser suficientemente importantes para tener un impacto a escala regional, como la Pequeña Edad del Hielo de Europa y Sudamérica que dura hasta el siglo XIX o la sequía que se inicia en el sur oeste de los estados Unidos. Se ignora si estas variaciones climáticas fueron el resultado de variaciones cuantitativas de la luz solar o de la frecuencia de erupciones volcánicas o bien a oscilaciones internas de la atmósfera y del océano

Estos ejemplos de la variabilidad natural del clima hacen ver que es difícil reconocer las fases iniciales de un cambio climático provocado por el hombre. Sin embargo nosotros hemos creado condiciones que pueden amenazar la tierra de un cambio climático rápido sin precedentes en la historia del planeta. Podrá la flora y la fauna reaccionar con suficiente rapidez a los cambios ecológicos anunciados, sin que se produzca una ruptura de las comunidades, como ha ocurrido en el pasado del planeta? Son temas de estudio y de interés de la comunidad científica.

Ante esta situación preocupante del futuro de nuestro planeta, se han planteado varios programas internacionales, entre ellos el Programa Internacional Geósfera – Biosfera, estudio de Cambios Globales (PIGB), IGBP en inglés.

### **LOS OBJETIVOS DEL PROGRAMA GEOSFERA – BIOSFERA: PIGB**

Hace justo 13 años que la 21 Asamblea General del Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), ahora Consejo Internacional para la Ciencia, ha planteado el Programa Internacional Geósfera – Biosfera (PIGB). Poco más tarde, en 1987, fue establecida la secretaría en la Academia Real de Ciencias de Suecia.

Este programa a sido, es y continuará siendo orientado sobre la adquisición de conocimientos científicos de base concernientes al cambio global, y particularmente los procesos biológicos y químicos que interactúan en el seno del Sistema Tierra. Esto está bien presentado en el objetivo inicial del programa que es:

Describir y comprender:

- los procesos físicos químicos y biológicos interactivos que regulan el Sistema Tierra, este ambiente único que permite la vida,
- los cambios que afectan este Sistema,
- y la manera por la cual estos son influenciados por la acción del hombre.

### **LOS DIFERENTES PROYECTOS DEL PIGB**

Desde el inicio del PIGB, fue establecido que el funcionamiento del planeta, particularmente bajo los aspectos biogeoquímicos deben ser comprendidos tanto en el contexto de la variabilidad natural como en aquellos cambios inducidos por las actividades humanas. El Programa Cambios Globales del Pasado (PAGES) a sido encargada de realizar este considerable esfuerzo de comprender la variabilidad natural.

La acción conjunta de la circulación de los océanos y de las bombas biogeoquímicas, que también dependen de la circulación oceánica, determina la presión parcial del gas carbónico en la superficie del mar. Ella constituye entonces, con el tenor en CO<sub>2</sub> de la atmósfera y los vientos, uno de los principales factores que gobiernan el cambio de este gas en el interfase aire-mar. En este campo los progresos han sido significativos y ellas están directamente ligados a los resultados de los Experimentos Mundiales sobre la Circulación Oceánica (WOCE) del Programa Mundial de Investigaciones sobre el Clima (PMIC) y a los estudios conjuntos de los Flujos Oceánicos Globales (JGOFS) del PIGB.

Modelar las interacciones entre el sistema terrestre y la atmósfera necesita la interrelación de un conjunto de modelos simulando la vegetación, la biogeoquímica y la fisiología de las plantas a fin de describir los intercambios de agua y de energía entre la vegetación y la atmósfera a escalas de tiempo muy cortos e integrar sobre períodos largos. En el PIGB, este campo concierne al programa " Cambios Globales y Ecosistemas Terrestres (GCTE), " Aspectos Biológicos del Ciclo Hidrológico" (BAHC) y, al Análisis Global e Interpretación de Modelos (GAIM).

Además, el agua es el agente acoplador de los sistemas biogeoquímicos terrestres al sistema climático. La disponibilidad de agua es evidentemente un factor importante de la regulación de la producción primaria y de la durabilidad de los ecosistemas naturales. A su turno los ecosistemas naturales reciclan el vapor de agua a la interfase suelo – atmósfera e intercambia importantes cantidades de gases trazas con la troposfera, esto constituye el centro de interés del proyecto Internacional de Química Atmosférica Global (IGAC), pero también del programa de Estudio de los Procesos Estratosféricos y su Rol en el Clima (SPARC) del PMIC. Por otra parte, la humedad de los suelos es un elemento clave de la superficie de los continentes en los modelos de circulación general de la atmósfera, ya que está estrechamente ligado a la evaporación, por lo tanto a la distribución de los flujos de calor del agua y de la Energía a escala Global (GEWEX) del PMIC.

Los ríos, y más generalmente el conjunto del ciclo hidrológico, controlan el movimiento de numerosos compuestos sobre grandes distancias, desde las masas continentales hasta los océanos y la atmósfera. Los ríos son un elemento determinante del establecimiento de las poblaciones humanas y de su desarrollo. Los ríos se forman a partir de la humedad de los suelos y del escurrimiento. Todo depende estrechamente de la utilización de las Tierras y de su Cobertura, lo cual es objeto de un programa específico Cambios del uso y Cobertura de la Tierra (LUCC), programa compartido entre el Programa Internacional de estudio de la Dimensión Humana de los Cambios Globales (IHDP) y del PIGB. Los ríos terminan en las zonas costeras donde ellos son un elemento clave. Lo cual es objeto de un proyecto de estudio de las Interacciones Continente – Océano en Zona Costera (LOICZ). Finalmente, los ríos a parte de aportar agua a los océanos, ellos aportan cantidades significativas de elementos nutritivos a las zonas costeras que tienen un impacto sobre la pesca. La dinámica de las relaciones entre el clima, la pesca y los hombres comienza a ser plenamente apreciado en razón de los resultados adquiridos en el marco del proyecto de Estudio Global de la dinámica de los Ecosistemas Oceánicos (GLOBEC), en relación con LOICZ Y JGOFS. Estos estudios van a jugar un rol de más en más importante en el marco del Sistema para Análisis la Investigación y la Enseñanza del Cambio Global (START). Finalmente, cada uno de los proyectos centrales del PIGB, al igual que los esfuerzos transversales dependen de los Datos y la Información disponibles, lo cual es objeto del proyecto PIGB-DIS.

La comprensión del ciclo hidrológico y del recurso agua está ligada al sistema humano, pero también biogeoquímico y climáticos. Por consiguiente, dos nuevas actividades son prioritarias

para el PIGB, los ciclos globales del carbono y del agua, además de una tercera, la alimentación, están fuertemente interrelacionados, entre el PIGB, PMIC y PIDH

## **EL PROGRAMA DE CAMBIOS GLOBALES EN BOLIVIA**

El programa de Cambios globales fue implementado en Bolivia en 1991, teniendo a la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia como institución responsable del Programa. A partir de entonces, se han llevado una serie de investigaciones relacionados a los Cambios Globales del Pasado (PAGES), Cambios Globales y Ecosistemas Terrestres (GCTE), Aspectos Biológicos del Ciclo Hidrológico (BAHC), estudio Internacional de la Química Atmosférica Global (IGAC), posteriormente el programa Cambios del Uso y Cobertura de Tierras (LUCC), en coordinación con el Programa Internacional de Dimensión Humana (PIDH), y al mismo tiempo el Programa de Cambios Climáticos (PCC), conjuntamente con PMIC. Estos estudios han permitido alcanzar extraordinarios progresos en el conocimiento de los Cambios Globales ocurridos en el Pasado de Bolivia, y los impactos de los Cambios Globales en los distintos Ecosistemas de nuestro país. El inicio de un nuevo milenio será el momento en que la humanidad realizará una evaluación sobre su situación y mirará hacia donde va. De la misma manera el programa de Cambios Globales debe juntar y sintetizar todo lo adquirido. Al futuro, el PIGB debe concentrarse sobre los problemas científicos mayores concernientes a los Cambios Globales del Ambiente, esto implica interesarse en las preguntas que tienen un interés por la sociedad y de la política.

## **AGRADECIMIENTO**

A nombre del Programa Internacional Geósfera - Biósfera (PIGB), el Centro de Investigaciones en Cambios Globales (CICG) y el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) de la UMSA, queremos expresar nuestro mayor agradecimiento al Programa Nieves y Glaciares Tropicales (NGT) del Instituto de Investigaciones para el Desarrollo (IRD) Francia, por el apoyo económico que hizo posible la publicación del presente volumen.

Asimismo nuestro sincero agradecimiento a la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia (ANCB), Liga de Defensa del Medio Ambiente (LIDEMA) y Aguas del Illimani, por el apoyo brindado en la realización del Simposio Nacional de Cambios Globales.

Jaime ARGOLLO BAUTISTA  
Junio, 2000  
La Paz - Bolivia

## CAMBIOS GLOBALES DEL PASADO EN BOLIVIA

Jaime Argollo

Instituto de Investigaciones Geológica y del Medio Ambiente, UMSA. Cota Cota, calle 27, La Paz-Bolivia. E-mail: geoins@ceibo.entelnet.bo

### INTRODUCCIÓN

Los Andes Centrales de Bolivia está conformada por el Altiplano que constituye una vasta cuenca endorreica (aproximadamente de 190 000 km<sup>2</sup>), que abarca de norte a sur los países de Perú, Bolivia y Chile, delimitados por las cordilleras Occidental y Oriental, que alcanza picos por encima de los 6000 m. La situación climática actual presenta un gradiente noroeste / sureste, en lo referente a la temperatura media como a las precipitaciones. Este hidrosistema muestra una sensibilidad muy importante a las variaciones interanuales del clima, así tenemos al norte un lago permanente, el lago Titicaca; al centro un lago semi-permanente, el lago Poopo y al sur grandes salares como el salar de Uyuni y Coipasa. Esta variabilidad interanual ha sido demostrada cuando en 1983 (fenómeno EL Niño) el lago Poopo se seca completamente, y solamente tres años mas tarde 1986 el mismo lago inunda una superficie de aproximadamente 4000 km<sup>2</sup>. Mientras que la respuesta a este fenómeno en la zona amazónica es totalmente opuesto.

Durante el Cuaternario, el clima de la Tierra sufrió una alternancia de ciclos climáticos llamados periodos glaciales e interglaciales. Los depósitos sedimentarios del Altiplano boliviano conservan en su memoria estas oscilaciones de gran amplitud. Servant y Fontes (1978) propusieron un modelo de evolución de grandes sistemas lacustres en el Altiplano, acoplado a las grandes extensiones de los glaciares de la cordillera Oriental de Bolivia (figura 1). Esquemáticamente el final del Cuaternario, está marcado por 3 grandes oscilaciones positivas de balance en agua de los lagos de la cuenca norte (lago Titicaca) así como de las cuencas del sur (lagos Poopo, Coipasa y Uyuni). La más antigua, la fase del lago Ballivián no ha sido fechado, mientras que las dos últimas indican < a 27 000 años BP para la fase Minchin y de 12.5 a 10.5 para la fase Tauca. (Servant y Fontes, 1978). Para estos autores, estas 3 fases lacustres fueron alimentadas por las aguas de deshielo de los glaciares correspondientes a las glaciaciones Sorata, Choqueyapu I y Choqueyapu II, respectivamente de la más antigua a la más reciente.

Mas tarde, esta hipótesis fue cuestionada por Hastenrath & Kutzbach, 1985; Kessler, 1988; Seltzer, 1992. Según ellos, el solo derretimiento de los glaciares, no sería suficiente para la creación de los inmensos lagos Minchin y Tauca (63 000 y 43 000 km<sup>2</sup>, respectivamente, según Hastenrath & Kutzbach 1985). Su afirmación se basa en un cálculo aproximado del volumen de hielos, y consecuentemente de las aguas, almacenado en los glaciares durante el máximo avance glaciar. El aporte mayor de agua se debería a una fase climática húmeda que ocasionó un aumento de las precipitaciones del orden del 30%, superior a los valores actuales.

Las reconstrucciones propuestas se apoyan en datos que provienen de medios diferentes: el lago Titicaca, los salares de las cuencas del sur, los valles de la cordillera, las llanuras de Santa Cruz.

## EL ALTIPLANO

### Cuenca del lago Titicaca

El lago Titicaca ha proporcionado un registro bastante completo de los aproximadamente 25 000 años BP. La muestra TD1, de 4,50 m de longitud, fue extraída de 19 m bajo agua en el lago Huiñaymarca. La sedimentología (Wirrmann & Oliveira Almeida, 1987), la palinología (Ybert, 1992) así como el estudio de los ostrácodos (Mourguart & Roux, 1990; Mourguart et al., 1992) permitieron la reconstrucción de la paleohidrología de esta cuenca lacustre

Las diferentes facies sedimentarias en el lago Titicaca se reparten en función de la dinámica litoral, de la actividad biológica y de la altura del agua (Wirrmann & Rodrigo, 1992). Los pólenes y las esporas tienen una distribución que también depende de la batimetría pero también de la temperatura atmosférica, o más exactamente de la altura. (Ybert, 1992). La repartición de los ostrácodos, organismos esencialmente béticos, dependen en el lago Titicaca, de la naturaleza del substrato, de la repartición de los macrófitos, de la energía, del tenor del oxígeno disuelto de la interfase agua-sedimento, etc., términos estrechamente correlacionados a la profundidad de agua (Mourguart & Carbonel, 1994). Si bien los estudios sedimentológicos, palinológicos permitieron reconstruir cualitativamente incluso semi- cuantitativamente las variaciones de los niveles del lago Titicaca y de la temperatura atmosférica desde hace 25 000 años BP (Wirrmann et al., 1992; Ybert, 1992), los ostrácodos sirvieron para una reconstrucción cuantitativa de las condiciones paleohidrológicas (Mourguart & Roux, 1990; Mourguart et al., 1992; Mourguart & Carbonel, 1994)

En el borde del Titicaca, terrazas encajonadas, indican la existencia de niveles de lago elevados antiguos. Dos de estos niveles lacustres en el sur del lago Huiñaimarca fueron fechados por el método radiocarbono, también se utilizaron datos históricos, para completar la información sobre la variación de los niveles lacustres.

### Las cuencas del sur

Los registros sedimentarios de las cuencas del sur proporcionaron información radicalmente diferentes, seguramente por su carácter discontinuo. Los depósitos estudiados que se reparten en el perímetro de las 3 cuencas principales (Poopo, Coipasa y Uyuni), esencialmente se presentan en forma de sedimentos carbonatados (costras microcristalinas induradas, biohermas vegetales llamados estromatolitos, horizontes ricos en Characeae, en moluscos, etc.), arcillosos o limosos (diatomitas, niveles limosos a arenosos). Un número importante de fechados fue obtenido en los depósitos calcáreos en función de su posición altitudinal, dando así una idea de la evolución batimétrica de los planos de agua.

## VALLES ANDINOS

En los valles andinos se conservaron las huellas de las glaciaciones anteriores y de los diferentes tipos de escurrimiento que se sucedieron a través del tiempo. Fechados carbono 14 permitieron precisar la edad de los acontecimientos. Así, en los casos más favorables, edades máximas y mínimas permiten enmarcar la edad en que se depositó una morrena frontal correspondiente al máximo avance de un glaciar o de un episodio de sedimentación detrítica espesa, correspondiente a un interglaciar. Aquellos valles que no fueron ocupados por glaciares evolucionaron bajo un ambiente fluvial marcado por una sedimentación de material de gravas,

arenas, limos, arcillas y turbas que reflejan condiciones hidrológicas cambiantes favorables a la erosión y acumulación.

## AMAZONIA

En los llanos de la región de Santa Cruz se observa una sedimentación compleja durante el Holoceno, marcado por la presencia de gravas, arenas eólicas y limos, en estos depósitos existen restos de carbón vegetal, que fueron fechados en aproximadamente 7000 años, lo que indica una degradación de la vegetación en esta época, la presencia de carbón vegetal no puede ser atribuida solamente a la actividad antrópica, sino a un fenómeno natural, donde las condiciones climáticas eran mucho más secas que en la actualidad.

Con posterioridad a los 2000 años la vegetación actual fosiliza grandes depósitos de arenas eólicas, lo que nos indica condiciones climáticas más húmedas.

Por el momento la información que se dispone es bastante fragmentaria como para permitir proyecciones concluyentes, de cualquier manera existe una tendencia a situaciones de hace 7000 años. Sin embargo la disminución de las precipitaciones bien podrían obedecer a mecanismos naturales y no al efecto invernadero.

## RESULTADOS

**EL LAGO TITICACA.** Los resultados obtenidos a partir del análisis de los pólenes/esporas y de los ostrácodos de la muestra TD1 proporcionaron dos tipos de información, y corresponden a las estimaciones relativas a la temperatura y a la altura de agua en el momento del depósito del sedimento. La repartición de las algas a lo largo de la muestra (Ybert, 1988, 1992) pone en evidencia tres fases de altos niveles del lago: antes de 21 000 años BP, alrededor de 13 180 años BP y posterior a 4165 años BP. La más antigua es correlacionado con la fase final del episodio Minchin (Mourguart et al., 1997, 1995b). Los dos eventos lacustres más recientes corresponden a la fase Tauca y a la situación actual.

Sobre el evento Minchin, terrazas lacustres situados a una altura de 3860 m. O sea 51 m por encima del nivel actual del lago Titicaca, se encuentra sedimentos carbonatados y de diatomitas que encierran conchillas de moluscos y ostrácodos y muchos restos de characeae. Los fechados carbono 14 permitieron obtener tres edades: dos sobre la terraza Catari: 28 230 años BP y 24 040 años BP y uno sobre la terraza Tihuanaku: 30 510 años BP.

El Holoceno es conocido con bastante precisión. Un nivel de lago muy bajo a sido registrado por la presencia de un depósito de yeso. A demás una función de trasferencia ostrácodos /batimetría ha permitido reconstruir las variaciones de los diferentes planos de agua (Mourguart et al., 1995 a y b). La época sub actual (últimos 1000 años) no ha podido ser conservado en las diferentes campañas de muestreo. Sin embargo un alto nivel del lago Titicaca en los siglos XVI al XVIII, han sido registrados en documentos históricos (Ramon Gavilan, 1976, citado por Wirrmann, 1988).

**LAS CUENCAS DEL SUR.** Los datos obtenidos por Bills et al., 1994 y nuestras observaciones, sugieren que el último gran episodio lacustre corresponde al lago Tauca. Los sedimentos correspondientes al lago Minchin, probablemente fueron retrabajadas por las aguas del lago Tauca.

En la figura aparece la relación edad /altura. Las edades fueron establecidas a partir de organismos fosilizados y de depósitos carbonatados (moluscos, biohermas vegetales y costras microcristalinas). Las edades son consideradas como edades máximas, sin considerar el efecto reservorio. No obstante, debe observarse que al nivel del lago Titicaca existe una diferencia del orden de 4 siglos entre las edades obtenidas en carbonatos y las de materia orgánica (Curtis et al., 1993).

A partir de numerosas edades obtenidas, es posible reconstruir la evolución de los niveles del lago Tauca. Sin embargo, la curva deducida representa un mínimo, ya que los depósitos y organismos carbonatados se depositaron forzosamente en alturas de agua variables. Con excepción de las edades que datan de una línea de costa (Bills et al., 1994; figura 1) y las obtenidas a partir de costras microcristalinas induradas (Servant et al., 1995; edades < a 11 500 años BP de la figura 1), la mayoría de las dataciones carbono 14 fue obtenida en macrófitos (characeae o biohermas indiferenciados). En el sistema hidrológico actual del Altiplano, la extensión de la zona eufótica, que evidentemente depende de la transparencia de las aguas, varía de norte a sur: hasta 15 – 17 m en el lago Chucuito, hasta 7,5 – 8 m en el lago Huiñaimarca y 3 – 3,5 m en el lago Poopo (Collot et al., 1983; Iltis & Mourguart, 1992). Por consiguiente, es posible considerar como máximo la profundidad de 15 – 17 m como susceptibles de ser colonizadas por vegetales fijados.

La evolución de la fase lacustre Tauca obedece a un acontecimiento húmedo que se extiende desde 14 a 10 500 años BP. En el transcurso de este acontecimiento húmedo, se produjeron oscilaciones de gran magnitud, en términos de balance hídrico.

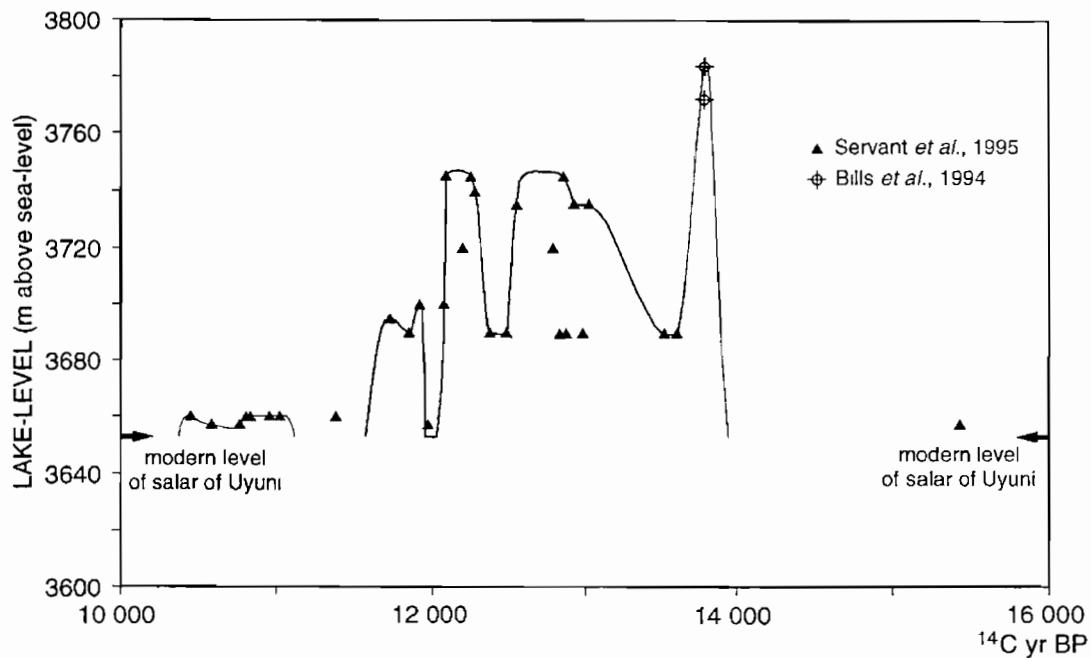


Fig. 1: Fluctuaciones del lago Tauca, en el Altiplano Sur

VALLES ANDINOS. Los acontecimientos glaciares de fines del Cuaternario están bien conservados en la morfología de los valles andinos por la presencia de numerosos grupos de morrenas. La cronología de estos depósitos fue establecida por fechados radio-carbónicos en material orgánico "turbas", figura 2.

- Un primer grupo de morrenas llamadas M1a se sitúa aproximadamente a 20 km de los glaciares actuales. La posición cronológica de este conjunto es imprecisa pero parece posterior a 23 000 años BP (Argollo & Mourguart, 1995)
- Un segundo complejo llamado M1b, situado aproximadamente 2 – 3 km río arriba de la morrena M1a, está fechada de 14 300 años BP. En ciertos valles, el avance glacial que corresponde a esta fase M1b retrabó de nuevo los depósitos anteriores, lo que demuestra la gran amplitud de este acontecimiento. A este episodio se le considera como el Ultimo Máximo Glacial para Bolivia ( Gouze et al., 1986; Argollo et al., 1987; Clapperton, 1993; Seltzer, 1994).
- Otro grupo de morrenas llamado M2, presente en la mayoría de los valles, se sitúa a 7 – 8 km del anterior es decir a aproximadamente 10 km río debajo de los glaciares actuales. La posición cronológica de esta morrena no es conocida.
- Las morrenas llamadas M3 están situadas cerca de las anteriores (2 – 3 km río arriba) y son fechados anteriores a 10 500 – 10 000 años BP. Existen fuertes conjeturas para decir que este acontecimiento, también localizado en los Andes del Perú, es sincrónico del Youger Dryas (Clapperton, 1993; Francou et al., 1997).
- Un último paquete de morrenas está presente a solamente 0,5 – 1 km de los glaciares actuales. Corresponde al período llamado Pequeña Edad del Hielo, periodo que data de los siglos XVI al XVIII (Thompson et al., 1986).

Por otra parte, el estudio de los depósitos aluviales que se sitúan río debajo de las secuencias morrénicas, muestra que las precipitaciones evolucionaron durante los últimos 30 milenios, entre un régimen torrencial favorable a la erosión y un régimen más favorables a la acumulación de sedimentos finos en el fondo de los valles. Así, fueron identificados 3 fases de erosión generalizada fechados en 17 000 – 13 500 años BP; de 7500 – 6000 años BP y posterior a 1500 años BP.

AMAZONIA. La Amazonía durante el último máximo glaciar llegó a tener importantes modificaciones biogeográficas y paisajísticas asociados al Cambio Global. Los datos de Amazonía muestran escasa información relacionada al Ultimo-Máximo Glacial, lo cual podría relacionarse con el hecho de que en los Andes centrales y septentrionales el máximo avance glacial comenzó cerca de los 34 000 culminando a los 27 000 años BP (Mercer & Palacios, 1977; Van der Hammen et al., 1981; Clapperton, 1990). Esto ocurrió probablemente en respuesta a una humedad creciente y al enfriamiento atmosférico que habría producido el avance glacial en bajas latitudes previo al Ultimo Máximo Glacial.

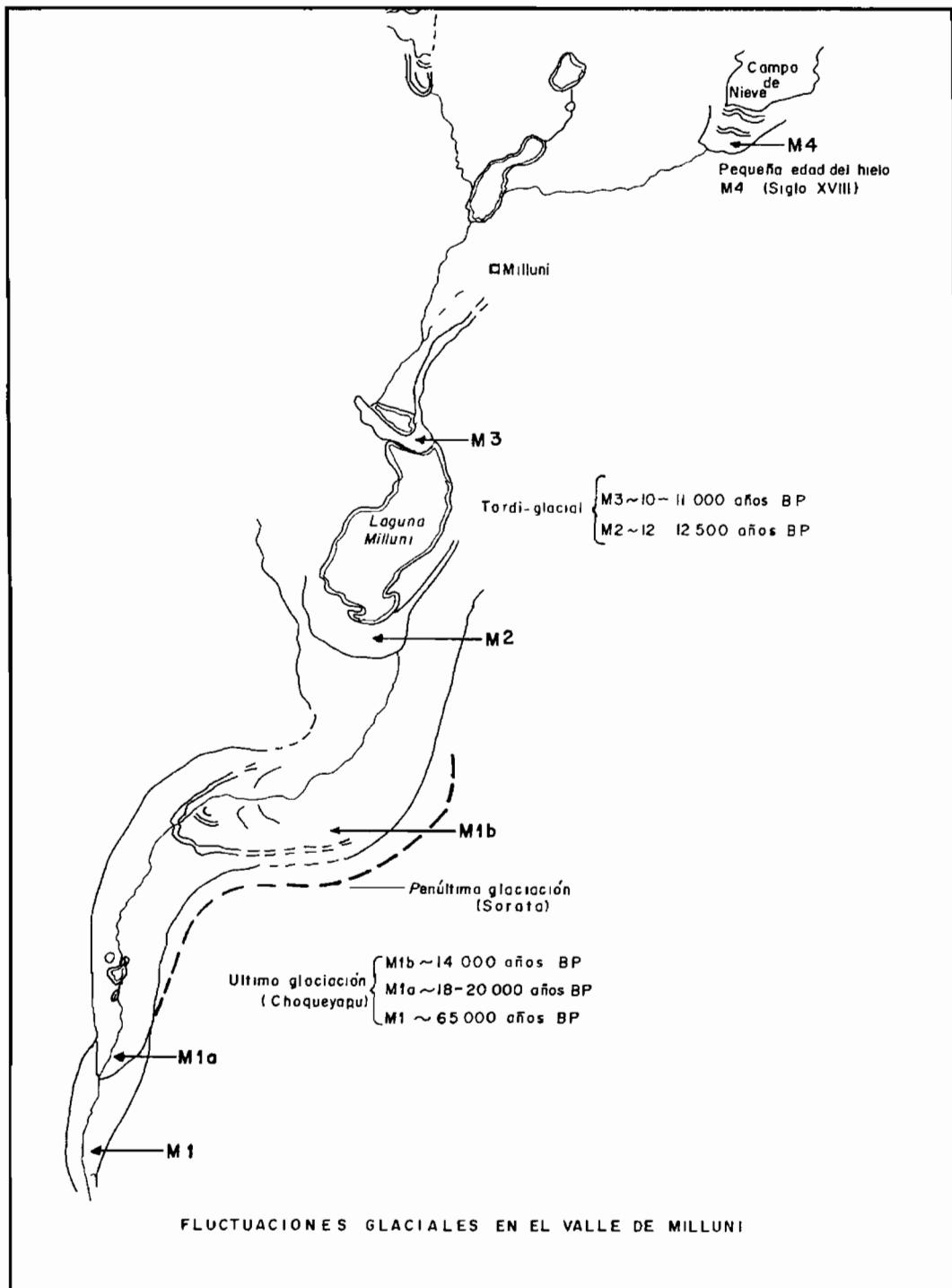


Fig. 2. Fluctuaciones Glaciares en el valle Milluni: los años BP corresponden a edades obtenidos en otros valles de la Cordillera Oriental

La presencia de terrazas formadas por arenas y gravas, llevó a los diferentes autores a la conclusión de que la producción de sedimentos estuvo asociada a fuertes lluvias producidas en los Andes al tiempo en que los glaciares se encontraban en expansión. Igualmente la gran profundidad que posee el río Amazonas se debería al encajonamiento del canal ante el nivel de base bajo que representaba el mar en tiempos del Máximo Glacial, de esta manera se puede comprender la ausencia hasta ahora de información sedimentológica y geomorfológica en las fajas fluviales durante el Último Máximo Glacial, entre 24 000 y 14 000 años BP.

La Amazonía durante el Holoceno, sufrió el efecto de las oscilaciones climáticas que impactaron la dinámica geomorfológica, pero con una intensidad inferior a aquellos ocurridos durante algunos momentos del Pleistoceno superior. El Holoceno Inferior – Medio marcado por una sedimentación en fajas fluviales, asociado a dos procesos: Condiciones generales de menos precipitación en la cuenca durante el Holoceno inferior (Hypsitermal) y transgresión del Holoceno Medio que marca desde el Pleistoceno tardío un nivel de base general en ascenso (Latrubesse & Franzinelli, 1995). Este periodo de relativa aridez durante el Holoceno Medio podría estar relacionado con condiciones tipo El Niño, frecuentes antes de 4000 años BP (Martín et al., 1993). Un nuevo quiebre en la sedimentación habría ocurrido entre 4000 a 1000 – 1500 años con una nueva sedimentación en las fajas.

En los llanos de Santa Cruz se registra condiciones muy áridas durante el Holoceno y recién en los últimos 1500 años se instalan condiciones similares a las situaciones actuales.

## CONCLUSIONES

La evolución paleoclimática y paleohidrológica del Altiplano como de la Amazonía, indica que en el pasado hubieron cambios muy importantes, que marcan Cambios Globales, particularmente durante los últimos 30 000 años BP. Estos cambios pueden ser resumidos de la siguiente manera:

- > a 24 000 años BP, nivel alto del lago (presencia de sedimentos lacustres con conchillas de moluscos).
- De 24 000 a 18 000 años BP, desecamiento progresivo del lago Huiñaimarca; este acontecimiento correspondería al final de la fase Minchin.
- De 18 000 a 15 000 años BP, ninguna información disponible, ni en el norte, ni en el sur del Altiplano, fase climática seca. Durante 24 000 y 14 000 años BP la aridez alcanzó su clímax en la Amazonía.
- De 14 000 (o 14 500 años BP) a 10 500 años BP, fase lacustre Tauca y avances glaciares (morrenas M1b, M2, M3);
- De 10 500 a 8000 años BP, nuevo desecamiento del lago Huiñaimarca acompañado de un retrocesos rápido de los glaciares. Entre 14 000 y 8000 años BP se registra una paulatina recuperación de la selva y sedimentación en las fajas fluviales.
- De 8000 a 3900 años BP, paulatino mejoramiento de los balances en agua del lago Huiñaimarca; en la Amazonía, durante el Holoceno medio se registra condiciones climáticas más secas que el actual, probablemente relacionado a una mayor frecuencia de fenómenos tipo El Niño que produce temporadas secas prolongadas en amazonía (Martín et al., 1993);
- De 3900 años BP a ¿, ascenso sensible de los niveles del lago Huiñaimarca, sin embargo con fases secas breves pero importantes;

- De 2 a 0 años BP, la Pequeña Edad del Hielo (morrena M4) y el periodo actual están marcados por una evolución sincrónica de los lagos y los glaciares.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argollo J., Mourguiart P., 1995. Paleohidrología de los últimos 25 000 años en los Andes de Bolivia. *Bull. Inst. fr. études andines*, 24 (3): 551-562.
- Argollo J. & Mourguiart P. 1995. Los climas Cuaternarios de Bolivia. In *Climas Cuaternarios de América del sur* (J. Argollo, P. Mourguiart, eds), 135-155, La Paz, Bolivia.
- Argollo J., Gouze Ph., Saliege J. F. & Servant M. 1987. Fluctuations des glaciers de Bolivie au Quaternaire récent, *Geodinamique*, 2 (2), 103-104.
- Bills B. G., de Silva S.L., Currey D.R., Emerger R.S., Lillquist K.D., Donnellan A. & Worden B. 1994. Hidro – isostatic deflación and tectonic tilting in the central Andes: Initial results of a GPS survey of lake Minchin shorelines. *Geophysical Research letters*, 21 (4): 293-296.
- Clapperton C.M. 1993. Glacier readvance in the Andes at 12 500-10 000 yr BP: implications for mechanism of late-glacial climatic change. *Journal of Quaternary Science*, 8 (3), 197-215.
- Clapperton C.M. 1990. Quaternary glaciations in the southern Hemisphere: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 9, 299-304
- Collot D., Koriyama F. & Garcia E. 1983. repartitions, biomasses et productions des macrophytes du lac Titicaca, *Rev. hydrobiol. Trop.*, 16 (3), 241-262.
- Curtis J.H., Hodell D. A., Brenner M. & Binford M.W. 1993. Little Ice Age Recorded in sediments from lake Titicaca, Bolivia. In *Eos*, fall meeting: 118-119.
- Francou B., Mourguiart P. & Fournier M. 1995. Phase d'avancée des glaciers au Dryas recent dans les Andes du Perou. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Paris*, 320, serie IIa: 593-599.
- Gouze Ph., Argollo J., Saliege J.F. & Servant M. 1986. Interpretation paleoclimatique des oscillations des glaciers au cours des 20 derniers millénaires dans les régions tropicales; exemple des Andes boliviennes. *CR Acad. Sc. Paris*, serie II, 303 (3), 219-224.
- Hastenrath S. & Kutzbach J. 1985. Late Pleistocene climate and water budget at the South American Altiplano. *Quaternary Research*, 24: 249-256.
- Iltis A. & Mourguiart P. 1992. Higher plats: Distribution and biomass. In *lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge* (C. Dejoux & A. Iltis eds): 241-252, Mongr. Biol., 68 Kluwer Academic Publishers.
- Kessler A. 1988. Die Schwankungen des Wasserhaustaltes des sudamerikanischen Altiplano und des Weltklima. *Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft zu Hannover*: 139-159.
- Latrubesse E.M. & Franzinelli E. 1995. Cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno. In *Climas Cuaternarios de América del Sur* ( J. Argollo & P. Mourguiart eds): 77-93, La Paz, Bolivia.
- Martín L., Absy M.L., Flexor J.M., Fournier M., Mourguiart Ph., Sifeddine A. & Turq B. 1993. Southern oscillation signal in south American Paleoclimatic data of the last 7000 years. *Quaternary research* 39: 338-346
- Mercer J. H. & Palacios O. 1977. Radiocarbon dating of the last glaciation in Peru *Geology*, 5: 600-604.
- Mourguiart P. & Carbonel P. 1994. A quantitative method of palaeolake – level reconstructions using ostracod assemblages: an example from the Bolivian Altiplano. *Hydrobiologie*, 288: 183-193.
- Mourguiart P. Roux M. 1990. Une approche nouvelle du problème posé par les reconstructions des paleoniveaux lacustres: utilisation d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes. *Geodynamique*, 5(2): 151-165.

- Mourguart P., Wirrmann D., Fournier M. & Servant M. 1992 Reconstructions quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocene. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Paris, serie II*, 315: 875-880.
- Mourguart P., Argollo J., Corrège T., Martin L., Montenegro M.E., Sefeddin A. et Wirrmann D. 1997. Changements limnologiques et climatologiques dans le basin du lac Titicaca (Bolivie), depuis 30 000 ans. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 325, 139-146.
- Rodrigo L. A. & Wirrmann D. 1992. General aspects of present day sedimentation. In: *lake Titicaca. A synthesis of limnological Knowledge* (c. Dejoux & A. Iltis eds): 23-28, monogr.boil., 68, Kluver Academic Publishers.
- Seltzer G. O. 1994 A lacustrine record of late Pleistocene climatic change in the subtropical Andes. *Boreas*, 23, 103-111.
- Servant M. , Fournier M., Argollo J., Servant-Vildary S., Syvestre F., Wirrmann D. & 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*.
- Servant M. & Fontes J.C. 1978. Les lacs quaternaires de hauts plateaux des Andes boliviennes; premiers interpretations paleoclimatiques. *Cahiers ORSTOM, serie Geologie*, 10(1): 9-23.
- Servant M. & Fontes J.C. 1984. Les basses terrasses fluviatiles du quaternaire recent des Andes boliviennes. Datations par le  $c14$ . Interpretation paleoclimatique. *Cahiers ORSTOM, serie Geologie*, 1(1): 15-28.
- Thompson L.G., Mosley-Tompson E.P., Dansgaard W. & Grootes P.M. 1986. The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the Quelcaya ice cap. *Science*, 234: 361-364.
- Wirrmann D. & Mourguart P. 1995. Late Quaternary spatio-temporal limnological variations in the Altiplano of Bolivia and Peru. *Quaternary Research*, 43: 344-354.
- Wirrmann D. & de Oliveira Almeida L. F. 1987 Low Holocene level (7 700 to 3650 years ago) of lake Titicaca (Bolivia) *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 59: 315-323.
- Ybert J.P. 1992. Ancient lake environments as deduced from pollen analysis. In *lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge* (C. Dejoux & A. Iltis eds): 49-60, Monogr. Boil., 68, kluwer Academic Publishers.

## EL NIÑO, LA OSCILACIÓN DEL SUR - ENOS - Y SU CONTRAPARTE LA NIÑA

Freddy M. Alvarez Rodríguez

ENOS ó el Niño del Sur, describe a una compleja perturbación océano-atmosférica, que estalla con la formación de una contracorriente marina ecuatorial cálida, que circula de norte a sur en el litoral peruano y que desplaza a la corriente fría de Humboldt o Corriente del Perú, que fluye aproximadamente entre Tacna y el límite con el Ecuador.

Se adjudica a los pescadores costeros, el nombre de El Niño para la contracorriente, en referencia al Niño-Dios y a su aparición anual, a principios de la temporada navideña.

Se denomina Oscilación del Sur, Oscilación Austral, u Oscilación Meridional; a los cambios de presión atmosférica, asociados a la corriente de El Niño, que producen súbitamente un cambio de dirección de los vientos alisios ecuatoriales, que debido al fenómeno, soplan de occidente a oriente.

En el océano Pacífico, los vientos alisios, soplan normalmente a lo largo de la línea ecuatorial, es decir, de este a oeste, así, los vientos y las corrientes almacenan grandes masas de agua contra las costas sudorientales del Asia, entre los Océanos Índico y Pacífico, en ese sector, la elevación del mar es medio metro mayor que en las costas de Sudamérica, allí también existe una gruesa capa de agua caliente.

Por lo general, la presión atmosférica es mayor en la porción central del Océano Pacífico y es menor, entre el Océano Índico y Australia. La diferencia de las presiones atmosféricas entre ambas regiones y su intercambio o alternancia, producen de pronto, una disminución en la fuerza de los vientos alisios, hecho que, produce el cambio en su dirección y el reflujo de la corriente ecuatorial cálida, hacia las costas peruanas.

Las interacciones océano-atmósfera, a pesar de todos los estudios realizados, siguen siendo un misterio para la humanidad; no existen dos "Niños" iguales, debido a que producen importantes consecuencias para la pesca en el Océano Pacífico y en la hidrología de Sudamérica. Como ejemplo, se citan los estragos producidos por el fenómeno entre 1972/73 y 1982/83, que dieron inicio a los estudios del Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA), que, a partir de 1985, realiza investigaciones relativas al tema, en los Océanos Pacífico, Índico y Atlántico.

Además, la presencia de El Niño en el litoral peruano, fuera de ser un episodio regional, acarrea un importante cambio global en la atmósfera de la tierra, porque rompe el equilibrio ecológico en el planeta, e inicia una serie de cambios climatológicos, que azotan con mayor o menor intensidad a diversas y diferentes regiones del mundo, en ciclos de siete años según algunos estudiosos y de cuatro a cinco, según otros, o de variantes menos destructivas y caprichosas, que tienen lugar, dentro del período comprendido entre dos perturbaciones mayores y cuya extensión, duración e intensidad, puede variar entre dieciocho meses a dos años.

Cuando El Niño se presenta en el litoral peruano, acompañado seguidamente de la Oscilación Meridional, produce un complejo conjunto de interacciones entre la atmósfera, el océano, los grandes glaciares, las banquises, la biosfera oceánica y la continental, que determinan un cambio del clima, mediante intercambios físicos, químicos y biológicos y por tanto, un cambio y variaciones en el balance energético Tierra - atmósfera, que altera el Ciclo Hidrológico.

De otro lado, la variación de la presión atmosférica y su cambio ó alternancia, se debe principalmente a la interacción océano atmósfera, a partir de la circulación Oceánica, que está gobernada por la Termodinámica y por la Mecánica de Fluidos, debido a que los océanos y la biomasa terrestre, son los reservorios de gas carbónico, aunque finalmente, los océanos son los reguladores naturales de la concentración de gas carbónico en la atmósfera.

Se conoce que, en la aguas profundas o mas "viejas" del océano Pacífico, es el gas carbónico, el que ejerce la máxima presión parcial entre los gases disueltos, puesto que, las corrientes oceánicas frías absorben el gas carbónico de la atmósfera. El vapor del agua y el dióxido de carbono, son gases que producen el Efecto Invernadero, por tanto, la contracorriente ecuatorial cálida, libera por evaporación, grandes cantidades de vapor de agua y se desgasifica y bombea gas carbónico a la atmósfera.

El incremento de gas carbónico y del vapor de agua en la atmósfera, perturba el clima, por tanto, modifica la temperatura y la circulación de los Océanos.

La alteración del balance energético del sistema Tierra - atmósfera, varía el Ciclo Hidrológico y este cambia la distribución de la pluviosidad, la duración e intensidad de las precipitaciones, la evotranspiración y la escorrentía.

Como toda causa tiene un efecto, y es un principio natural, antes que una ley física - el denominado Principio de Acción y Reacción; alternándose con El Niño, se produce otra anomalía oceánica -en la porción oriental del océano Pacífico- que se caracteriza por una baja drástica de la temperatura superficial del agua y que se conoce ahora como el nuevo fenómeno marino de La Niña, pero que es tan viejo como El Niño.

Esta gran variedad de procesos, cambios y fluctuaciones, finalmente; conducen a la búsqueda natural de la capacidad de autoregulación o de homeostasis del sistema climático, que transcurre según las regiones, ya sea, con el incremento o decremento de la temperatura, lluvias, lluvias torrenciales, precipitaciones generalizadas o precipitaciones convectivas, nevadas, granizo, heladas, brumas y neblina; deshielos, vientos, vientos huracanados, huracanes, ciclones, tornados, tifones, oleaje fuerte, maretazos, tsunamis, riadas, inundaciones, avalanchas, mazamorras, represamientos de agua, o sequías, sequías intensas, incendios forestales y como corolario; la aparición de pestes, plagas, enfermedades y muerte.

Al parecer, esta búsqueda del equilibrio, (sin querer caer en la tentación de apoyar a las teorías catastrofistas del fin del mundo), nos llevan a sostener que, la naturaleza parece realizar un experimento - a microescala y en tiempo acelerado - el del Efecto Invernadero - que tiene en zozobra a la humanidad.

En la actualidad se desconoce aún, cuál es la relación de los fenómenos El Niño y La Niña, con los movimientos telúricos, erupciones volcánicas y otras catástrofes, que parecen escoltar a dichos procesos.

Una mirada retrospectiva en el tiempo sin embargo, nos demostrará, ¿qué sucesos importantes ocurrieron o acompañaron a la presencia del fenómeno también llamado Corriente del Océano Libre, u Oscilación Meridional?, cada vez que, la naturaleza lo presentó en escala reducida y en tiempo veloz.

Entre tanto, geólogos de la Universidad de Massachusetts, hallaron vestigios en Nueva Inglaterra - en la costa noroeste de norteamérica- de huellas debidas al fenómeno de "El Niño", que se producía ya hacen 17.500 años, según explicaron en la revista Science.

Las conclusiones del estudio de sedimentos lacustres, que se tomaron en el lago glacial "Pallcacocha" en los Andes ecuatorianos y que también se publicaron en la revista Science, le

adjudicaban 15.000 años para su inicio, habiéndose tornado más frecuente desde hace 5.000 años.

A la luz de los acontecimientos, y debido a excavaciones realizadas en la ciudad de Ur en Mesopotamia, el arqueólogo inglés Wolley, halló una capa de arcilla de unos dos metros y medio de espesor que, demuestran que, alrededor del año 4.000 antes de Cristo hubo una inmensa inundación; en pocas palabras, se produjo el Diluvio Universal.

Sin ir más lejos, en el libro El Litoral Peruano de Erwin Schweigger, se relata que, durante un período de bonanza climática que abarcó desde el 6500 al 750 antes de Cristo, se habría depositado el primer grano fósil en el Morro de Mejillones, es decir, alrededor de 3.200 años antes de C.

En el mar Mediterráneo quedan restos de la isla de Thera cubiertos por una capa de treinta metros de ceniza, después de una explosión volcánica, hace 3.500 años.

Desde la aparición de Adán sobre la faz de la tierra, han transcurrido miles de años y la humanidad tiene referencias de hechos tales como: Siete años de hambruna en Egipto en tiempos de José, las diez plagas de Egipto también en tiempos de Moisés y en tiempos de Elías y Jeremías se produjeron sequías, en el relato de Joél hubo devastaciones de la tierra por una plaga de langostas, (todas ellas referidas en el Antiguo Testamento) y alrededor de 1.400 años antes de Cristo, la ciudad de Troya fue destruida por un terremoto.

Una gran variedad de hechos inexplicables, han empezado a obtener respuesta de su presencia, gracias a estudios de sedimentología y de paleoclimatología, que empiezan a desarrollarse en el mundo.

Investigaciones realizadas en la árida y desolada extensión costera de 4.000 kilómetros de longitud - donde no llueve nunca - y que se extiende desde el sur de Tumbes hasta Coquimbo, muestran por el hallazgo de sedimentos, arcilla y limo, en excavaciones realizadas por los arqueólogos S. Uceda y S. Bourget, en el Complejo Moche, que en la costa peruana, el fenómeno de El Niño se producía ya en el año 1.500 a. de C.

Las culturas preincaicas Mochica y Chimú, según V. Von Hagen, tuvieron una continuada historia arqueológica, que empezó hacia el siglo III a. de C. y siguió, con un paréntesis entre los años 1.000 - 1.250 de nuestra era hasta el año 1.461, año en que fueron sometidos por una invasión inca en toda regla.

La escasez de restos textiles de la cultura Mochica, solo tiene una explicación, debida a W. J. Conklin, Síndico del Textile Museum of Washington, sobre la posibilidad que, se hayan producido grandes inundaciones, en el período transcurrido entre ambas culturas. En efecto, El Niño que se produjo en el siglo VII de nuestra era, literalmente, destruyó a la cultura Mochica.

Al referirse a los Mayas; Henri Lehmann describe a la tercera fase del Antiguo Imperio Maya, que abarcó entre el año 731 al 987 d. de C., como del apogeo de grandes centros, tales como, Palenque, Yuxchilán y Piedras Negras.

En el año 987, sin embargo, sin ninguna explicación lógica, se derrumbó completamente el Antiguo Imperio Maya, al respecto se han vertido innumerables hipótesis; de ellas, la más verosímil, es aquella que postula el agotamiento de los suelos.

Con relación a la desaparición del Antiguo Imperio Maya, Victor Von Hagen en su libro Culturas Preincaicas, opina que, hacia el año 1.000 de nuestra era, parece que existieron fuertes movimientos

migratorios por toda América. No se sabe si la causa fue climatológica, sin embargo, en las tierras altas mejicanas, hubo una prolongada sequía en el año 900 a de C. y la gran ciudad de Teotihuacán empezó a destruirse.

Como veremos mas adelante, los estudios que se realizan para determinar las causas de la desaparición de una de las primeras colonias de emigrantes ingleses a suelo norteamericano en 1587, indican que, se debió a graves sequías que afectaron a la región de Carolina de Norte durante ochocientos años, (aproximadamente entre los años 800 a 1.600 de nuestra era).

Otra extraña desaparición involucra a la cultura, Tiwanacu, Carlos Ponce Sanjines explica que, es extraño que hacia el siglo XIII de nuestra era, ese imperio se desplomara de súbito y Tiwanacu quedará sumido en el ocaso, por causas todavía no elucidadas, descartándose la hipótesis de un cataclismo porque no hay ninguna huella del mismo.

Hasta donde se conoce y por investigaciones que se realizan en el Perú, a partir del descubrimiento de la tumba del Señor de Sipán, en 1988, cada vez y con mayor frecuencia se hallan rastros acerca del fenómeno de El Niño y sus consecuencias.

Esas investigaciones han permitido establecer que las culturas preincaicas, practicaban crueles sacrificios humanos, buscando restablecer el orden perdido debido a la presencia del fenómeno y que entre los años 400 a 650 a. de C., se produjeron tres catastróficos eventos, a los que se sumó, otro tan destructivo como los tres anteriores, en el año 1.100 de nuestra era, que pudo ser aquél que, produjo la desaparición de la cultura Tiwanacu.

Casi no existen referencias del fenómeno durante el período incásico, aunque, se sabe que los incas, aplicaron y mejoraron ancestrales tecnologías de los Chimús para la construcción de grandes depósitos o "Collcas" y que regionalizaron el almacenamiento de bienes, en previsión de desastres naturales, tal cual grafica, Felipe Guamán Poma de Ayala, en su obra Nueva Crónica y Buen Gobierno, enviada al rey Felipe III, probablemente en 1615.

La dominación española se inició en 1532 y no es, sino hasta 1891, que el arqueólogo peruano Rogger Ravines, considera que, el fenómeno de El Niño fué precisado.

El cronista español Fernández de Montesinos, en su obra Anales del Perú, impresa en 1642, refiere los sucesos culminantes, acontecidos en el nuevo Reyno entre los años 1498 a 1642, en ella, se relata que, cerca de la Navidad de 1530, el conquistador Francisco Pizarro, demoró la invasión a Tumbes, a causa de los grandes aguaceros, que se producían en dichos parajes, Pizarro que estaba enterado, que en esos áridos confines no llovía, no percibió aquello y así retrasó su ataque a dicha población.

En el año de 1547, hubieron grandes terremotos en toda la sierra central del Perú, en Cajamarquilla - Chachapoyas, desapareció el pueblo de Buenhumarca.

El distrito de Huamanga, soportó en 1565, una fuerte hambruna, al extremo de haberse tasado la fanega de trigo en tres pesos

A 13 leguas del Cusco, en 1568, en el mes de marzo y durante el invierno, el río Bermejo se llevó un puente construido de cal y canto.

El Cabildo reunido el 18 de abril de 1582 en Huamanga, decidió dar solemnidad en este lado del mundo, a la fiesta del Corpus Cristi, debido a la sequía que devastó esa población a principios de año; nuevamente, en 1584 el distrito de Huamanga sufrió heladas y sequía.

Por noticias que se propalaron en el Reino del Perú, se conoce que en 1590, desde México se propagó una epidemia de sarampión y viruela, que atacó a buena parte del mundo; en México, Perú

y Chile, murieron una incalculable cantidad de indios y criollos.

Los ríos Cauca y Magdalena, estuvieron a punto de borrar del mapa en 1596, a la Villa de Mompox, después de un período de intensas lluvias, que cayeron sin cesar.

En el año 1600, el "Cerro del Volcán" (El Misti) en Arequipa, asoló la ciudad, llovió ceniza durante cuarenta días; por efecto de la erupción, la ceniza llegó hasta Acapulco en Nueva España, también en 1604 despertó y produjo otra erupción, el volcán Ubinas en Arequipa.

En el año 1605, en lo que posteriormente se llamó Alto Perú y específicamente en las provincias de Carangas y Charcas, nevó durante nueve días seguidos, la nieve alcanzó el alto de una lanza y tardó sesenta días en derretirse.

El día de San Crispín (25 de septiembre) de 1606, en Lima, se produjo un fuerte temblor, seguido de varias réplicas.

Durante 1619, en la costa del mar del sur, que corresponde a la ciudad de Santa Bárbara de los Barbacoas, (Colombia), a causa de un violento terremoto, desaparecieron unas islas con cerca de diez mil pobladores. También el 14 de febrero de 1618 ó 1619, se desató un terremoto, que destruyó Trujillo y que se sintió en todos los pueblos y ciudades costeras del Perú.

Las provincias de Cajamarca y Huamachuco, en 1624, padecieron de hambruna, heladas, vientos y sequía, al extremo de vender en ocho pesos la fanega de maíz o trigo.

En 1625, se produjo en Potosí una inundación, debida al desborde de la laguna Caricari, ocasionando la muerte de trescientas personas, además de la pérdida de plata y azogue.

Finalmente, al oriente de Pasto, en Ecixa de los Sucumbios, el 16 de septiembre de 1632, se produjo uno de los más descomunales huracanes.

También, existen referencias debidas al jesuita Bernabé Cobo, en su Historia del Nuevo Mundo; de procesos acaecidos en 1541 que formaron arroyos de agua en las calles de Lima, de 1578 en que llovió en los valles del Obispado de Trujillo y en 1614, que durante la cuaresma, se desató un gran aguacero en Chancay.

La desaparición de ciento veinte hombres, mujeres y niños, que componían la Colonia Perdida de inmigrantes ingleses a Carolina del Norte - Roanoke Islands, encontró explicación en recientes estudios del geógrafo David Stahle, publicados en el semanario Sciences, quién buscando establecer la edad de antiguos cipreses, halló información en los troncos de los árboles, que en la región que abarca Virginia y Carolina del Norte, se produjeron graves sequías entre los años 800 a 1600 de nuestra era, hecho que diezmó y aniquiló a la Colonia Perdida.

Existen también referencias sobre la ocurrencia del fenómeno, los años 1621 y 1720, investigaciones recientes llevada a cabo por Wallace Broecker de la Universidad de Columbia, dan a conocer que, en 1650 y 1850 se produjeron pequeñas glaciaciones, cuyos efectos repercutieron en las corrientes submarinas.

Muchas informaciones que abarcan los años 1830 a 1942, se deben al trabajo del ornitólogo norteamericano William Vogt, contratado en 1940 por la Compañía Administradora del Guano, para estudiar en la costa peruana, el comportamiento y la ecología de las aves guaneras.

El fenómeno de El Niño 1834/35 no está completamente determinado en cuanto a la fecha, incluso es un enigma según Vogt, la ausencia de notas y comentarios en el diario de viaje de Charles

Darwin, que surcó las costas occidentales de América en 1835; la mortandad de aves guaneras debió ser tal; que comparativamente hablando, fue similar al de las catástrofes de 1891 y 1925.

A J.J. Von Tschudi, se debe el estudio de las islas Chincha en 1842 y la identificación del fenómeno en 1841 y al naturalista Antonio Raimondi, en el mismo sitio, aquél de 1855.

Al doctor F.A. Lucas se le menciona, en relación al suceso de 1869/70, que fue de grave perturbación, puesto que, en la bahía de Pisco y al realizar la descripción de las Islas Chincha y Ballestas, cita que, además de la elevada mortandad de aves guaneras; en dos oportunidades fueron visitados por un tiburón de 10 a 12 metros de longitud. (nótese que el habitat del escualo son las aguas tropicales).

En lo que hoy día son territorios usurpados a Perú y Bolivia por Chile, las mejores referencias se deben a G.H. Billinghurst, relacionadas con Tarapacá y el Desierto de Atacama; en la Pampa de Tamarugal se produjeron lluvias y avenidas en 1819, 1823, 1852, 1859, 1878 y 1884. En el desierto de Atacama - el más árido del mundo- se recuerdan las mismas en 1819 y 1911; el 24 de junio del último año, a la madrugada llovió en Antofagasta y nevó en Calama; entre enero y febrero de 1885, hubieron cuarenta días de lluvia.

Durante 1868 y 1869; específicamente, la segunda semana de agosto del 68, toda la costa sudamericana desde el sur del Ecuador hasta el norte de Chile, soportó una combinación de terremoto - maremoto, que casi asoló a las poblaciones bolivianas de Cobija, Mejillones y Antofagasta, un año mas tarde, en Cobija la fiebre amarilla causó estragos.

En la ciudad de La Paz y en la meseta altiplánica, hay referencias de fuertes lluvias en diciembre de 1581, que abarcaron los meses de enero a marzo de 1582, el 2 de abril por la noche, desapareció el caserío de Ancu - Ancu y se produjo la denudación geológica con las altura de Achocalla y el Kenko.

Siendo Corregidor de la ciudad de La Paz, Alonso de Molina y Herrera, entre 1646 a 1652, se produjo el resquebrajamiento de uno de los farellones del nevado Illimani, el ruido producido por aquél desprendimiento fue nitidamente escuchado en la ciudad, habiendo Molina organizado rogativas públicas a fin de pedir a Dios, protección por una posible erupción volcánica, pues se suponía que el batolito fuera un volcán apagado.

El fenómeno de El Niño de 1877/78, tuvo para Bolivia, características catastróficas, ese verano que debió ser lluvioso, a decir de Roberto Querejazu Calvo. se tornó en una estación de sequía casi absoluta

La intensa sequía, produjo hambruna y mortandad en el territorio boliviano, a ella, se sumó una epidemia de paludismo, que se inició en los Yungas de La Paz y que luego se esparció a Cochabamba, Sucre y Tarija.

En la costa boliviana, nuevamente, se produjo el 8 de mayo de 1877 la combinación de terremoto - maremoto, que destruyó otra vez a Cobija y Antofagasta, esos fueron los prolegómenos del inicio de la Guerra del Pacífico.

Durante 1879 en Inglaterra, se produjeron una serie de malas estaciones climatológicas, que culminaron en lluvia casi continua durante el verano, hecho que destruyó las cosechas de heno y de maíz, a nivel pecuario se produjo un serio brote de fiebre aftosa en el ganado bovino y comalía en los ovinos, que originó una caída del 30% de la producción agrícola, de la que no pudo recuperarse en los treinta subsiguientes años.

Una recapitulación del fenómeno de El Niño, un tanto mas documentada, muestra que, los

acontecimientos más intensos se han producido en 1877, 1891, 1918, 1925, 1940/41, 1957/58, 1965, 1972/73, 1976/77, 1982/83, 1990/91 y el más violento de todos 1997/98 que junto a su destructiva socia, La Niña, aún ahora causan estragos a nivel mundial.

Para comentar los efectos de algunos de los sucesos, mayormente caracterizados por cambios climáticos intensos, vamos a citar algunas de sus manifestaciones en las costas del Perú.

En tiempos normales, la temperatura del mar en la superficie, dentro de las veinte millas marinas a partir de la orilla, oscila entre 14.4 a 17.8 °C. Los procesos de 1891, 1925, 1939 y 1940/41, registraron muy altas temperaturas marinas, pero los de 1925 y 1940/41, se patentizaron por temperaturas superficiales de hasta 26 °C en la bahía de Pisco.

Durante 1891 y 1925, se registraron lluvias torrenciales, sumamente destructivas, y en 1911, 1918, 1925, 1932 y 1939, se tuvieron precipitaciones anormales.

En 1911, 1918, las precipitaciones fueron intensas y 1932, se mostró como una estación de lluvias del mismo tipo que en el Golfo de Guayaquil.

Los años 1957/58, fueron años de hambruna para las aves guaneras y la anomalía marina fue inusitadamente intesa, mientras que 1834, 1891 y 1925, fueron años de fenómenos de gran magnitud.

A esta altura de los acontecimientos, resultaría edioso hacer un recuento de todas las tragedias que ha producido El Niño junto a La Niña, en la última centuria; solo indicaremos que la humanidad, y aquella que se halla en el grupo de países subdesarrollados y que, se sitúa también entre diferentes estadios de subdesarrollo, es la que más sufre a causa de los desastres naturales, hambrunas, pestes, plagas, enfermedades, y muerte, que acompañan a esta pareja de revoltosos infantes.

Casi al finalizar el milenio, cabe afirmar que, en los últimos treinta años, se han producido los tres fenómenos más intensos, uno en 1972/73, que dió lugar casi la ruina de la industria pesquera y de harina de pescado en el Perú, junto a otros desastres alrededor del planeta.

El desajuste de 1982/83, originó daños en el mundo por dos millones de dólares en propiedades, unos seis millones de dólares en pérdidas agrícolas en cinco continentes. En Bolivia registró una intensa sequía en el altiplano y especialmente en el Norte de Potosí, evento que inició una complicada migración campesina, que a partir de ese entonces se repite anualmente, y - quién creyera, - coadyuvó indirectamente a la caída de un gobierno democrático.

Finalmente, El Niño y La Niña de fines del milenio, se presentaron, el primero entre 1997/98 y en el caso de su contraparte La Niña, hacia mediados de julio de 1998, al presente, aún causan estragos en el mundo entero. En el país le asestó un demoledor golpe a la agropecuaria y principalmente a la incipiente agricultura del oriente, específicamente al cultivo y exportación de algodón y soya, actualmente, la Cámara Agropecuaria del Oriente, languidece, los desastres naturales complicaron el mal estado de los caminos carreteros, se presentaron inundaciones, sequía intensa, incendios forestales, un terremoto azotó los valles de cono sur de Cochabamba, en La Paz sobrevinieron asentamientos y hundimientos de tierra en zonas pobladas, etc.

Finalmente, vale la pena puntualizar que: Todo ecosistema, intrínsecamente está constituido por dos componentes: Uno - el inanimado - que es el medio físico y el otro - el viviente - que involucra a la comunidad biológica.

La correcta interrelación de las partes constitutivas, establece por sí misma, un equilibrio natural, cualquier alteración en alguna de las partes del sistema, rompe su equilibrio, produciendo sucesos impredecibles en su núcleo y alrededores.

Al pretender imaginar la magnitud del cambio que produce en el planeta El Niño y su pareja La Niña, desde hacen diecisiete mil quinientos años, cualquier aproximación, adquiere una dimensión micrométrica; incluyendo aquella de los gases que producen el Efecto Invernadero - atribuibles a la contaminación ambiental producida por las sociedades altamente industrializadas y por las sociedades industrializadas - el solo hecho de comparar dichas emisiones de gases con erupciones volcánicas, tales como, aquellas sobre la isla de Thera, la del Vesubio que aniquiló a Pompeya y otras como la del Krakatoa, son como comparar una - alpargata con una zapatilla de ballet - simplemente; debemos preguntarnos, ¿Si el cambio climático es un fenómeno reversible ó irreversible, producto de un desajuste en el equilibrio entre los gases oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, metano y otros.

Si la aceleración o desaceleración del cambio climático, está en relación directa a la contribución de la contaminación por gases del Efecto Invernadero, debidos al componente inanimado o al componente viviente, y cuál es el porcentaje global de contaminación, que emite el componente viviente, frente al componente inanimado?

Al parecer, estos ajustes y reajustes del sistema, son procesos naturales - es decir son propios de la naturaleza, desde la creación del universo - a los humanos tan solo nos queda, utilizar el racionalismo propio de nuestra especie, para administrar escrupulosamente todos los recursos científicos y técnicos conducentes al manejo apropiado de la riqueza; en prevención de un proceso de aniquilamiento total del componente viviente del planeta. Entre tanto, esperemos a saber, cuanto hemos aprendido del embate de la devastadora pareja, a partir del 2.005.

## BIBLIOGRAFIA

- A Pictorial History of the Jewish People; Keter Books, Jerusalem, 1973.
- Mundo Científico, Nº 126, Julio - Agosto 1992, Barcelona - España 1992
- Schweigger Erwin, El Litoral Peruano, Seguida Edición, Lima 1964, Pags., 340 - 367.
- Drioux, El Abate, Historia Antigua de Oriente, Librería de la Vda. de Ch. Bouret, París, 1927.
- La Santa Biblia, Sociedades Bíblicas Unidas, Lowe - Brydone Ltda, Norfolk, Gran Bretaña, 1965.
- Malet A., Historia del Oriente, Librería de Hachette y Cia, París, 1907.
- Ravines Rogger, Recursos Naturales de los Andes, en Tecnología Andina, Instituto de Estudios Peruanos, Lima - Perú, 1978.
- Hagen Victor Von, Culturas Preincaicas, Editorial Labor S.A., Madrid - España, 1976.
- Lehmann Henri, Las Culturas Precolombinas, EUDEBA, Buenos Aires, 1975.
- Ponce Sanjinés Carlos, La Cultura Nativa en Bolivia, Ediciones Los Amigos del Libro, La Paz - Cochabamba, 1979.
- Ibarra Grasso Dick Edgar, Prehistoria de Bolivia, La Paz - Cochabamba, 1973.
- Hagen Victor von, El Imperio de los Incas, Editorial Diana S.A., Mexico D.F., 1961.
- Day Kent C., Almacenamiento y Tributo Personal - Dos Aspectos de la Organización Socio - Económica del Antiguo Perú, en Tecnología Andina, op. cit.
- Cobo Bernabé, Historia del Nuevo Mundo (1653), Ediciones Atlas, Madrid - España, 1956
- Vogt William, Aves Guaneras, Boletín de la Compañía Administradora del Guano, vol. 18, Nº3, 1942, Lima - Perú, Marzo 1942.
- Wogt William, Aves Guaneras, Boletín de la Compañía Administradora del Guano, Vol 17, Nº 4, 1941, Lima - Perú, Abril 1941.
- Bowman Isaiah, Los Senderos del Desierto de Atacama, Sociedad Chilena de Historia y Geografía, Imprenta Universitaria, Santiago - Chile, 1942.
- Querejazu Calvo Roberto Guano, Salitre, Sangre, Los Amigos del Libro, La Paz - Cochabamba, 1979.
- Santa Cruz Victor, Historia Colonial de La Paz Editorial Renacimiento, 1942, La Paz.
- Derry T.K., y Williams Trevor I., Historia de la Tecnología Vol. II, Siglo Veintiuno Editores, México, 1977.
- Carrión Cachet Rebeca; la Indumentaria en la Antigua Cultura Paracas, Síntesis de Tesis de Doctorado en Historia, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú.

Carranza Luis, La Costa del Perú y su Clima, en Perú - Visiones y Perspectivas, Librería e Imprenta Gil S.A., Lima - Perú, 1941.

Montesinos Fernández de Anales del Perú (1642), Imprenta de Gabriel L. y del Horno, Madrid, 1908. Newell Reginald E., Reichle Henry G. Jr. y Seiler Wolfgang; El Monóxido de Carbono y la Tierra en Llamas, Instituto Tecnológico de Massachusetts, pags. 54- 61 - USA.

Balcázar Juan Manuél, Historia de la Medicina en Bolivia, Ediciones Juventud, La Paz - Bolivia, 1956.

#### **Revistas - Artículos Periodísticos - Otros.**

Y las Aguas Cubrieron la Faz de la Tierra, Muy Interesante, 20 Abril /1, 1984, México D.F.

Grossot Eduardo, Imperios con Pies de Barro; Muy Interesante, Nº 27, Enero 1988, Editorial García Ferré S.A., Buenos Aires - Capital Federal.

Robredo Juan, Koppeschaar C., Domínguez Silvia L., Por qué nos Apedrea el Cielo; Muy Interesante, Nº 27, Enero 1988, op. cit.

Toharia Manuél, ¿Cuanto Duraron Realmente los Seis Días de la Creación?, Muy Interesante, Nº 27, Enero, 1988, op. cit.

Martíre Guillermo, La Tierra Tiene Problemas Respiratorias, Muy Interesante, Nº 84, Octubre, 1992, Editorial García Ferré S.A., Buenos Aires - Capital Federal.

La Piel Azul de la Tierra, Muy Interesante, Nº 19, Mayo 1987, Editorial García Ferré, S.A., Buenos Aires - Capital Federal.

Bermejo Demetrio, El Cielo está que Arde, Muy Interesante, Nº 91, Mayo, 1993, Editorial García Ferré, S.A., Buenos Aires - Capital Federal.

Arbuco Juan Carlos, Los Andes que No Conocimos, Muy Interesante, Nº 52, Febrero, 1990, Editorial García Ferré, S.A., Buenos Aires - Capital Federal.

Rush Bette y Lebelson Harry; Huracán, El Enigma de un Monstruo Impredecible, Hombre de Mundo, Año 10, Nº 5, Junio 1985, Editorial Andina S.A., Santiago - Chile.

Clavijo Uva, ¿Qué está Pasando con el Clima?, Hombre de Mundo, Año 9 Nº 5, Mayo 1984, Editorial Andina, S.A., Santiago - Chile.

Franchi Juan, M., La Destrucción del Medio Ambiente, Hombre de Mundo, Año 5, Nº 11, Noviembre 1980, Editorial Andina, S.A., Santiago - Chile.

El Caos Vendrá del Cielo, Muy Interesante, Nº 7, Mayo 1986, Editorial García - Ferré, S.A., Buenos Aires, Capital Federal.

Alva Walter, En la Tumba del Tesoro, Muy Interesante, Nº 88, Febrero, 1993, Editorial García Ferré, S.A., Buenos Aires, Capital Federal.

¿Dónde Está el Tesoro de los Incas?, Muy Interesante, Nº 16, Febrero, 1987, Editorial García Ferré, S.A., Buenos Aires, Capital Federal.

Coperías Enrique M., La Venganza de los Microbios, Muy Interesante, Nº 96, Octubre 1993, Editorial García Ferré S.A., Buenos Aires - Capital Federal.

Ferguson Roy; Fabulosos Hallazgos de Sipán, Selecciones Reader's Digest, Octubre 1992, Impreso en Chile.

Kirkpatrick Sidney, Secretos de Una Tumba Milenaria, Selecciones Reader's Digest, Octubre 1993, Impreso en Chile.

Stuller Jay, El Niño Devastador, Selecciones Reader's Digest, Enero 1984, Impreso en Chile.

Sequía Afecta a más de Millón y Medio de Personas, Presencia, 2 Julio 1983, La Paz.

Podría Elevar Temperatura del Planeta el Bióxido de Carbono, Ultima Hora, 7 Agosto 1981, La Paz.

Obasi Godwin O.P., Mensaje del Profesor, Secretario General de la OMM Función que Pueden Desempeñar Los Servicios Meteorológicos... El Diario, 25 Marzo 1990, La Paz.

Imaña M. Edgar, La Agrometeorología Base de Estudios..., El Diario, 25 Marzo 1990, La Paz.

¿Qué es el Fenómeno de "El Niño"?, el Diario, 21 Diciembre 1997, La Paz.

La Desertización y Erosión se deben más a Influencia Natural que Humana, El Diario, 30 Agosto 1998, La Paz.

Flores A. Aldo Antonio, Como Mejorar Nuestra Comprensión de los Cambios en el Medio Ambiente, El Diario, 09 Agosto 1998, La Paz.

Sobreexplotación, El Niño y Veda CAusan Estragos en la Pesca Chilena, El Diario 13 Septiembre 1998.

Líneas de Nasca en Perú Aún no Corren Peligro por "El Niño", El Diario 15 Febrero, 1998, La Paz.

Gastos de Perú en Mitigar Efecto de "El Niño" suman ya 500 millones de Dólares. El Diario, op. cit.

Cambios Climáticos Parecen Elevar Temperatura Oceánica, El Diario 12 Julio 1998, La Paz.

Atribuyen a Sequía Desaparición de Colonos Ingleses en EE.UU., El Diario 26 Abril, 1998, La Paz.

El Mundo Soporta Intensa Ola de Calor, El Diario, 13 Agosto 1998, La Paz.

Bayona Claudia, Honda Preocupación Entre los Peruanos Por la Visita del "Niño", El Diario 25 Enero 1998, La Paz.

Sacrificios Humanos debidos a "El Niño" en el Antiguo Perú, El Diario, 22 Febrero 1998, La Paz.

Lecciones de Los Incas en la lucha contra "El Niño" Cobran Actualidad, El Diario 4 Enero 1998, La Paz.

Pasquier Sylvia, El Calentamiento Global y la Expansión de Enfermedades Tropicales, La Razón, 08 Abril, 1998, La Paz.

El Niño se va y llega La Niña, Presencia 12 Julio 1998, La Paz.

Un Fenómeno Recurrente: El Agujero de la Capa de Ozono, El Diario 31 Enero 1999, La Paz.

Hallan Rastros de Bacterias Milenarias en Lago Antártico, El Diario 29 Diciembre 1999, La Paz.

La Primera Gran Glaciación de la Tierra se Originó por el Oxígeno, La Razón, 07 Noviembre 1999, La Paz.

Países Deben Evitar que el Cambio Climático se Acelere en el Planeta, La Razón, 07 Noviembre, op. cit.

Contenido de Sal en el Mar Podría Influir en el Clima de la Tierra, El Diario, 12 Septiembre 1999, La Paz.

El Mundo de la Naturaleza, El Diario, 31 Octubre 1999, La Paz.

Boyán Godoy Ana Rosa, El Informe Mundial sobre Desastres Pronostica un Decenio de Superdesastres, El Diario, 27 Junio 1999, La Paz.

Cambios Climáticos y Salud, La Razón, 03 Octubre 1999, La Paz.

Ortíz Pablo Lázaro. Se Incrementará la Malaria para el Próximo Siglo, La Razón op. cit.

Kates William; Puede ser muy Antiguo Fenómeno Climático Conocido como "El Niño", El Diario, 25 Abril 1999, La Paz.

Plaga de Ratas devora Cultivos del Chapare, La Razón, 31 Octubre 1999, La Paz.

Hielo de la Antártida registra el Clima de 5 Millones de Años, La Razón, 09 Febrero 1999, La Paz.

Hay Indicios y Señales de Una Posible Evolución del Fenómeno La Niña en La Paz, El Diario, 09 Enero, 2000, La Paz.

El Fenómeno El Niño tiene por lo menos unos 17.500 años, El Diario, 14 Mayo, 2000 La Paz.

Vacaflor G. Humberto, El Desalojo de la CAO, La Razón, 11 de Junio 2000, La Paz.

Schuring Joerg, Tras el Hambre viene el Frío de Invierno, El Diario, 25 Enero, 1998, La Paz.

## IMPACTO DE EL NIÑO EN BOLIVIA 1997 - 1998

Reynaldo **Maldonado**, Santos **Calle**, Juan Carlos **Huaynoca**, Virginia **Rocha**.  
 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

### Introducción

En la actualidad El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) es ampliamente conocido tanto en el medio científico como también en la población en general, ya que estos producen con cierta periodicidad cambios en el clima afectando el desarrollo de las diversas actividades desempeñadas por el hombre impactando en lo económico, producción, ingreso per cápita etc. a una escala local, regional y nacional.

En Bolivia se ha estudiado al respecto, pero hasta el momento no se han realizado investigaciones claras y concisas para poder saber y encontrar en una forma detallada la causalidad (causa efecto) de este fenómeno, ya que estos son conocidos por la mayoría, pero no se tiene una noción clara, menos alguna conclusión práctica sobre el impacto real de este en la producción agropecuaria principalmente.

En la actualidad se cuenta con una base de datos con los cuales se ha iniciado estudios más profundos sobre el tema, estos resultan bastante útiles a largo plazo en lo que respecta a la prognosis de las variaciones climáticas y prevención de desastres naturales causados por dicho fenómeno, lo cual es un apoyo a diversas ramas de la economía nacional.

El objetivo primordial del siguiente estudio es analizar el comportamiento de las precipitaciones y temperaturas y su incidencia en la agropecuaria, para lo cual inicialmente se realizó un análisis de diferentes parámetros como ser: anomalías de las temperaturas, anomalías y porcentajes de precipitación de las distintas estaciones distribuidas en Bolivia.

### 1.- Metodología

Para realizar el estudio se procedió a utilizar un banco de datos de las estaciones Meteorológicas del SENAMHI, los cuales comprenden datos mensuales de 31 estaciones meteorológicas a escala nacional en un periodo de 12 meses es decir desde julio 1997 a junio de 1998, así como los valores de las normales de precipitación y temperatura para realizar los respectivos cálculos y obtener las anomalías tanto de precipitación como de temperatura, así como la obtención de cuadros y el trazado de isolíneas en los distintos mapas.

Se procedió a realizar el estudio a una escala regional (Altiplano, Valles, Trópico y Subtrópico y Tierras bajas del Sur), (ver mapa 1) para lo cual en la región del Altiplano se tomó 5 estaciones, Valles 4, Trópico y Subtrópico 19, y Tierras bajas del Sur 3 estaciones con un total de 31 estaciones. También se cuantifica los daños causados a la agropecuaria.

### 2.- Comportamiento de las precipitaciones

Las precipitaciones a nivel Bolivia fueron muy irregulares es por esta razón que se hizo un análisis a escala regional. Dividiendo en 4 regiones muy características debido principalmente al comportamiento climático.

#### ALTIPLANO

En esta región en los meses de julio y agosto de (1997), se tuvo un déficit marcado de precipitación aunque normalmente son bajas; pero en el mes de Septiembre esta situación se

invierte y tenemos un exceso en toda la región, produciéndose un máximo en el sector de Charaña con 340% por encima lo normal, generalmente este sector se caracteriza por ser el sector con menor precipitación de la región, este comportamiento anómalo es totalmente atribuible al ENOS.

A partir del mes de Octubre se empieza a sentir déficit de precipitación bastante marcado hasta el mes de Marzo 1998, produciendo sequías de diferente magnitud afectando a la producción agropecuaria como veremos mas adelante; como caso excepcional el sector de Charaña en los meses de Diciembre y Enero de 1998 estuvo dentro y por encima de lo normal respectivamente, esta región que de cada 10 años por lo general 8 tiene déficit de precipitación.

## VALLES

El comportamiento en esta región fue similar al del Altiplano, con déficit en los meses de Julio y Agosto y con un exceso en toda la región en el mes de Septiembre.

El déficit empieza en Octubre (1997) prolongándose hasta el mes de Junio (1998) con algunas excepciones por lo tanto la sequía fue mayor al del Altiplano.

## TROPICO Y SUBTROPICO

Esta región es la más extensa con características climáticas semejantes; el comportamiento de las precipitaciones fueron totalmente irregulares, en el mes de Julio el comportamiento fue homogéneo ya que hubo un déficit marcado de precipitación, el mes más lluvioso fue Septiembre entre Agosto y Diciembre (1997) con un máximo del 105% por encima de lo normal en la región de Cobija; de Enero a Junio (1998) el mes con menor precipitación fue Enero con un déficit bastante marcado en toda la región y de acuerdo a datos estadísticos es el mes mas lluvioso del año este comportamiento anómalo es atribuible al (ENOS).

## TIERRAS BAJAS DEL SUR

Por esta región penetran los frentes fríos razón por la cual las precipitaciones son altas, el comportamiento fue marcadamente deficitario con excepciones del mes de Septiembre donde en el sector de Camiri y Villamontes estuvieron por encima de lo normal en el orden 193% y 383% respectivamente (ver cuadro 1, 1A, mapa 2-3-4, gráficos).

### 3.- comportamiento de las temperaturas

Los cuadros de temperaturas e isolíneas de anomalías de temperaturas nos muestran que estuvieron por encima de lo normal en la mayoría de los meses, pues la ausencia de nubes hizo que las temperaturas subieran marcadamente, en algunos casos batiendo récords de registros de más de 30 años.

En el Altiplano, Valles y Llanos orientales (Trópico y Sub Trópico) en la mayoría de los meses se tuvo anomalías positivas excepto en las tierras bajas del sur donde en casi todo el periodo estuvieron con anomalías negativas.

## ALTIPLANO

En esta región en los meses de Junio a Diciembre de 1997 las anomalías de temperatura se comportaron negativamente con excepción del sector de La Paz, donde fueron positivas durante este periodo, presentándose una especie de Veranillo en pleno Invierno con temperaturas elevadas en la primera semana de Julio, en los meses de Enero a Marzo las anomalías fueron positivas en algunos casos bastante altas como es el caso de La Paz donde se batieron récord de temperaturas de más de 40 años en los diferentes meses, lo mismo ocurrió en otras

localidades; era de suponer este comportamiento pues la ausencia de nubosidad causo esta elevación de temperatura, Abril a Junio volvieron las anomalías negativas con excepción del sector de La Paz.

#### VALLES

De Julio a Noviembre las anomalías negativas fueron más frecuentes, pero de Diciembre de 1997 - Abril 1998 las positivas fueron las que dominaron igual que en el Altiplano batiendo récords de más de 30 años en varios Sectores.

#### TRÓPICO Y SUBTROPICO

Al ser tan extensa esta región, el comportamiento de las temperaturas no fue tan uniforme, con anomalías negativas durante Julio y Agosto de 1997, para posteriormente acentuarse las positivas durante los meses de Septiembre 1997 hasta el mes de Abril de 1998, con excepciones de algunos lugares también se batieron récord históricos de más de 40 años (Cuadro 3).

#### TIERRAS BAJAS DEL SUR

Esta región es en la que predominaron las anomalías negativas esto debido principalmente a que los frentes fríos penetran por ese sector, causando las temperaturas bajas (ver cuadros 2-3, mapa 5).

#### SITUACION SINOPTICA

La situación sinóptica se vio afectada por el fenómeno, con la entrada de Frentes fríos que fueron bloqueados por la corriente en chorro, que se intensifico en este periodo; por otro lado la alta de Bolivia no estuvo en su lugar habitual coadyuvando este comportamiento anómalo; es necesario hacer estudios mas detallados sobre este aspecto (ver cuadro 4).

#### CONCLUSIONES

En Resumen **EL IMPACTO DE EL NIÑO EN BOLIVIA 97-98** tuvo incidencia en el comportamiento de las precipitaciones las cuales estuvieron por debajo de lo normal produciendo sequía de diferente magnitud (ligera, moderada y severa), en cuanto a las temperaturas estas se manifestaron de forma tal que estuvieron por encima de lo normal en forma inusual; esta incidencia se noto en todas las regiones, con excepción de algunas poblaciones puntuales, en algunos casos se batieron récord de más de 30 años (ver mapa 6 y Cuadro 3).

El mapa 7 nos muestra la regionalización de las sequías e inundaciones como efecto de El Niño 97/98, y el mapa 8 la regionalización de las sequías producida por el niño 82/83.

#### EVALUACION Y SEGUIMIENTO DE LA INCIDENCIA DEL FENÓMENO DE EL NIÑO EN LA PRODUCCION AGRICOLA 1997 - 1998

Debido a la presencia del fenómeno de El Niño en la actividad agropecuaria nacional y ante la necesidad de precisar, en su verdadera magnitud la incidencia en la producción agrícola, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (MAGDR) ha llevado a cabo evaluaciones sobre la base de dos encuestas de campo, la primera realizada en el mes de febrero, Diagnóstico de la Producción Agrícola 1997 - 1998, dirigida a obtener información de los cultivos básicos de la canasta familiar, en su etapa de crecimiento y una vez finalizadas la siembras.

La segunda encuesta, o fase II, fue levantada durante el mes de junio, denominada Evaluación y Seguimiento de la Incidencia del fenómeno de El Niño en la Producción Agrícola 1997 - 1998, una vez que la época de cosecha había concluido para la mayor parte de los cultivos.

Las zonas del altiplano y valles debido a los déficit de precipitación y a una distribución irregular de lluvias, registrarán un comportamiento desfavorable para el desarrollo normal de los cultivos, por lo que los rendimientos esperados serán muy inferiores a los de la campaña anterior.

En el trópico de Santa Cruz, el comportamiento de lluvias, no obstante algunas variaciones en intensidad de precipitación, se puede considerar como normal, por lo que los rendimientos deben estar cercanos a los promedios.

En el Chaco, no obstante que las lluvias fueron inferiores a la media, una mejor distribución de estas a lo largo del ciclo vegetativo de los cultivos, permitió obtener rendimientos levemente inferiores a la media normal a consecuencia de este comportamiento de la atmósfera y el daño causado a las familias fue muy significativo (ver cuadro 5 - 6).

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

ACEITUNO P., MONTECINOS A., Precipitaciones en el Altiplano Sudamericano, Variabilidad Interanual e Intraestacional y Mecanismos asociados.

ACEITUNO P., Anomalías climáticas en la región Sudamericana durante los extremos de la Oscilación Austral.

ACEITUNO P., Elementos del clima en el Altiplano Sudamericano.

RUTLANT J., Algunos Aspectos de la Influencia Climática a nivel Mundial y regional, del fenómeno el NIÑO.

RONCHAIL J., Variabilidad Interanual de las precipitaciones en Bolivia.

## CUADRO 1

ANOMALIAS DE PRECIPITACION DE JULIO 1997 A JUNIO 1998														
REGIONES	ESTACIONES	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
ALTIPLANO	LA PAZ CENTRAL	-4.6	-3.9	16.9	6.4	1.0	-37.0	-24.5	-25.3	-23.3	21.8	-11.2	13.5	
	EL ALTO LA PAZ	-6.9	-6.8	23.1	-7.4	17.1	-59.2	-18.5	-33.9	17.4	23.1	-13.5	9.3	
	CHARAÑA	-1.6	-5.2	9.9	-5.5	-4.6	-1.0	13.9	-31.1	-33.3	-10.2	-2.7	11.0	
	ORURO	-3.0	-3.5	46.7	-13.9	3.3	-23.0	-36.6	-25.8	-14.8	9.7	-4.5	19.0	
	POTOSI	-1.2	4.3	30.2	-12.4	-22.5	-45.0	-65.4	-50.7	-33.7	5.4	-3.8	-1.6	
VALLES	COCHABAMBA	-1.8	4.9	0.8	-12.9	12.4	-64.0	-85.4	-22.7	-22.0	11.1	-4.1	-2.1	
	SUCRE	-1.9	-8.4	124.8	46.7	11.6	-114.0	-132.8	-13.2	-66.1	-11.7	-5.7	-2.9	
	VALLEGRANDE	-8.5	-9.6	11.4	12.8	-30.5	-70.4	-63.2	-20.0	37.7	1.6	-4.6	-13.7	
	TARIJA	-0.9	-1.9	5.6	-27.1	-25.9	-71.1	-51.0	-81.8	-11.9	-7.5	-0.7	-0.8	
TROPICO	GUAYARAMERIN	-13.8	13.1	-35.2	-114.0	-52.9	-133.1	-127.4	-79.5	-37.5	-108.8	-1.7	-31.1	
	COBIJA	-14.8	-22.0	93.0	-104.6	-79.0	-112.7	-39.9	9.4	-33.0	-21.0	-1.0	-19.2	
	RIBERALTA	-20.4	2.2	15.0	-122.3	-126.3	-121.0	-117.8	93.1	-74.3	-58.9	-48.4	-21.1	
	SAN JOAQUIN	-18.8	14.5	-16.0	-12.8	-48.1	12.3	-140.2	-21.9	16.9	-48.5	-61.4	-14.7	
	MAGDALENA	-11.5	-10.9	-6.5	-26.9	88.5	-69.1	-32.2	110.0	23.6	55.7	-57.8	8.6	
	SANTA ANA	-17.5	-27.8	-31.5	42.1	-156.2	51.4	-79.7	75.9	-89.6	40.0	-50.1	-26.0	
	RURRENABAQUE	13.6	-59.0	31.5	-48.8	-90.6	-76.1	-105.7	-31.2	83.5	-55.6	-36.3	-51.2	
	APOLO	-30.9	-31.4	19.4	-91.7	-25.8	-118.6	-82.1	-78.8	-36.8	-91.3	-44.7	-14.3	
	SAN BORJA	-57.8	-42.7	-9.1	-120.2	-26.0	-139.8	-51.4	50.5	-137.6	-98.5	-6.1	-56.8	
	Y	SAN IGNACIO DE MOXOS	-12.7	-48.0	10.9	64.6	-39.0	-98.0	-13.6	95.0	-191.8	-17.7	-22.7	-57.9
SUB TROPICO	TRINIDAD	-43.0	-28.4	-62.4	72.8	-38.6	235.9	-135.7	34.0	126.1	24.8	-24.5	-34.5	
	ASCENCION DE GUARAYOS	-31.6	36.5	16.8	-49.6	35.5	-13.2	-19.2	110.4	-98.9	63.0	14.3	1.1	
	SAN JAVIER	-28.0	-12.8	-38.5	-29.2	5.2	-22.7	-108.6	-2.8	-8.2	-0.2	18.5	34.7	
	CONCEPCION	-28.2	17.5	-13.0	7.9	22.5	5.3	-105.3	58.8	-12.0	-4.7	1.9	2.7	
	SAN I. DE DELASCO	-18.4	53.9	-41.7	-68.9	-88.3	-14.0	-110.6	117.2	-36.3	-35.2	61.0	-8.0	
	SANTA CRUZ	-48.4	-26.8	-16.2	47.0	1.0	44.2	-25.6	121.8	-24.8	-11.7	-61.8	-71.3	
	SAN JOSE	-16.6	28.5	-9.8	-21.8	56.0	12.9	113.4	-39.7	-71.2	-27.7	-52.0	4.8	
	ROBORE	-24.6	-5.6	-41.6	-56.7	-64.9	-74.4	-94.0	14.1	-12.0	3.4	-25.0	-55.3	
	PUERTO SUAREZ	-22.8	-26.4	-12.9	-57.1	-78.3	37.3	151.1	-102.4	-23.7	71.1	-47.7	-24.3	
TIERRAS BAJAS DEL SUR	CAMIPI	-1.2	-6.5	33.4	1.9	-29.8	-29.2	7.5	-28.8	88.6	-12.9	-12.5	-13.3	
	VILLAMONTES	-4.2	-7.1	33.7	-21.9	-66.8	-35.2	-26.8	-60.2	-15.0	0.2	-18.6	-10.2	
	YACUIBA	-4.1	-4.4	-2.6	-47.2	7.5	13.9	-86.6	-156.3	-105.8	-57.2	-25.4	-19.2	

## CUADRO 1A

### PRECIPITACION PORCENTUAL DE JULIO 1997 A JUNIO 1998

REGIONES	ESTACIONES	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
ALTIPLANO	LA PAZ CENTRAL	0%	60%	154%	121%	102%	54%	78%	71%	66%	183%	0%	337%
	EL ALTO LA PAZ	3%	55%	165%	81%	134%	38%	86%	68%	124%	173%	6%	282%
	CHARANA	0%	0%	441%	37%	74%	98%	115%	57%	38%	0%	0%	540%
	ORURO	0%	62%	325%	13%	113%	57%	58%	68%	71%	166%	0%	628%
	POTOSI	0%	265%	348%	37%	49%	24%	36%	49%	40%	140%	0%	0%
VALLES	COCHABAMBA	0%	198%	110%	29%	128%	32%	30%	76%	67%	157%	0%	0%
	SUCRE	0%	16%	551%	184%	117%	10%	18%	89%	43%	70%	0%	0%
	VALLEGRANDE	12%	21%	152%	134%	51%	33%	56%	83%	150%	104%	73%	0%
	TARIJA	0%	14%	181%	20%	64%	45%	65%	35%	84%	66%	76%	0%
TROPICO Y SUBTROPICO	GUAYARAMERIN	0%	160%	51%	25%	74%	48%	56%	69%	84%	39%	98%	5%
	COBIJA	37%	51%	205%	36%	66%	55%	84%	104%	86%	88%	99%	34%
	RIBERALTA	0%	110%	123%	17%	36%	55%	58%	136%	70%	64%	37%	22%
	SAN JOAQUIN	0%	155%	77%	91%	73%	105%	46%	91%	108%	61%	12%	29%
	MAGDALENA	0%	58%	90%	79%	146%	69%	87%	148%	110%	148%	9%	151%
	SANTA ANA	34%	14%	61%	130%	23%	123%	69%	131%	57%	130%	46%	20%
	RURRENABAQUE	114%	27%	141%	65%	56%	73%	66%	90%	134%	66%	72%	61%
	APOLO	0%	34%	126%	34%	84%	45%	66%	65%	82%	31%	32%	66%
	SAN BORJA	11%	25%	88%	26%	84%	44%	82%	120%	38%	27%	94%	22%
	SAN IGNACIO DE MOXOS	68%	11%	117%	144%	78%	63%	96%	132%	28%	87%	79%	11%
	TRINIDAD	3%	32%	30%	154%	80%	197%	56%	113%	158%	120%	76%	30%
	ASCENCION DE GUARAYOS	0%	189%	139%	37%	122%	92%	91%	165%	32%	205%	123%	103%
	SAN JAVIER	0%	65%	26%	64%	104%	86%	43%	98%	94%	100%	130%	184%
	CONCEPCION	2%	153%	72%	109%	116%	103%	44%	137%	91%	94%	103%	108%
	SAN I. DE DELASCO	0%	311%	22%	18%	37%	91%	44%	161%	75%	58%	209%	73%
	SANTA CRUZ	19%	37%	76%	147%	101%	125%	86%	189%	80%	89%	31%	5%
	SAN JOSE	0%	230%	73%	73%	152%	110%	170%	73%	45%	49%	15%	114%
	ROBORE	6%	83%	20%	42%	50%	53%	43%	110%	92%	104%	65%	0%
	PUERTO SUAREZ	0%	0%	74%	35%	36%	125%	187%	32%	80%	196%	17%	22%
TIERRAS BAJAS DEL SUR	CAMIRI	87%	14%	283%	105%	63%	78%	104%	81%	182%	79%	50%	2%
	VILLAMONTES	22%	1%	483%	29%	36%	75%	85%	57%	90%	100%	3%	1%
	YACUIBA	42%	56%	74%	12%	107%	108%	59%	20%	46%	49%	23%	0.0725

## CUADRO 2

26

### ANOMALIAS DE TEMPERATURA DE JULIO 1997 A JUNIO 1998

REGIONES	ESTACIONES	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A.	M	J
ALTIPLANO	LA PAZ CENTRAL	2.0	0.9	2.0	2.0	16	1.7	3.4	3.8	2.9	2.5	1.9	1.4
	EL ALTO LA PAZ	-0.5	-1.4	0.1	-1.0	02	2.0	2.8	2.2	2.0	1.0	-1.1	-0.4
	CHARAÑA	-2.4	-3.3	-0.7	-2.4	-2.5	-1.2	1.6	2.1	0.9	-1.2	-3.4	-1.6
	ORURO	-1.7	-2.6	-1.7	-2.0	-1.4	-0.5	1.1	0.9	0.5	-1.2	-2.8	-0.6
	POTOSI	0.5	-1.6	0.3	-0.6	-0.6	0.4	0.6	0.8	0.2	-0.9	-1.4	-1.3
VALLES	COCHABAMBA	0.3	-0.9	-0.1	0.0	04	2.3	3.4	2.4	2.6	1.5	0.2	-0.2
	SUCRE	-0.9	-2.2	0.2	-0.4	-12	1.3	2.3	1.2	0.8	0.2	-1.3	-0.8
	VALLEGRANDE	2.0	-0.2	1.4	1.3	-03	1.2	14	0.5	0.7	0.5	-1.8	0.1
	TARIJA	2.2	0.0	1.1	0.2	-0.1	1.2	1.3	0.1	0.1	0.6	-1.5	-0.3
TROPICO Y SUB TROPICO	GUAYARAMERIN	0.5	-1.0	1.4	1.2	10	0.5	1.2	1.1	0.9	1.2	-0.9	-0.9
	COBIJA	1.2	-0.6	1.6	1.2	07	0.8	0.4	0.6	0.5	0.4	-2.1	-1.7
	RIBERALTA	-0.3	-1.9	0.6	08	10	-0.1	1.3	1.3	0.9	1.2	-1.3	-1.0
	SAN JOAQUIN	0.6	-1.2	1.3	1.4	07	1.2	1.6	1.1	1.0	1.3	-1.4	-0.4
	MAGDALENA	-0.1	-1.9	0.7	0.4	-0.1	0.7	0.9	0.8	0.4	0.3	-1.6	-1.0
	SANTA ANA	0.7	-1.6	0.9	0.3	-03	0.6	1.0	0.8	0.3	0.9	-1.7	-0.7
	RURRENABAQUE	0.6	-1.5	0.5	0.3	-10	0.2	1.0	0.2	-1.2	0.3	-2.3	-1.1
	APOLO		1.6	2.6	2.5	28	2.2	3.6	31	2.3	2.8	0.3	1.2
	SAN BORJA	0.9	-1.0	1.2	11	03	-0.2	1.3	01	-0.2	1.4	-2.2	-1.3
	SAN IGNACIO DE MOXOS	1.8	-0.6	14	1.3	08	0.9	1.8	0.6	0.1	1.4	-0.8	0.4
	TRINIDAD	0.7	-1.6	1.1	0.8	03	0.0	0.8	0.0	-0.2	0.7	-1.7	-0.8
	ASCENCION DE GUARAYOS	2.6	1.1	3.8	2.3	20	1.5	2.7	1.8	2.6	2.3	0.5	1.6
TIERRAS BAJAS DEL SUR	SAN JAVIER	0.9	-0.4	2.1	1.1	08	0.1	1.4	0.6	-0.1	0.8	-1.0	-0.5
	CONCEPCION	1.4	-0.9	1.8	1.3	07	0.5	1.8	0.9	0.8	1.2	-0.8	0.4
	SAN I. DE DELASCO	1.1	-0.1	1.8	2.0	13	0.9	1.7	0.9	1.3	1.1	-0.8	0.3
	SANTA CRUZ	3.1	0.9	2.4	1.5	05	0.9	20	0.6	0.3	1.6	0.5	1.2
	SAN JOSE	0.2	-1.2	1.5	1.2	05	-0.3	1.4	0.6	0.1	0.8	-1.3	-0.4
	ROBORE	0.7	-1.7	2.5	1.5	07	-0.2	09	-0.3	-0.6	0.2	-2.0	-1.6
	PUERTO SUAREZ	1.2	-0.5	2.6	14	15	0.4	1.1	0.3	0.2	0.9	-1.7	0.1
	CAMIRI	0.4	-2.2	0.8	-0.9	-08	-0.4	0.1	-1.8	-1.7	-1.5	-2.2	-1.9
BAJAS DEL SUR	VILLAMONTES	1.0	-0.6	1.3	0.2	-01	0.6	0.6	-0.7	-13	-1.4	-1.1	-0.3
	YACUIBA	1.2	-2.4	-0.2	-1.0	-21	-0.8	-0.5	-1.8	-12	-1.3	-1.0	-0.4

### CUADRO 3

#### TEMPERATURAS MÁXIMAS REGISTRADAS DE JULIO DEL 1997 A JUNIO DEL 1998 QUE SUPERARON LOS RÉCORDS ANTERIORES

##### MES : OCTUBRE DE 1997

ESTACIÓN	MAX HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
COCHABAMBA	33.3	1989	34.5	
POTOSÍ	22.0	1992	23.5	

##### MES : NOVIEMBRE DE 1997

ESTACIÓN	MAX.HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
RIBERALTA	37.1	1966	37.4	
S.I. VELASCO	38.2	1988	39.4	
COCHABAMBA	34.5	1972	34.8	30
POTOSÍ	22.5	1978	22.8	
LA PAZ	24.8	1970	26.2	

##### MES : DICIEMBRE DE 1997

ESTACIÓN	MAX HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
COBIJA	35.2	1979	36.5	29
COCHABAMBA	34.8	1981	34.9	27
POTOSÍ	22.7	1981	23.4	26
LA PAZ	26.1	1994	27.2	3
EL ALTO	21.2	1981	23.0	28

##### MES : ENERO DE 1998

ESTACIÓN	MAX.HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
COBIJA	34.4	1966	35.6	13
RIBERALTA	34.6	1992	35.3	19
S.I. VELASCO	37.4	1990	38.4	4
POTOSÍ	21.0	1983	22.7	9
TARIJA	34.2	1969	36.0	27

##### MES : FEBRERO DE 1998

ESTACIÓN	MAX.HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
COCHABAMBA	32.0	1973	33.4	6
SUCRE	28.2	1983	28.5	4
TARIJA	35.0	1980	36.0	7
LA PAZ	24.2	1960	25.1	3

##### MES : MARZO DE 1998

ESTACIÓN	MAX.HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
RIBERALTA	34.4	1993	35.3	24
S.I. VELASCO	36.0	1978	26.4	29
COCHABAMBA	32.8	1983	34.0	23
POTOSÍ	22.0	1983	23.0	27

## MES : ABRIL DE 1998

ESTACIÓN	MAX HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
POTOSÍ	21.0	1980	22.3	9
LA PAZ	24.2	1983	24.8	20

## MES : MAYO DE 1998

ESTACIÓN	MAX HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
LA PAZ	24.2	1983	25.0	1

## MES : JUNIO DE 1998

ESTACIÓN	MAX.HISTORICA	AÑO	NIÑO 97/98	DÍA
SUCRE	27.1	1988	28.3	5
TARIJA	33.2	1984	34.2	15

NOTA: Temperatura en grados centigrados (°C)

#### **CUADRO 4**

SITUACION SINOPTICA ALTIPLANO												
	JUL	AGO	SEPT	OCTU	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO
FRENTE FRIO				1								
DEPRESION		4	3	1			3	2	6	1	1	2
ANTICICLON	1	1		1				2	2	2	6	3
INESTABILIDAD ATMOSFERICA	2	3	2	4	4	10	8	6	10	6		6
AIRE HUMEDO			1		3	3	3	1	2		2	
NINGUN FENOMENO SIGNIFICATIVO								1				4

## CUADRO 5

CUADRO COMPARATIVO DE PRODUCCION CAMPAÑA 1997/1998 CULTIVO: PAPA

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE		TASA %	PRODUCCION		TASA %	RENDIMIENTO		TASA %
	1997	1998		1997	1998		1997	1998	
CHUQUISACA	23.660	22.976	-2.89	159.989	77.726	-51.42	6.762	3.383	-49.97
LA PAZ	34.450	34.900	1.31	185.120	130.768	-29.36	5.374	3.747	-30.27
COCHABAMBA	23.400	23.301	-0.42	157.997	90.228	-42.89	6.752	3.872	-42.65
ORURO	8.200	8.325	1.52	33.202	15.060	-54.64	4.049	1.809	-55.32
POTOSI	31.100	30.996	-0.33	160.010	95.409	-40.37	5.145	3.078	-40.17
TARIJA	10.340	9.541	-7.73	70.209	45.116	-35.74	6.790	4.729	-30.36
SANTA CRUZ	6.500	5.768	-11.26	69.999	40.208	-42.56	10.769	6.971	-35.27
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>137.650</b>	<b>135.807</b>	<b>-1.34</b>	<b>836.526</b>	<b>494.515</b>	<b>-40.88</b>	<b>6.077</b>	<b>3.641</b>	<b>-40.08</b>

CUADRO COMPARATIVO DE PRODUCCION CAMPAÑA 1997/1998 CULTIVO: MAIZ

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE		TASA %	PRODUCCION		TASA %	RENDIMIENTO		TASA %
	1997	1998		1997	1998		1997	1998	
CHUQUISACA	69.000	66.000	-4.35	125.028	80.039	-35.98	1.812	1.213	-33.07
LA PAZ	19.000	18.165	-4.39	23.997	20.702	-13.73	1.263	1.140	-9.77
COCHABAMBA	35.000	34.000	-2.86	57.645	400.24	-30.57	1.647	1.177	-28.53
POTOSI	20.870	19.106	-8.45	27.006	14.254	-47.22	1.294	746	-42.35
TARIJA	41.700	40.000	-4.08	73.392	58.647	-20.09	1.760	1.466	-16.69
SANTA CRUZ	111.300	66.350	-40.39	347.256	187.771	-45.93	3.120	2.830	-9.29
BENI	8.000	8.105	1.31	16.200	15.259	-5.81	2.025	1.883	-7.03
PANDO	5.018	4.865	-3.05	74.20	7.500	1.08	1.479	1.542	4.26
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>309.888</b>	<b>256.591</b>	<b>-17.20</b>	<b>677.944</b>	<b>424.196</b>	<b>-37.43</b>	<b>2.188</b>	<b>1.653</b>	<b>-24.43</b>

CUADRO COMPARATIVO DE PRODUCCION CAMPAÑA 1997/1998 CULTIVO: TRIGO

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE		TASA %	PRODUCCION		TASA %	RENDIMIENTO		TASA %
	1997	1998		1997	1998		1997	1998	
CHUQUISACA	26.000	24.212	-6.88	19.600	15.787	-19.45	754	652	-13.51
LA PAZ	4.150	3.630	-12.53	2.800	2.164	-22.71	675	596	-11.64
COCHABAMBA	23.600	21.391	-9.36	21.000	10.750	-48.81	890	503	-43.52
ORURO	480	330	-31.25	280	55	-80.36	583	167	-71.43
POTOSI	19.000	17.770	-6.47	14.100	10.056	-28.68	742	566	-23.74
TARIJA	6.750	6.223	-7.81	5.500	3.397	-38.24	815	546	-33.01
SANTA CRUZ	77.865	113.600	45.89	79.950	121.480	-51.94	1027	1069	-4.15
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>157.845</b>	<b>187.156</b>	<b>18.57</b>	<b>143.230</b>	<b>163.689</b>	<b>14.28</b>	<b>907</b>	<b>875</b>	<b>-3.61</b>

CUADRO COMPARATIVO DE PRODUCCION CAMPAÑA 1997/1998 CULTIVO: CEBADA

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE		TASA %	PRODUCCION		TASA %	RENDIMIENTO		TASA %
	1997	1998		1997	1998		1997	1998	
CHUQUISACA	27.000	26.500	-1.85	21.006	13.278	-36.79	778	501	-35.60
LA PAZ	26.500	25.000	-5.66	20.008	11.410	-42.97	755	456	-38.55
COCHABAMBA	10.500	10.000	-4.76	7.802	4.063	-47.92	743	406	-45.32
ORURO	5.100	5.000	-1.96	3.050	1.901	-37.67	598	380	-36.43
POTOSI	20.779	19.000	-8.56	16.519	9.306	-43.66	795	490	-38.39
TARIJA	850	700	-17.65	761	413	-46.73	895	590	-34.10
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>90.729</b>	<b>86.200</b>	<b>-4.99</b>	<b>69.146</b>	<b>40.371</b>	<b>-41.61</b>	<b>762</b>	<b>468</b>	<b>-38.55</b>

## CUADRO 6

### CUADRO COMPARATIVO DE PRODUCCION CAMPAÑA 1997/1998 PRODUCTOS SELECCIONADOS

CULTIVOS	SUPERFICIE		TASA %	PRODUCCION		TASA %	RENDIMIENTOS		TASA %
	1997	1998		1997	1998		1997	1998	
ARROZ	124.906	143.257	14.69	253.224	301.341	19.00	2.027	2.103	3.76
CEBADA	90.729	86.200	-4.99	69.146	40.371	-41.61	762	468	-38.55
MAIZ	309.888	256.591	-17.20	677.944	424.196	-37.43	2.188	1.653	-24.43
QUINUA	39.965	38.183	-4.46	28.440	16.652	-41.45	712	436	-38.72
PAPA	137.650	135.807	-1.34	836.526	494.515	-40.88	6.077	3.641	-40.08
TRIGO (1)	157.845	187.156	18.57	143.230	163.689	14.28	907	875	-3.61
HABA	32.190	31.150	-3.23	56.583	44.625	-21.13	1.758	1.433	-18.50
ARBEJA	14.825	14.045	-5.26	24.901	19.751	-20.68	1.680	1.406	-16.28
YUCA	35.820	36.102	0.79	348.000	357.184	2.64	9.715	9.894	1.84
SOYA (1)	527.450	580.650	10.09	1.037.798	1.070.522	3.15	1.968	1.844	-6.30
ALGODÓN	52.370	50.330	-3.90	19.329	18.574	-3.91	369	369	-0.01
SORGO (1)	30.500	45.000	47.54	76.250	120.750	58.36	2.500	2.683	7.33
GIRASOL (1)	89.000	143.350	61.07	80.700	114.680	42.11	907	800	-11.77
CAÑA DE AZUCAR	93.270	93.090	-0.19	4.125.696	4.241.310	2.80	44.234	45.561	3.00
TOTAL NACIONAL	1.736.408	1.840.911	6.02	7.777.767	7.428.160	-4.49			

## RECONSTRUCCION DE LA VARIABILIDAD CLIMATICA REGISTRADA EN LOS TESTIGOS DE HIELO DE BOLIVIA

**B. Pouyaud, J-D Taupin, R. Gallaire, P. Ribstein, B. Francou, I. Chaffaut**

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), (Francia, Bolivia, Ecuador, Brasil)

**E. Ramirez**

IHH, UMSA, La Paz, (Bolivia)

**M Stievenard, G. Hoffman**

LSCE-CEA, Saclay, (Francia)

**J.-R. Petit**

LGGE, Université de St. Martin d'Hère, Grenoble, (Francia)

**U. Schotterer, P. Ginot**

Dept. für chemie und Biochemie, Universität Bern, Bern, (Suiza)

### Resumen

Esta presentación entrega unos resultados preliminares de la historia del clima y del medio ambiente registrada en el hielo de las cumbres bolivianas. Se recogieron testigos de hielo de la cumbre del Volcán Sajama (Bolivia, 6542 m, 18°06'S, 68°53'W) en julio de 1997 y de la cumbre del Sur del Nevado Illimani (Bolivia, 6350 m, 16°22'S, 67°28'W) en junio de 1999. Aunque estos testigos ofrecen información desde el Holoceno, se concentra en el último siglo realizando una comparación de la información climática reconstruida de los glaciares Illimani y Sajama.

Las variaciones anuales en la cantidad y composición química de las precipitaciones que se acumulan en los glaciares producen laminaciones que permiten contar las secuencias estratigráficas y así establecer una datación de los niveles de hielo. Se analizaron unos parámetros sobre toda la longitud del hielo, como la concentración en isótopos estables del agua (Deuterio/hidrógeno) y la conductividad eléctrica en continuo. Otros parámetros se midieron sólo en algunas partes de los testigos como la concentración de polvo indisoluble, las características mineralógicas del polvo encontrado y la concentración en algunos elementos químicos.

Un primer resultado importante es la variabilidad estacional de varios parámetros analizados: conductividad eléctrica, concentración en polvo, concentración isotópica. Esta estacionalidad de las capas de nieve tiene doble interés, no solamente fechar el testigo contando las capas sino también deducir la acumulación anual y las características de la atmósfera del pasado en las cumbres.

La "calibración" de la reconstrucción climática se basa sobre los datos isotópicos de las precipitaciones actuales. Los datos de la red de medición a nivel de los eventos de precipitación muestran la misma estacionalidad isotópica encontrada en los testigos de hielo. Aunque el Altiplano recibe principalmente su humedad del Océano Atlántico a través de la Amazonía, las mediciones isotópicas y químicas de los testigos de hielo muestran una huella de los eventos El Niño / La Niña originado en el Océano Pacífico. Esta relación confirma los testigos de hielo como archivo de alta resolución para los parámetros climáticos de larga escala:

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los climas pasados ayudaría enormemente a comprender la variabilidad climática de los climas actuales. Además, sería deseable hacer la distinción entre la variabilidad climática natural y la influencia del hombre. El programa NGT (Nieve y Glaciares Tropicales) (Pouyaud y al., 1995) se interesa en los archivos glaciares. Aunque la distribución espacial de éstos sea discontinua, desde el casquete glaciar Antártico hasta los glaciares que cubren las altas cumbres de las cadenas intertropicales, ellos presentan una continuidad temporal que permite una retrospectiva climática que puede alcanzar algunas centenas de miles de años en Antártico y una a tres decenas de miles de años para glaciares tropicales bien elegidos. La extracción de testigos de hielo realizada en estas condiciones privilegiadas dan registros continuos de las variaciones del clima pasado.

En los Andes, en particular, el estudio de los testigos de hielo comienza a complementar los trabajos anteriormente conducidos sobre testigos de sedimentos lacustres, o sobre corales del océano Pacífico, y permiten principalmente la reconstrucción de la variabilidad de los ENSO durante el Holoceno y en forma particular sobre el último milenio que sufrió la Pequeña Edad del Hielo. El análisis de parámetros específicos, químicos y/o isotópicos, de todos los testigos de hielo, debe permitir ver la marca continental de los eventos ENSO. En efecto, se sabe que los eventos ENSO actuales tienen un impacto significativo en América Latina modificando las transferencias atmosféricas. Más específicamente, en los Andes de Bolivia, se ha mostrado que modifican a la vez los totales de precipitación y la temperatura del aire, de ahí una influencia considerable sobre el balance de masa (e hidrológico) de los glaciares (Wagnon y al., 2000). Obtener en los hielos tropicales algunos registros locales de la actividad de los ENSO del pasado permitirá comprender mejor el rápido retroceso de los glaciares tropicales observado desde hace 20 años, y por lo tanto sobre las causas de este retroceso tener en cuenta el recalentamiento global y el cambio en la frecuencia y la intensidad de los eventos ENSO.

## METODOLOGÍA

Desde hace casi 20 años varias perforaciones de algunos testigos de hielo fueron realizadas sucesivamente en Perú (Quelccaya, 5670 m, USA, 1983; Huascarán, 6048 m, USA, 1993), en Bolivia (Sajama, 6542 m, USA y Francia, 1997; Illimani, 6350 m, Francia y Suiza, 1999) y en Chile (Cerro Tapado, 5550 m, Suiza y Francia, 1999) (TR). Al finalizar el año 2000 una nueva perforación será realizada por el mismo equipo franco-suizo en la cumbre del Volcán Chimborazo (6270 m) en Ecuador. Las dos últimas perforaciones realizadas durante estos últimos años en Bolivia (TR) en condiciones climáticas diferentes, han permitido complementar significativamente la cobertura espacial de las extracciones andinas de testigos de hielos. Al pie del Sajama, las precipitaciones medias anuales no superan los 300 mm (estaciones de Chungara, Parinacota y Chucuyo en Chile; estaciones de Sajama y Cosapa en Bolivia), cuando éstas alcanzan los 600 mm al oeste del Illimani (estación de La Paz, El Alto, Pinaya y Palca). Además, si se puede considerar que en el Illimani la única fuente de humedad de las precipitaciones es de origen Atlántico, en el Sajama orígenes de humedad del Pacífico, aunque débiles, siguen siendo posibles. Estos datos fijan los niveles de acumulación en los cuales se puede esperar en el Illimani y el Sajama, tomando en cuenta no obstante el rol importante de deflación del viento y la ablación considerable debida a la sublimación del manto nevoso superficial.

Por lo tanto, habría que obtener una datación precisa del registro de la variabilidad interanual del clima, y para ello diversos análisis se han programado (pero todavía no se han realizado todos) sobre los testigos llevados: química de los iones mayores y de los elementos traza, isótopos estables ( $^{18}\text{O}$  en el agua y las burbujas de aire,  $^2\text{H}$  en el agua,  $^{34}\text{S}$ ) e isótopos

radioactivos ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ), análisis de la estructura del hielo, conductividad eléctrica, cuenta y distribución de las partículas, mineralogía.

En los Andes, y sobre todo en el Altiplano, la señal isotópica de las precipitaciones muestra un comportamiento estacional unimodal (Figura 1): la composición isotópica de las precipitaciones de la estación de lluvias (de noviembre a marzo) es más ligera ( $\Delta^{18}\text{O}$  comprendido entre -10 y -20 ‰), lo que se debe al efecto de cantidad que es dominante; cuando las composiciones isotópicas de los raros eventos de precipitaciones de la estación seca (de abril a noviembre), son más pesadas ( $\Delta^{18}\text{O}$  superior a -10 ‰), porque la atmósfera es entonces claramente desaturada. Este modelo estacional de las variaciones intra anuales de la composición isotópica de las precipitaciones se conserva en el hielo resultante de la acumulación de las precipitaciones y luego puede ser utilizado para la separación, la cuenta y pues la datación de las capas anuales en el testigo.

Los resultados que van a seguir todavía son preliminares, en particular lo que se refiere a la escala de tiempo que no podrá ser confirmada sino con los resultados esperados de las dataciones absolutas por medio del tritio.

**Los resultados del testigo del volcán SAJAMA Sitio y análisis referidos** IRD ha contribuido de manera determinante, en junio y julio de 1997, en la perforación exitosa de 3 testigos (134, 132, 39 m) llevada a cabo en la cima del glaciar del Volcán Sajama (altura: 6542 m, 18°S, Bolivia) con el equipo de L.G. Thompson (Columbus, Ohio University, USA). El estudio de los dos primeros testigos, que cubren los últimos 25 000 años, puso en evidencia principalmente un aumento de las precipitaciones durante los 3000 últimos años (Thompson y al., 1998).

El tercer testigo (38.6 m) fue muestreado por el IRD y sus partenarios en una resolución casi mensual (recorte muestreado a 3 cm de intervalo) para estudiar con precisión las variaciones de la composición isotópica y química de las precipitaciones ( $\Delta\text{D}$ ,  $\Delta^{18}\text{O}$ ). Un perfil completo  $\Delta^{18}\text{O}$  ya fue realizado (Figura 2) y también se obtuvieron, a lo largo de los 24 primeros metros, resultados parciales en  $\Delta\text{D}$ , iones mayores y partículas (trabajos del equipo americano, no presentados aquí).

### Estrategia de datación del testigo

El testigo mismo (Figure 2) está constituido de "firn" (nieve evolucionada todavía no transformada en hielo) donde son visibles muchas capas de polvo y muchas capas de hielo (1 mm a 10 cm de espesor). Estas capas de hielo resultan de los procesos complejos de sublimación, de fusión y de recongelación debidos al amplio gradiente de temperaturas, a las variaciones rápidas de la radiación con la nebulosidad y a la acción de los vientos que pueden superar los 150 km/h. Los análisis mostraron que estas capas de hielo claramente definidas no perturban la señal isotópica media.

Los análisis químicos muestran también un ciclo estacional bien marcado con un claro crecimiento de las concentraciones químicas y en partículas durante la estación seca, debido al mismo tiempo a la sublimación y a los aportes de polvos.

La combinación de los perfiles isotópicos y químicos obtenida fue utilizada para el conteo de las capas anuales hasta 24 m (TR). Esta datación está parcialmente confirmada por las mediciones de tritio realizadas por el equipo americano sobre los dos testigos cuyo pico sitúa el año 1964 a 25,2 m de profundidad. Las mediciones en curso sobre el tercer testigo deben confirmar este resultado. Entre 25 y 38,6 m, la señal isotópica únicamente no permite la identificación decisiva de las capas anuales en ausencia de los resultados de análisis químicos.

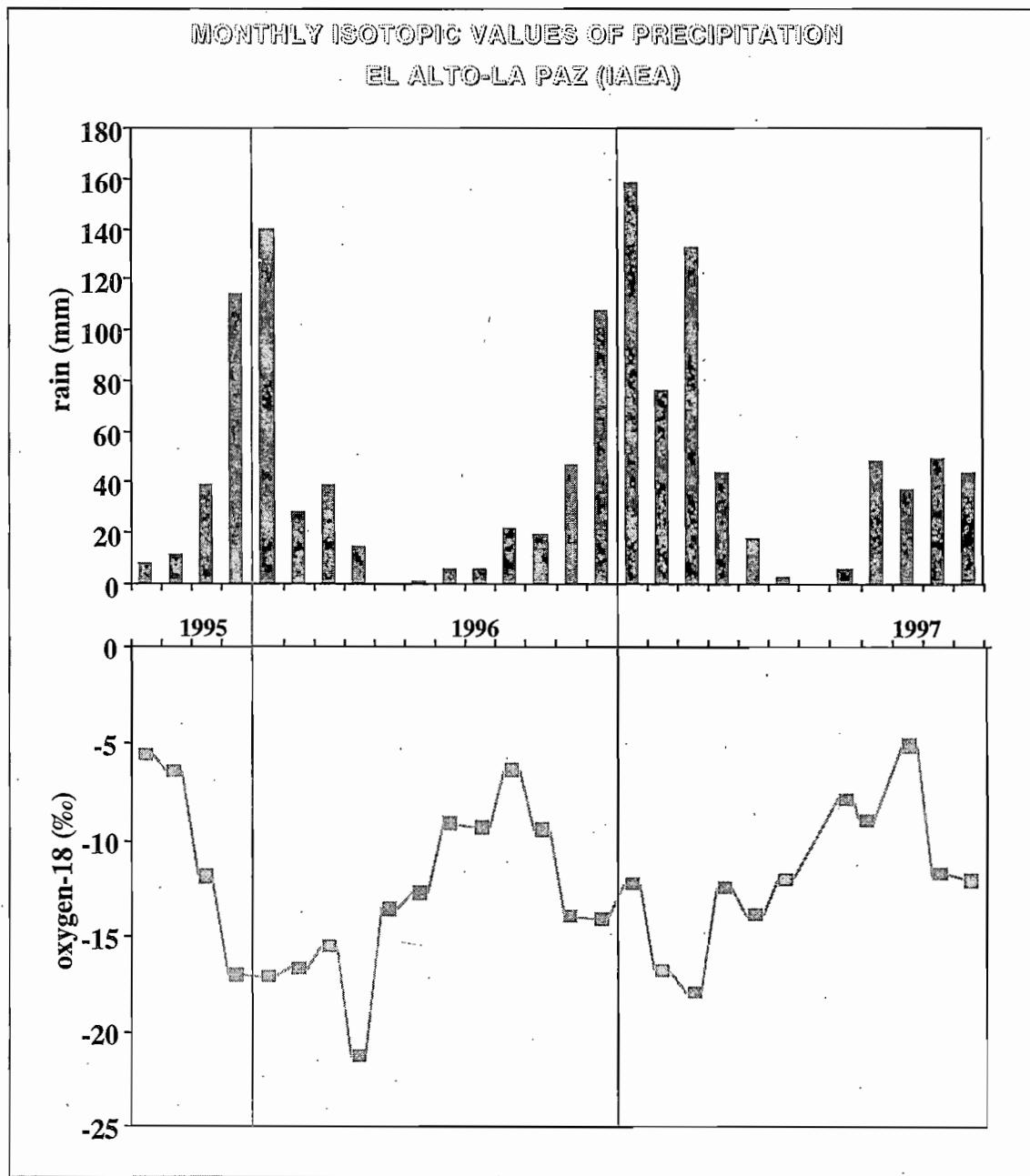


Fig. 1 : Comportamiento estacional unimodal de la señal isotópica de las precipitaciones

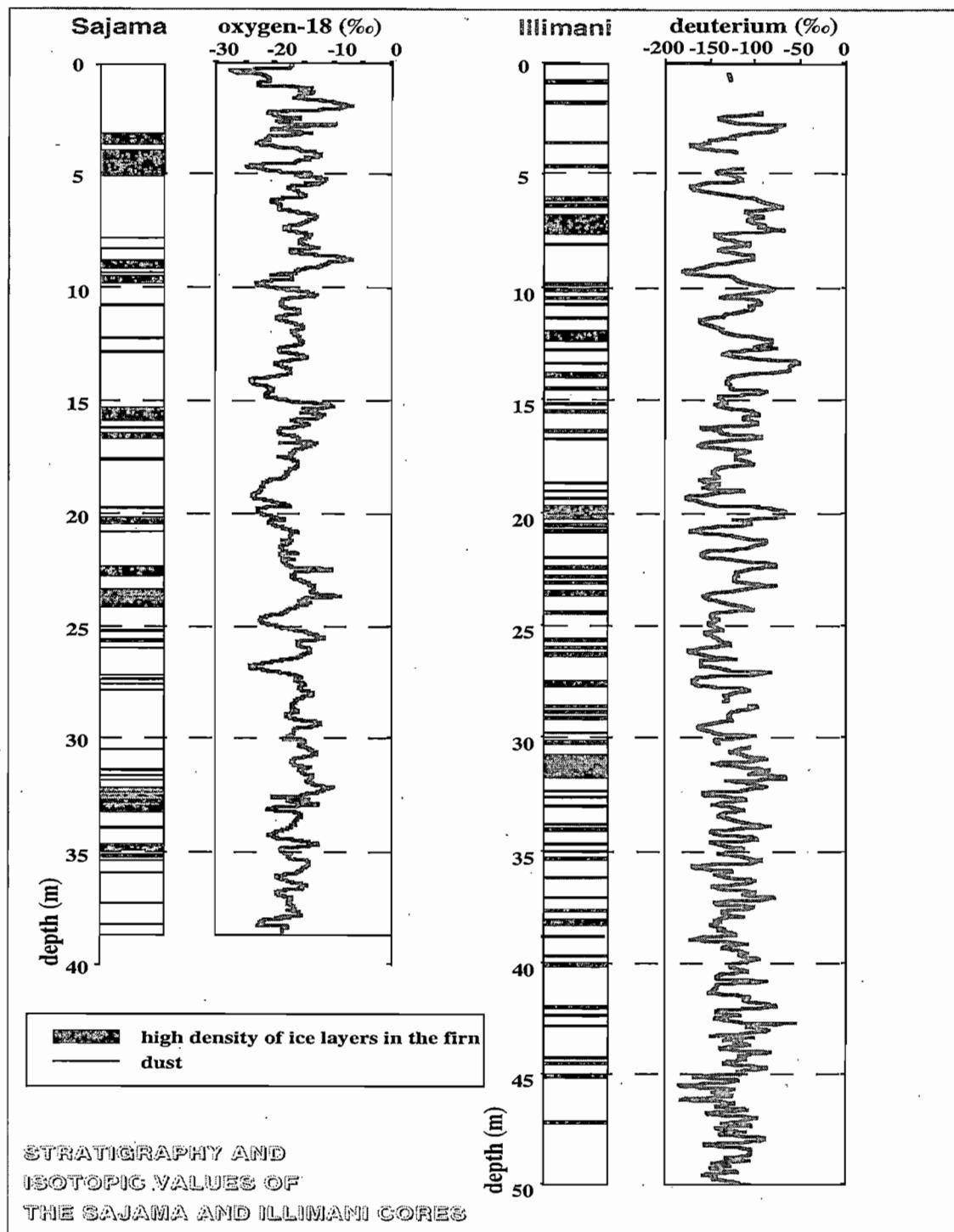


Fig. 2 : Estratigrafía y composición isotópica de los testigos "Sajama" y "Illimani"

Otro método fue probado para evaluar la edad de la base del testigo. Consistía en comparar la acumulación estimada según el testigo Sajama con la precipitación anual medida en diversas estaciones cercanas al pie del Sajama (TR). No hay correlación visible, de manera que este método no es performante para reconstituir la acumulación de los años faltantes. Pero el hecho que la acumulación haya sido por el momento estimada en años calendarios, es decir entre los términos medios de las estaciones de lluvias sucesivas, causa un error sistemático que puede ser el origen de la falta de correlación. Habrá por lo tanto que retomar este enfoque con años hidrológicos, cortados en estación seca. Finalmente, es cierto que según los años y en el transcurso del año, las velocidades de viento (y por ende la deflación eólica) como la radiación (y por ende la ablación por sublimación) así como los estados superficiales de la nieve, pueden variar considerablemente. La relación entre la cantidad de nieve que cae en la cumbre y la que queda (que constituye los testigos perforados) no es una relación simple...

A continuación, un análisis espectral de la señal isotópica fue realizado sobre los 38,6 m de hielo del testigo transformado en equivalente-agua (24,9 m), utilizando la función de densidad ajustada a las medidas de densidad individuales del hielo de los testigos del Sajama y del Illimani (TR). La única frecuencia que puede ser considerada como reflejando convenientemente el ciclo anual corresponde a una acumulación media anual de 436 mm, que confirma también la localización del pico de tritio de 1964 a 25,7 m y da una estimación final de 58 años al testigo entero. Finalmente, un modelo simple "Nye" de flujo (donde la edad es una función lineal de  $\ln(1/(1-z/H))$ , con  $z$ : la profundidad y  $H$ : el espesor local del hielo hasta el bedrock) da una estimación de 55 años como edad total del testigo.

Estos diversos enfoques conducen a resultados convergentes y homogéneos.

#### Relaciones con el ENSO

Las composiciones isotópicas, que capturan la estacionalidad actual (composición isotópica de las precipitaciones en La Paz) e integran la variabilidad de los parámetros climáticos, deben necesariamente reaccionar durante los eventos ENSO, asociados a grandes cambios en la dirección el origen de los flujos atmosféricos.

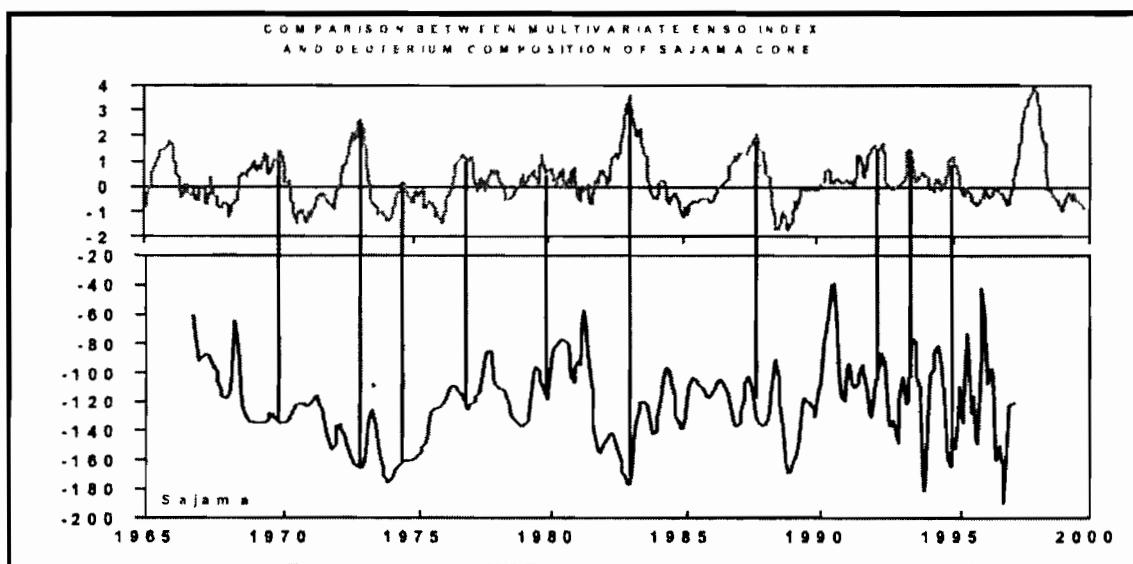


Figura 3: Comparación entre el MEI (Multivariate ENSO Index) y la composición en Deuterio del testigo Sajama

De hecho (Figura 3), la composición isotópica de las precipitaciones como la restituye la composición isotópica de los testigos (aquí el contenido en deuterio,  $\Delta D$ ) parece mostrar una tendencia a tener niveles más ligeros durante un período El Niño (en comparación con el index "MEI" multivariado del ENSO). No obstante, la correlación es muy imperfecta y por ejemplo un evento verdaderamente ligero es visible en el perfil que habría tenido lugar durante una La Niña. Está claro que, tan lejos del océano, la marca de los ENSO es mucho más compleja que en las localizaciones costeras. La adopción de ciertos criterios sobre la intensidad del ENSO, incluso otros criterios climáticos ligados a las transformaciones muy variables que experimenta la superficie y los primeros centímetros del manto nevoso antes de ser enterrados dentro del perfil que es el único conocido porque ha sido muestreado, debería permitir mejorar esta relación entre el ENSO y la información isotópica. Asimismo, la datación de la parte más baja del testigo permitiría extender el registro y por lo tanto estudiar mejor las correlaciones. Finalmente, sobre el estudio del testigo del Cerro Tapado (Chile, 30°S), parece que el "deuterium excess" podría ser el parámetro isotópico mejor ligado al ENSO, cosa que la obtención próximamente de los resultados completos del  $\Delta D$  y del  $\Delta^{18}\text{O}$  debería sin duda permitir verificarla también en el Sajama.

### **Los resultados del testigo del Illimani**

#### **Sitio y análisis referidos**

El IRD, el Paul Scherrer Institute y la Universidad de Berna han realizado, en junio de 1999, dos perforaciones profundas en el paso del Illimani, entre las cumbres Sur y Central (Bolivia, altura 6350 m, 16,37°S, 67,46°W) hasta el bedrock, que han proporcionado dos testigos de respectivamente 137 y 139 m. Sólo los 50 m superiores son presentados aquí para cubrir la misma escala de tiempo que el registro obtenido del corto testigo del Sajama (Figura 4).

Igual que en el testigo Sajama, algunos capas de hielo son claramente visibles, pero en este caso no son visibles capas de polvo. Además de las primeras mediciones isotópicas ya realizadas ( $\Delta D$ ), un perfil de conductividad casi continuo fue ejecutado a lo largo del testigo Illimani. Sólo se dispone de algunas mediciones químicas y de partículas, pero éstas reflejan también la estacionalidad con un incremento de las concentraciones químicas y del número de partículas durante la estación seca. El importante aporte de polvo durante la estación seca puede ser responsable de la acidez decreciente indicada por el decrecimiento de la conductividad asociada al enriquecimiento del nivel isotópico (estación seca) como se ha explicado anteriormente respecto al testigo Sajama.

#### **Estrategia de datación**

Una primera cuenta de las capas actuales fue realizado utilizando los perfiles isotópicos ( $\Delta D$ ) y de conductividad, con una clara dificultad para hacer corresponder éstas en los primeros metros (Figura 4). Por otro lado, no hay duda que algunos picos de conductividad en los 137 m del perfil pueden corresponder a eventos volcánicos bien conocidos (1992 - Pinatubo, 1963 - Agung, 1928 - sin referencia, 1883 - Krakatoa, 1815 - Tambora), que serán más tarde utilizados como tantas profundidades de referencia. El modelo de flujo "Nye" muestra un perfecto acuerdo con las dataciones de estas profundidades de referencia (Figura 5). Estos enfoques convergentes conducen a estimar una acumulación promedio anual de 560 mm para los 50 primeros m (es decir 71 años de registros del clima). El análisis espectral de la señal isotópica de estos 50 m de hielo transformados en equivalente - agua pone en evidencia varias frecuencias, una de las cuales podría corresponder sin duda al ciclo anual, ya que ésta conduce a una estimación de la acumulación promedio anual de 549 mm. Esta datación preliminar deberá evidentemente ser confirmada por la química, el tritio y las mediciones de concentración de partículas. La comparación con la señal ENSO no será entonces posible sino cuando la datación del testigo sea validada y confirmada.

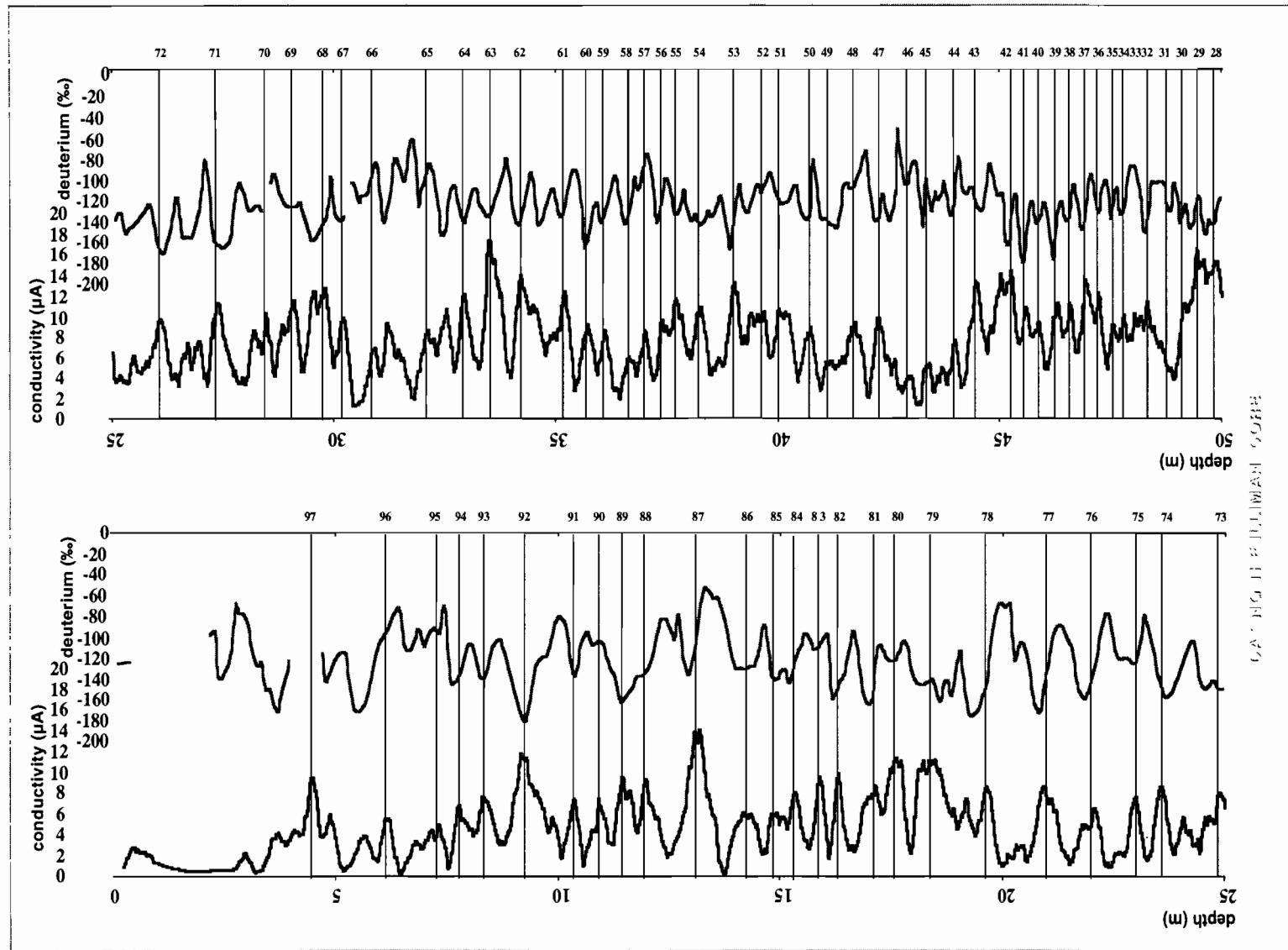


Figura 4: Datación del testigo “Illimani”

### Perspectivas futuras

Las próximas etapas del análisis del testigo Illimani serán:

- Validar la escala de tiempo con los resultados de las mediciones de tritio, las cenizas volcánicas, la estacionalidad de las variaciones químicas y las partículas,
- Modelizar los procesos de post-depósito que modifican sin duda la señal isotópica de la precipitación ( fusión - nueva helada, difusión en el firn, sublimación de superficie),
- Estudiar la correlación ENSO - isótopos sobre los 50 a 70 años de archivos climáticos obtenidos en cada testigo,
- Modelizar la relación entre la composición isotópica y el clima,
- Integrar los resultados con los de los otros testigos de hielo andinos para reconstruir una señal regional.

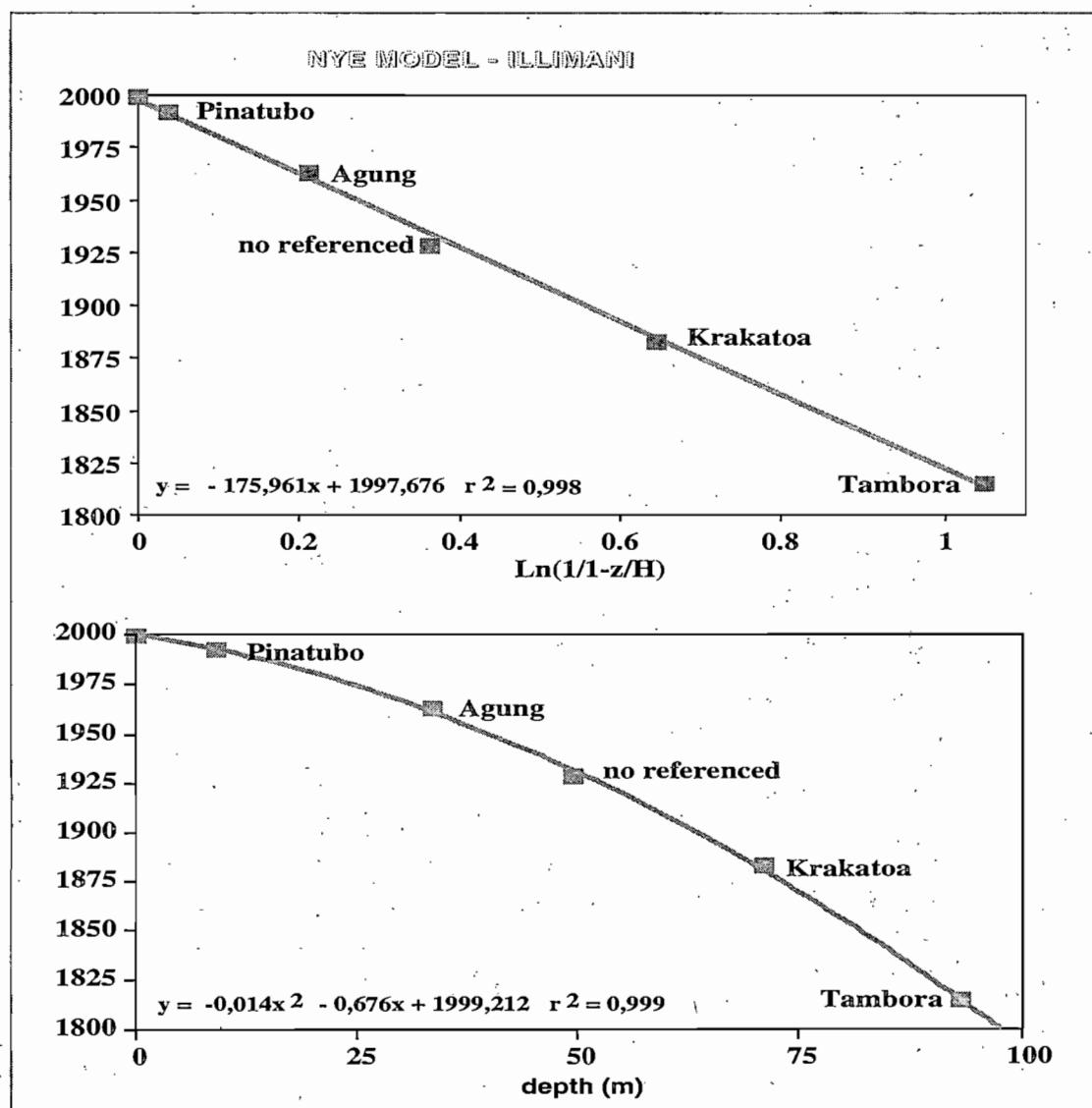


Figura 5: Modelo de flujo “NYE” para el testigo Illimani

## Otros resultados preliminares de la extracción de testigos "Illimani"

### Análisis químicos e isotópicos del testigo

Muchos de estos análisis están aún en proceso y los primeros resultados corresponden a los 50 primeros metros del testigo. Pero ya se dispone de la casi totalidad de los análisis del deuterio del conjunto del testigo, lo que permite trazar un primer perfil completo, aún provisional, de las concentraciones isotópicas en deuterio (Figura 6). La datación de los 50 primeros metros es provisional, así como hallar una correspondencia de los picos de conductividad con episodios volcánicos mayores; por el momento el más antiguo es el Tambora, en 1815. Como en el Sajama se espera encontrar los vestigios del Pinatubo en 1600. Finalmente, precisiones temporales pueden esperarse sea de dataciones  $^{14}\text{C}$  de las raras partículas orgánicas encontradas, sea de la comparación de los contenidos en  $\text{CO}_2$  de los gases de las burbujas de aire visibles en el hielo de las partes inferiores del testigo. Los comentarios que siguen están basados por el momento más sobre hipótesis que sobre certezas, excepto que a la profundidad de 100 m se estaría cerca de la fecha de 1800 (es decir en plena Pequeña Edad de Hielo).

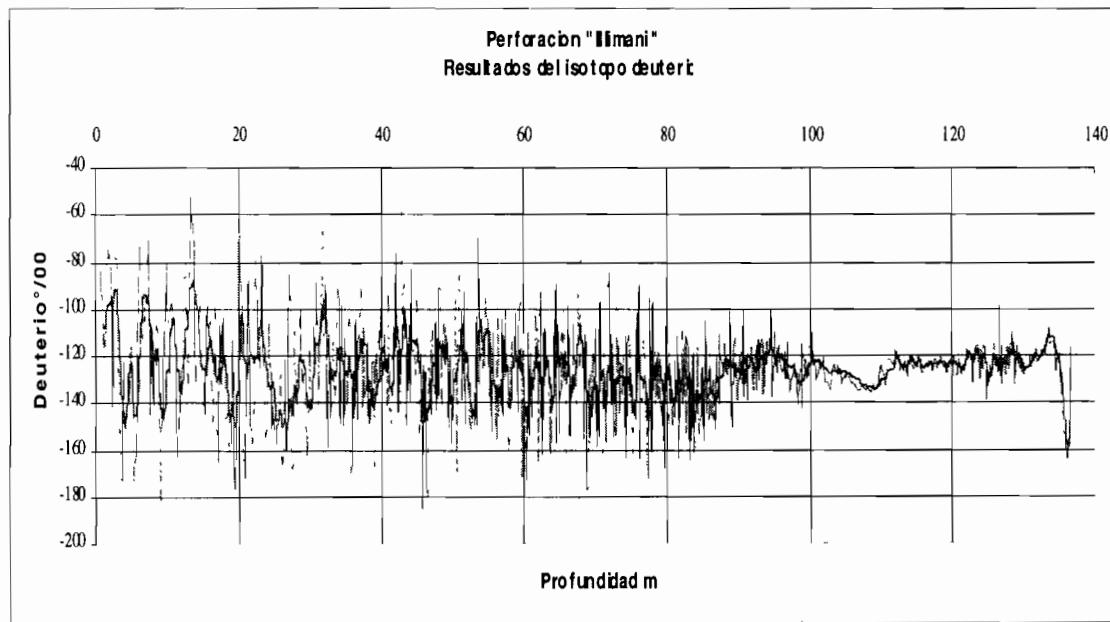


Figura 6 : Testigo "Illimani" : Resultados del isotópico deuterio

Encima, y por ende después de esta fecha, los 100 primeros metros del testigo son relativamente homogéneos con grandes amplitudes anuales de variaciones de la concentración isotópica pasando de - 80 a - 140, con extremos del orden de - 50 y -180 ‰. Estos extremos apenas parecen, por el momento, vinculados a fases positivas o negativas del SOI. Para verificar esto habrá que esperar los resultados del  $^{18}\text{O}$  y obtener así el deuterio excess para ser más sensible. Pero sabemos ya que las precipitaciones en la región del Illimani son menos sensibles a las fases del SOI que las de la región del Sajama. Se puede observar que esta amplitud de variabilidad parece ir disminuyendo, lo que corresponde al alisado efectuado por la compresión de las muestras, el mismo espesor de hielo corresponde a duraciones cada vez más cortas hacia abajo.

Entre las profundidades de - 100 m (y ya a partir de - 90 m) y de - 125 m, la amplitud de variación se reduce muy sensiblemente al punto de aislar entre los valores - 120 y -140 ‰,

entre - 100 y - 120 m. Abajo de - 125 m, la amplitud de la variación aumenta de nuevo, luego se estabiliza a - 130 m alrededor de - 120 °/00, antes de crecer hasta -110 °/00, luego decrecer abruptamente hasta - 160 °/00 a - 135 m luego volver a subir tan abruptamente con la base del testigo.

Parece, con todas las reservas necesarias por el instante, que esta muy fuerte discontinuidad de las concentraciones en deuterio, asociadas a una fuerte discontinuidad climática, podría corresponder a la fase del Younger Drias, al final del Tardiglaciado y antes del Holoceno precoz. Esto es muy recomendado para una comparación con los datos isotópicos del testigo completo del Sajama (Thompson y al., 1998). En este caso, la base del testigo estaría fechada de aproximadamente -13000 años BP.

Pero también es posible que el salto de amplitud de variación observado hacia - 100 m (que corresponde también en nuestros dos testigos a hielo en "schipps") corresponde a una discontinuidad de la masa glaciar: los 100 m superficiales actuales deslizándose sobre una capa de hielo más antigua pegada al bedrock. En este caso la base del testigo podría ser mucho más antigua. Se espera que las dataciones esperadas permitan desaparecer esta ambigüedad considerable.

#### Interpretación del perfil de temperatura en la perforación

Una cadena de termistencias había sido instalada por el equipo suizo después de la perforación en el pozo 1. La medición de un perfil completo de temperaturas fue efectuada allí durante 12 horas según la instalación, después de varias horas de estabilización de las temperaturas en la perforación (Figura 7).

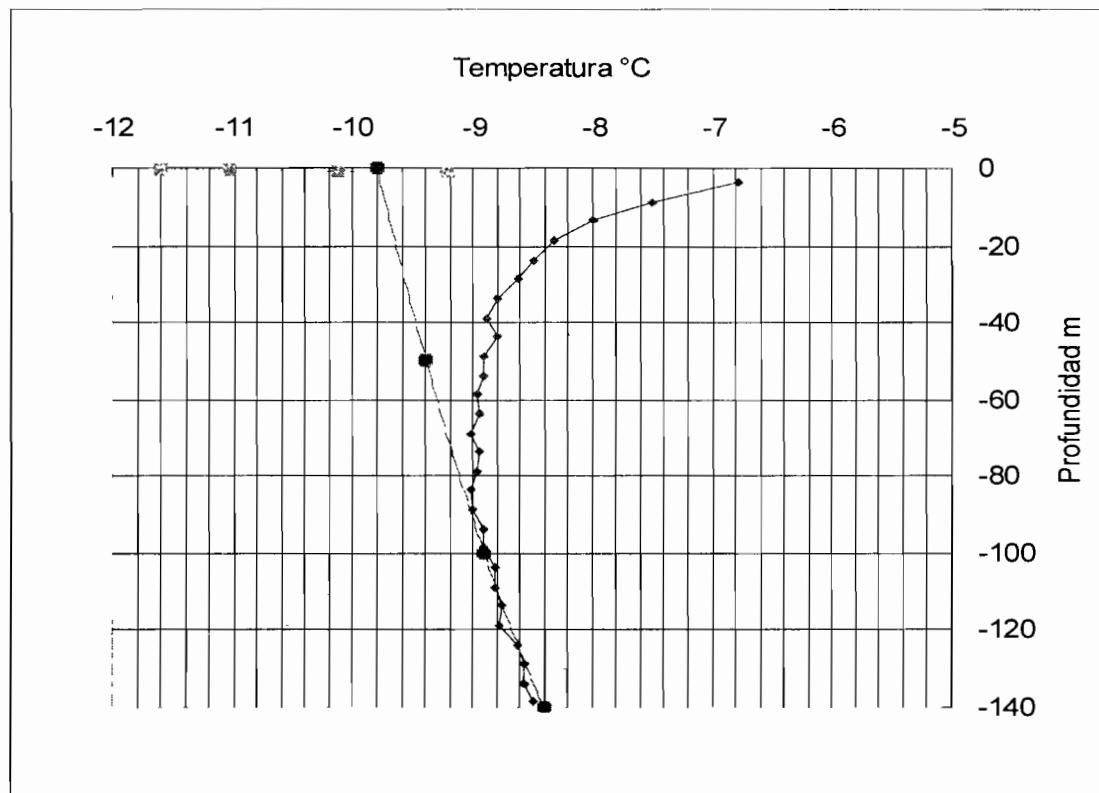


Figura 7 : Perfil de temperaturas en el testigo 1 del Illimani

El equipo IRD había instalado una estación meteorológica automática en la cumbre, que comprendía sondas de temperaturas a las profundidades de 16 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm y 100 cm. Las mediciones se hicieron durante varios días (Figura 7). En la superficie, después del período de estabilización de las sondas, se observa a - 16 cm una oscilación de las temperaturas (entre - 11 °C y - 14, °C) en oposición de fase con las temperaturas del aire. A 1 m de profundidad, la temperatura de varios días permanece estable a - 9,2 °C. El perfil profundo muestra una evolución curiosa. a 138,32 m de profundidad, al contacto con el bedrock, la temperatura es de - 8,5 °C correspondiente a la temperatura del suelo, luego la temperatura se enfria hasta alcanzar un mínimo de -9,0 °C entre 90 y 70 m de profundidad, antes de recalentarse hasta alcanzar un máximo de - 6,8 °C a 4 m de profundidad, último punto de medición de la cadena de termistancia. Si se considera la parte inferior, una modelización simple (Zweifel y al., 2000) conduciría a una temperatura de superficie de - 9,8 °C. La diferencia observada entre esta modelización y las medidas observadas muestra que los 138 m de hielo del glaciar Illimani están en un estado térmico transitorio provocado por un recalentamiento de las temperaturas de superficie. La aplicación de un modelo de recalentamiento transitorio que haría aumentar esta temperatura de superficie de 2,9 °C linealmente durante 50 años permite encontrar exactamente el perfil de temperatura medido con una temperatura de superficie (actual temperatura media del aire) de - 6,9 °C. Esta temperatura es coherente con las que fueron medidas en Chacaltaya (5249 m) (Francou y al., 1998) donde la temperatura media anual es de -1,1 °C. Comparada a los - 6,9 °C reconstituidos por el modelo transitorio en el Illimani a 6350 m, se alcanza un gradiente termométrico altitudinal de 0,52 °C/100 m, un poco más débil que los 0,7 °C/100 m generalmente admitidos en esta latitud. Pero la posición altiplánica de Chacaltaya con respecto a la del Illimani, sentinela avanzado ante bajas tierras amazónicas, hacen que sea razonable que las temperaturas en Chacaltaya sean más frías que en el Illimani a igual altura.

Esta interpretación, si tuviera que ser confirmada por otras mediciones en otras perforaciones, traduciría el efecto del recalentamiento climático actual y se podría escribir que los hielos del Illimani han conservado la huella, y por lo tanto la prueba, de este recalentamiento climático global objeto de investigación de muchos científicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Dürr, H., 1998. Etude de la variabilité du climat des Andes tropicales à partir d'une carotte de glace extraite du volcan Sajama (Bolivie). Rapport de DEA, LSCE-Univ. Paris VI, 97p.
- Francou, B., Ramirez, E., Mendoza, J., Guereca, J., Miranda, G. et Noriega, L., El Glaciar de Chacaltaya (Cordillera Real, Bolivia), Investigaciones glaciológicas (1991-1997). IRD-ORSTOM, La Paz, Informe N° 56, 1998.
- Pouyaud, B., Francou, B. et Ribstein, P.. Un réseau d'observation des glaciers dans les Andes tropicales. Bull. Inst. Fr. études andines. 1995, 24 (3) : 707-714.
- Thompson, L.G., Davis, M.E., Mosley-Thompson, E., Sowers, T.A., Henderson, K.A., Zagorodnov, V.S., Lin, P.N., Mikhalenko, V.N., Campen, R.K., Bolzan, J.F., Cole-Dai, J. et Francou, B., 1998. A 25,000-year tropical climate history from bolivian ices cores. Science, vol.282, p.1858-1864.
- Wagnon, P., Ribstein, P., Francou, B. et Sicart, J.E., 1999. The influence of the 1997-98 El-Nino-Southern.
- Zweifel, B., Funk, M., Gäggeler, H.W., Ribstein, P., et Schwikowski, M., Englacial ice temperatures at Illimani. Labor für radio und umweltchemie der universität Bern und des Paul Scherrer Instituts. Annual Report 1999, 2000.

## CHACALTAYA, EVOLUCION DE UN PEQUEÑO GLACIAR EN LOS ANDES DE BOLIVIA, 16 °S

Mendoza J.<sup>1</sup>, Francou, B.<sup>2</sup>, Ramírez, E<sup>2</sup>, Pouyaud B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IHH (Instituto de Hidráulica e Hidrología) – SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología)

<sup>2</sup> IRD (Institut de Recherche pour le Développement)

### Resumen

Desde 1991, se viene desarrollando un programa de monitoreo sobre el Glaciar de Chacaltaya, un glaciar de fácil acceso ubicado cerca a la ciudad de La Paz, Bolivia. Se ha reunido bastante información, sobre la evolución de este glaciar, desde la llamada Pequeña Edad de Hielo, contándose con información mas precisa desde hace 6 décadas. Entre esta información se tiene datos del balance de masa, se cuenta con información topográfica y se ha podido determinar la base rocosa del glaciar a través de una prospección geofísica empleando georadar. El retroceso del glaciar se ha acelerado en forma dramática a partir de los años 80, con una pérdida promedio de 1 m de agua por año. Desde 1992 el glaciar ha perdido, en promedio, la mitad de su espesor, dos terceras partes de su volumen total y el área de su superficie se ha reducido en mas de un 40%. Con la ELA ubicada 60 m arriba de la cumbre, la totalidad de la superficie del glaciar se ha convertido en zona de ablación. Si las condiciones no cambian en un futuro inmediato y su comportamiento sigue como hasta ahora, se puede pronosticar la extinción completa de este glaciar en los próximos 10 o 14 años. Chacaltaya es un glaciar representativo de la Cordillera Oriental Boliviana, donde el 80% son pequeños glaciares (< 0.5 km<sup>2</sup>). Una probable extinción de estos glaciares en un futuro cercano, podría afectar seriamente al régimen hidrológico y al recurso agua de las cuencas altas.

### INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, el retroceso de los glaciares desde la llamada Pequeña Edad de Hielo, en los Andes tropicales ha sido muy poco estudiado, estos se refieren a glaciares ubicados en la Cordillera Blanca del Perú (Ames y Francou, 1995; Hastenrath y Ames, 1995; Kaser y Georges, 1997) Estos estudios han evidenciado el acelerado retroceso de los glaciares a partir de los años 80 (Brecher y Thompson, 1993; Francou et al., 1995; Ames y Francou, 1995); así mismo se tienen estudios de la evolución glaciar en África Central (Hastenrath y Kruss, 1992).

El retroceso acelerado de los glaciares ubicados en los Andes se debe a cambios importantes en el clima a nivel global, que se han manifestado en un aumento de la temperatura (Díaz y Graham, 1996). Los estudios físicos sobre el balance energético que se vienen realizando en algunos glaciares, como Zongo en Bolivia (Wagnon et al., 1999) y Antizana en el Ecuador; permitirán establecer cuales son los factores principales que están causando el derretimiento, que se ha acelerado en la última década. Si las condiciones no cambian, y el retroceso acelerado continua, los glaciares pequeños que se encuentran a una altitud menor a los 5500 m.s.n.m. desaparecerán en las próximas décadas. Chacaltaya es un glaciar representativo de este grupo y los resultados que se obtenga de su evolución, pueden ser extrapolados a otros glaciares de características similares.

El estudio del glaciar de Chacaltaya, a cargo del IRD empezó el año 1991, en una primera instancia las contrapartes bolivianas fueron: la Compañía Boliviana de Energía Eléctrica "COBEE" y el Club Andino Boliviano; actualmente forman parte del estudio, además de las citadas, el Instituto de Hidráulica e Hidrología "IHH" de la Universidad Mayor de San Andrés "UMSA" y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología "SENAMHI".

El Chacaltaya es un glaciar que cuenta con un área menor a 0.1 km<sup>2</sup> y una elevación máxima inferior a los 5500 m.s.n.m., su cercanía y fácil accesibilidad desde la ciudad de La Paz, hace que sea muy apropiado para realizar un estudio a largo plazo. En el presente documento, se presentarán algunos resultados de la evolución que ha tenido y el futuro que le espera en los próximos decenios.

#### UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Chacaltaya es un típico glaciar de circo, ubicado entre los 21° de Latitud Sur y 68° de Longitud Oeste y a una distancia de 20 Km al norte de la ciudad de La Paz. El glaciar forma parte de la cuenca del río Choqueyapu que abastece en parte de agua a la ciudad. Las características principales del glaciar se resumen en la cuadro 1.

Cuadro 1: Características morfológicas principales del Glaciar de Chacaltaya a 1998

Rango Altitudinal	Largo	Ancho Máximo	Area	Area de la cuenca
5395-4730 m.s.n.m. (250 m)	580 m	230 m	0.06 km <sub>2</sub>	0.53 km <sub>2</sub>

Se puede acceder al glaciar durante todo el año, por una carretera desde la ciudad de La Paz; el Club Andino utiliza el glaciar como pista de esquí durante unos meses de la época húmeda. En el Laboratorio de Física Cósmica de la UMSA ubicado a 500 m al norte del glaciar y a la misma altura (5260 m.s.n.m.) se ha registrado datos de precipitación y temperatura del aire desde 1953 (Francou et al., 1998). Según esta información, la temperatura promedio para los últimos 45 años es - 1.1°C, con un rango que va desde los -0.3°C (Noviembre) y - 2.5°C (Julio). Las precipitaciones que se dan en el mismo son exclusivamente sólidas, la precipitación anual en promedio es de 500 mm, precipitándose el 65% de la misma durante el Verano Austral de Diciembre a Marzo.

#### Equipamiento del glaciar.

El glaciar en la actualidad cuenta con un equipamiento que permite realizar una serie de mediciones de los principales parámetros que hacen a su evolución, la figura 1 muestra la ubicación de los aparatos de medición, entre los cuales se tiene: cuatro pluviómetros totalizadores con un área receptora de 2000 cm<sup>2</sup>, una estación hidrométrica automática a la salida de la cuenca, una estación meteorológica automática instalada sobre el glaciar a una altitud de 5240 m.s.n.m. en la misma se mide temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento, se tiene una red de balizas que permiten medir la variación de la superficie del hielo información que se emplea para determinar el balance de masa del glaciar, finalmente se tiene una poligonal base que permite realizar la topografía del glaciar cada año.

### Evolución del volumen y del área del glaciar.

El glaciar de Chacaltaya alcanzó su máxima extensión durante la llamada: Pequeña Edad de Hielo allá por el año 1850, desde esta época el glaciar ha venido retrocediendo en forma sostenida hasta nuestros días. Se ha realizado una reconstrucción del mismo recurriendo a diferentes técnicas dependiendo de la información disponible. Para obtener una cuantificación aproximada de los volúmenes y las áreas del glaciar para el periodo 1850 – 1940 se empleo una ecuación logarítmica que relaciona el volumen con la superficie. A partir del año 1940 hasta el año 1995 se recurrió a fotografías tomadas del glaciar, en un caso oblicuas como la de 1940 y en otras las fotografías aéreas verticales como las de 1963 y 1983 de las que se realizó una restitución aerofotogramétrica. Desde 1996 hasta el presente se realizan levantamientos topográficos anuales del glaciar que permiten tener el relieve y por tanto obtener volúmenes y áreas con mayor exactitud. El año 1998 se realizó la determinación del espesor del glaciar empleando un georadar, la información obtenida permitió ubicar exactamente el lecho rocoso sobre el cual descansa el glaciar, de esta manera se puede calcular el volumen con mayor exactitud. La figura 2 muestra la evolución del contorno del glaciar desde 1850 hasta 1999.

El cuadro 2 muestra valores de las superficies y las áreas del glaciar desde 1850 hasta 1998, para obtener estos valores se han empleado diferentes métodos que están explicados en la misma y la figura 3 muestra gráficamente esta evolución.

**Cuadro 2. Valores de superficie y volumen del glaciar para el periodo 1850 – 1998**

Año	Superficie $10^6 \text{ m}^2$	Pérdida superficial en %	Volumen $10^6 \text{ m}^3$	Pérdida de Volumen en %	Base de la información
1850	0.527	0	29.951	0	Ecuación logarítmica
1940	0.223	58	5.264	82	Ecuación logarítmica
1963	0.195	63	4.086	86	Restitución aerofotogramétrica
1983	0.141	73	1.987	93	Restitución aerofotogramétrica
1992	0.104	80	1.114	96	A través de medición de balizas
1995	0.091	83	0.854	97	A través de medición de balizas
1996	0.086	84	0.689	98	Topografía del glaciar
1998	0.060	89	0.374	99	Topografía del glaciar

### El balance de masa a través de la medición de balizas.

Un glaciar es un reservorio natural de agua, es una masa de hielo (FRANCOU et al. 1992), permanente en la escala humana, que se alimenta de agua sólida (precipitaciones en forma de nieve y granizo), transforma esta agua en hielo y la restituye en forma de vapor (evaporación/sublimación) o líquido (agua proveniente del deshielo que escurre superficialmente). La ganancia o la pérdida de la masa de hielo, en un determinado tiempo, representa el balance de la masa que constituye el glaciar.

La alimentación es predominante en la parte alta del glaciar, denominada *zona de alimentación*; mientras que la ablación (derretimiento) se da preferentemente en la zona baja, denominada *zona de ablación*. La división de ambas zonas esta dada por una línea imaginaria, a lo largo de

la cual el balance de ganancia y perdida, es cero; esta línea denominada línea de equilibrio y conocida como E.L.A. (del inglés Equilibrium Line Altitude), cambia de altitud en el transcurso del tiempo desplazándose a lo largo del glaciar.

Como la dinámica del glaciar consiste en transferir la masa de hielo producida en la zona de alimentación hacia la zona baja donde va a derretirse, es en el nivel de la E.L.A. que la corriente de hielo alcanza su volumen máximo. La dinámica del glaciar depende de la cantidad de agua sólida que está almacenada en la zona de alimentación, de la cantidad que se derrete en la zona de ablación y de la morfología del lecho rocoso por el cual fluye. Si el balance es positivo, en un periodo de tiempo dado, el glaciar aumenta su espesor, aumenta su velocidad de desplazamiento, se dilata y el frente llega a avanzar; en síntesis el glaciar crece.

Si el balance es negativo, el glaciar se retrae y esta fusión de la masa de hielo se constituye en un aporte importante al sistema hidrológico de la cuenca a la que pertenece.

Se puede considerar a un glaciar como un *sistema* cuya *señal de entrada* viene del clima (cantidad de precipitaciones, temperatura y el comportamiento estacional de estos dos parámetros) y la *señal de salida* se manifiesta en una variación del volumen de hielo en movimiento, que se refleja en un avance o retroceso del frente y en una variación del caudal del curso de agua que sale del mismo.

La red de balizas distribuida sobre la superficie del glaciar permite conocer las variaciones del espesor. Las mediciones se realizan al principio de cada mes y los datos obtenidos permiten determinar el balance de masa mensual y anual del glaciar. Debido a que la variación de la superficie del glaciar no es uniforme, para la determinación del balance de masa de todo el glaciar, se ha dividido la superficie del mismo en áreas parciales que cubren desniveles de 25 m; cada una de estas áreas tiene una variación de espesor que corresponde al valor promedio de las mediciones hechas en las balizas que se encuentran dentro del área considerada. El balance de masa de todo el glaciar se obtiene por integración empleando la siguiente ecuación:

$$B_n = \int_{S_c} b_n dS + \int_{S_a} b_n dS$$

Donde:

$B_n$ : Balance neto específico

$S_c$ : es el área de la zona de acumulación

$S_a$ : el área de la zona de ablación

La figura 1 muestran la variación del balance de masa anual del glaciar para el periodo 1991 – 1999. En la misma se puede evidenciar que en todos los años, menos el periodo 1992-93, se han producido balances negativos; es decir el glaciar a perdido masa. La máxima pérdida se ha producido en el periodo 1997-98 con una pérdida de 3.5 m de agua, en este periodo se ha producido el último evento El Niño.

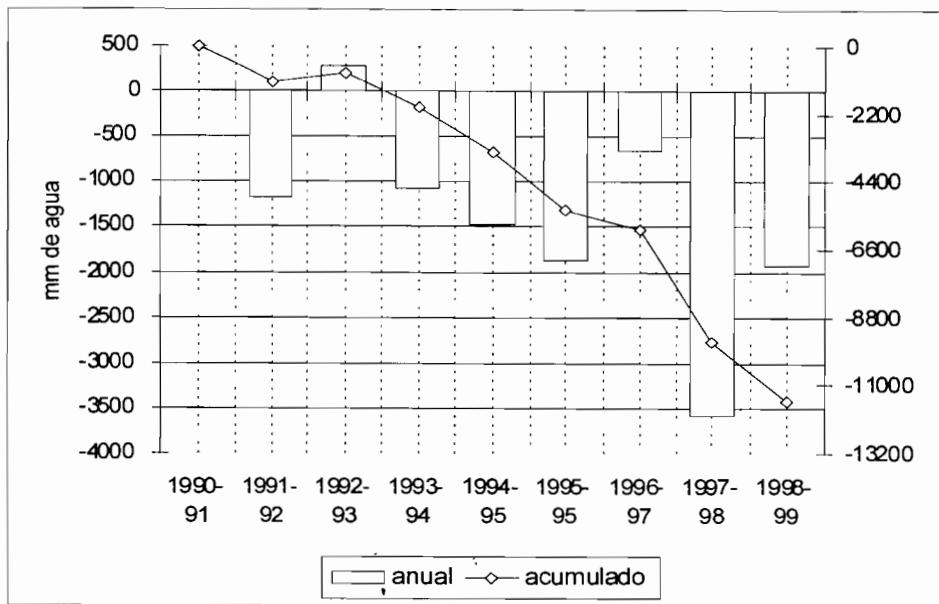


Figura 1. Balance neto específico anual del Glaciar de Chacaltaya

La precipitación es la fuente de recarga del glaciar, su variación en el tiempo incide en forma directa en el balance de masa del glaciar, la figura 2 muestra los valores de precipitación anual con los valores de balance de masa.

La figura 2 muestra una correspondencia directa de la precipitación con el balance de masa, es decir que cuando se tienen períodos con déficit de precipitación el glaciar tiene un balance acentuadamente negativo; la carencia de precipitaciones en la zona coinciden con eventos El Niño.

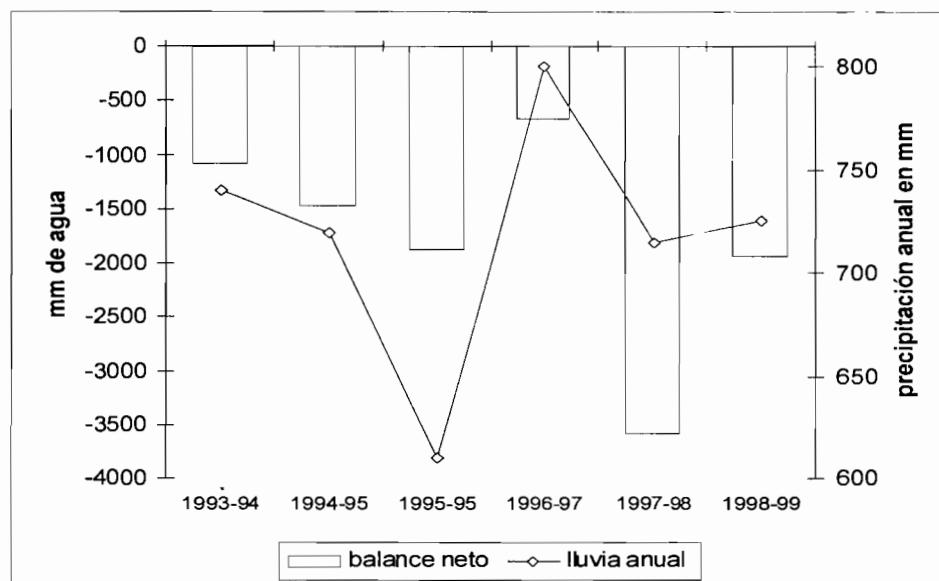


Figura 2. Relación entre la precipitación anual y el balance neto específico

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente, se concluye lo siguiente:

- Los glaciares ubicados en la zona intertropical, han experimentado un retroceso continuo desde la llamada Pequeña Edad de Hielo.
- Este retroceso se ha acelerado en forma dramática a comienzos de la década de los años 80, afectando seriamente a glaciares pequeños con extensiones menores a 1 km<sup>2</sup>, y ubicados a alturas menores a los 5500 m.s.n.m. como es el caso de Chacaltaya.
- Los glaciares tropicales son muy sensibles a los cambios del clima a nivel global, constituyéndose en excelentes indicadores de los mismos.
- La contribución de los glaciares en el recurso agua, es importante no solo en lo que se refiere al consumo humano sino también como factor regulador del balance hídrico en las cuencas que cuentan con los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ames, A. And Francou, B. 1995. Cordillera Blanca. Glaciares en la Historia. Bull. Inst. fr. Études andines 24,1,37-64
- Brecher, H.H. and Thompson, L.G. 1993. Measurement of retreat of Qori glacier in the Tropical Andes by ground photogrammetry. Phogrammetry Engennering and Remote Sensing 59,6, 1017-1022
- Hartenrath, S. And Kruss, P. 1992. The dramatic retreat of Mount Kenya's glacier 1963-1987: greenhouse forcing. Annals of Glaciology 16, 127-133.
- Diaz, H.F. and Graham, N.E. 1996. Recent changes in tropical freezing heights and the role of sea surface temperature. Nature 383, 152-155.
- Wagnon,P., Ribstein, P., Francou, B. And Pouyaud, B. 1999: Annual cycle of energy balance of Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia. Journal of Geophysical Research, 104, D4, 3907-3924.
- Francou, B., Ramírez, E., Mendoza, J., Guereca, J., Miranda, G. And Noriega, L. 1998. El Glaciar de Chacaltaya (Cordillera Real de Bolivia). Investigaciones glaciológicas (1991-1997). ORSTOM, Informe 56, La Paz, Bolivia.

## S.O.I. Y VARIABILIDAD DE LOS REGIMENES HIDRO- PLUVIOMETRICOS DE LOS VALLES ALTOS-ANDINOS DE BOLIVIA

**R. GALLAIRE <sup>(1)</sup>, B. POUYAUD <sup>(1)</sup>, P. RIBSTEIN <sup>(2)</sup>, Y. CABALLERO <sup>(1)</sup>, H. BALDIVIESO <sup>(3)</sup>**

(1) Institut de Recherche pour le Développement (IRD), CP 9214, La Paz, Bolivia

(2) Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR Sisyphe, Université Paris VI, case 123, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

(3) Compañía Boliviana de Energía Eléctrica, La Paz, Bolivia

La Cobee (Compañía boliviana de Energía Eléctrica) observa, desde 1973, los caudales de la alta cuenca del Zongo, a partir de la divisoria de cuenca, se distribuyen en tres canales (fig.1).

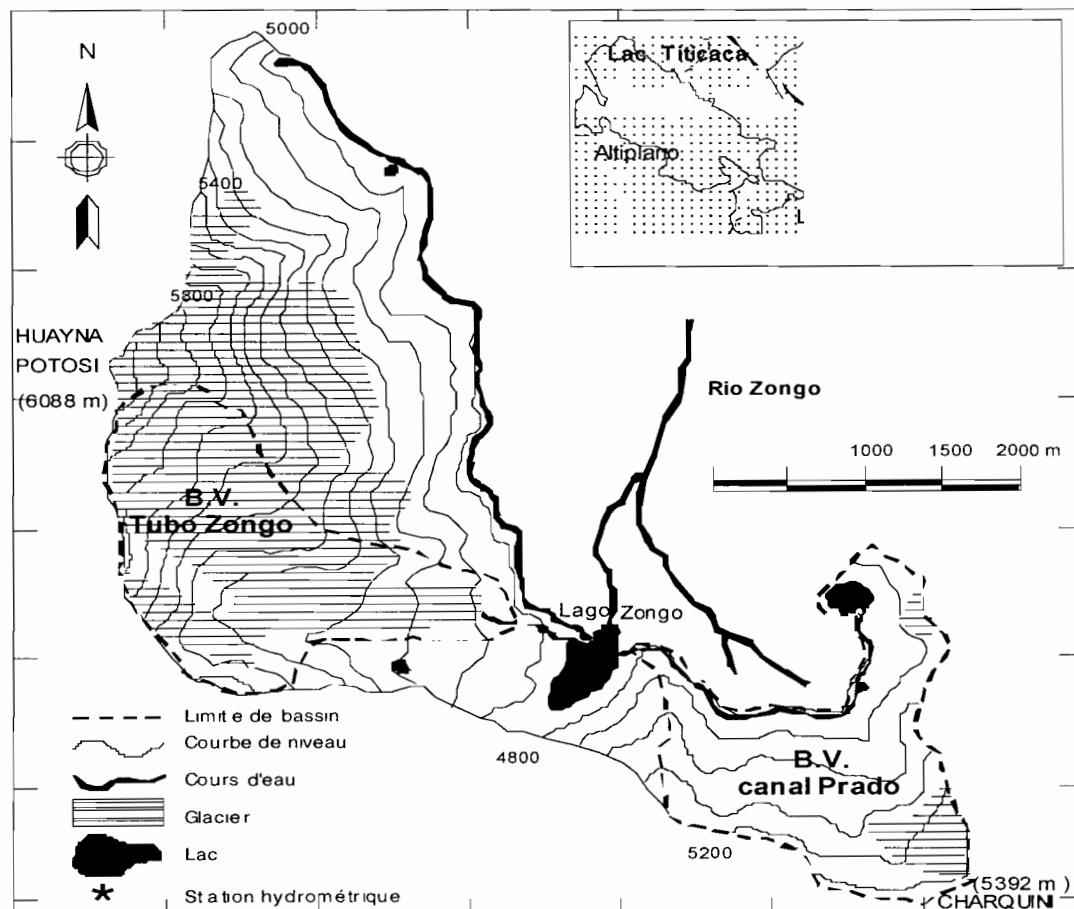


Fig. 1: Cuenca de Zongo

Desde 1991, el programa de investigación del IRD (ex ORSTOM), NGT (Nieves y Glaciares Tropicales) ha venido a completar el sistema de las observaciones hidro-climático del Zongo (Pouyaud y al 1995). Tres limnógrafos controlan más específicamente las cuencas de altura :

El del Zongo a 4830 m permite observar, desde 1991, los caudales de la cuenca de altura del Zongo (tres kilómetros cuadrados) congelando el 70% ( $2,1 \text{ km}^2$ ) y orientada SE,

El del Prado a 4750 m permite observar, desde 1995, los caudales de otra cuenca de tres kilómetros cuadrados (Charquini) congelando el 10% solamente, y orientada N,

El del Alpaca a 4730 m permite observar, desde 1997, los caudales de la cuenca glaciada del Zongo orientada E, de  $5,74 \text{ km}^2$ , congelando el 37%.

La comparación de los antiguos caudales Cobee y de los recientes del IRD permitió la reconstitución de tres crónicas de caudales sobre 28 años.

#### CAUDALES, PRECIPITACIONES Y SOI :

En la cordillera real la estación lluviosa está centrada sobre el período de octubre a marzo, lo que conduce a adoptar un año hidrológico de septiembre a agosto. Esta estación humeda corresponde también a la estación caliente. Es la principal causa de diferencia de funcionamiento entre los glaciares tropicales y los glaciares temperados y fríos (Kaser y al, 1996) : el período de hielo corresponde también al período de acumulación.

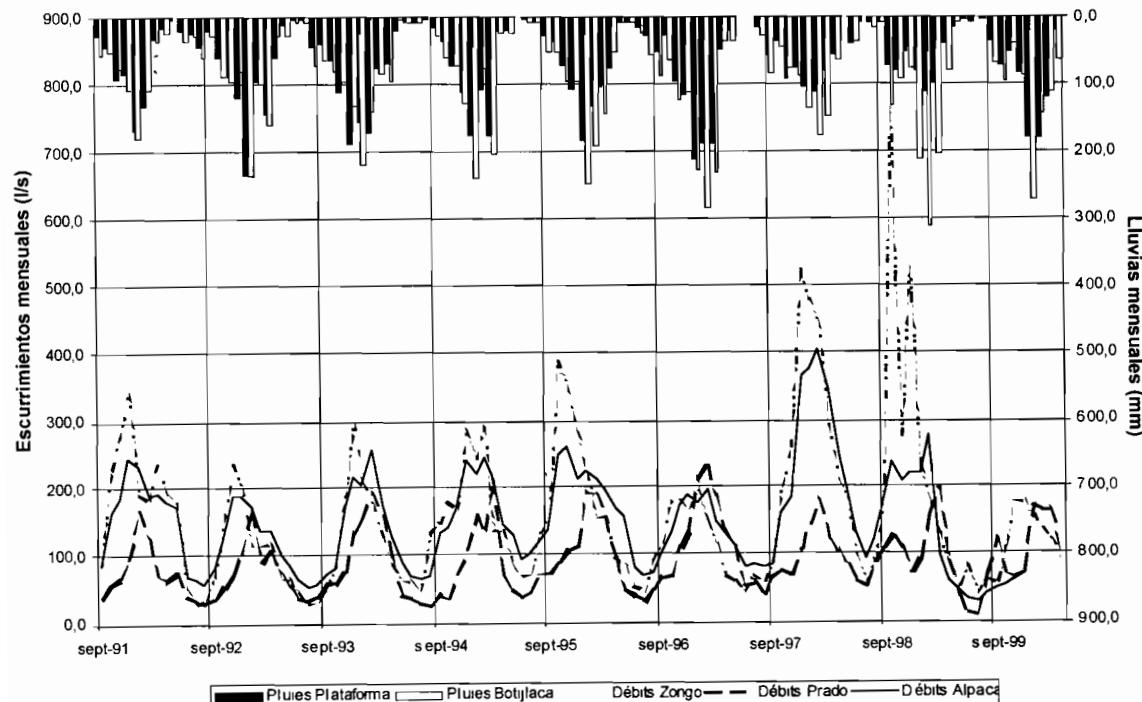


Figura 2 : Escala mensual de los escurrimientos de las tres cuencas del Zongo

Durante el período de 1973 a 1999 el balance hidrológico del glaciar Zongo aparece de sobra negativo; la lámina fluida (1280 mm/año) superior a la lámina precipitada (1000 mm/año) explica el rápido derretimiento de los glaciares tropicales (Francou y al, 1995). El programa NGT mostró que la fuerte irradiación tropical y el albedo eran responsables del deshielo glacial (Wagnon y al, 1999).

La figura 2 compara, a escala mensual, los escurrimientos de tres altas cuencas del Zongo a las precipitaciones mensuales de las estaciones cercanas, Plataforma y Botijlaca:

- Los escurrimientos estan bien en fase con las precipitaciones,
- Pero los más fuertes escurrimientos no coresponden a las precipitaciones mucho mas importantes (años hidrológicos 96-97 y 97-98 en el Zongo y Alpaca); y las cuencas presentan diferentes reacciones, en particular el prado.

La variabilidad interanual de los caudales glaciares del Zongo debe buscarse en otra parte que en la variabilidad de las precipitaciones.

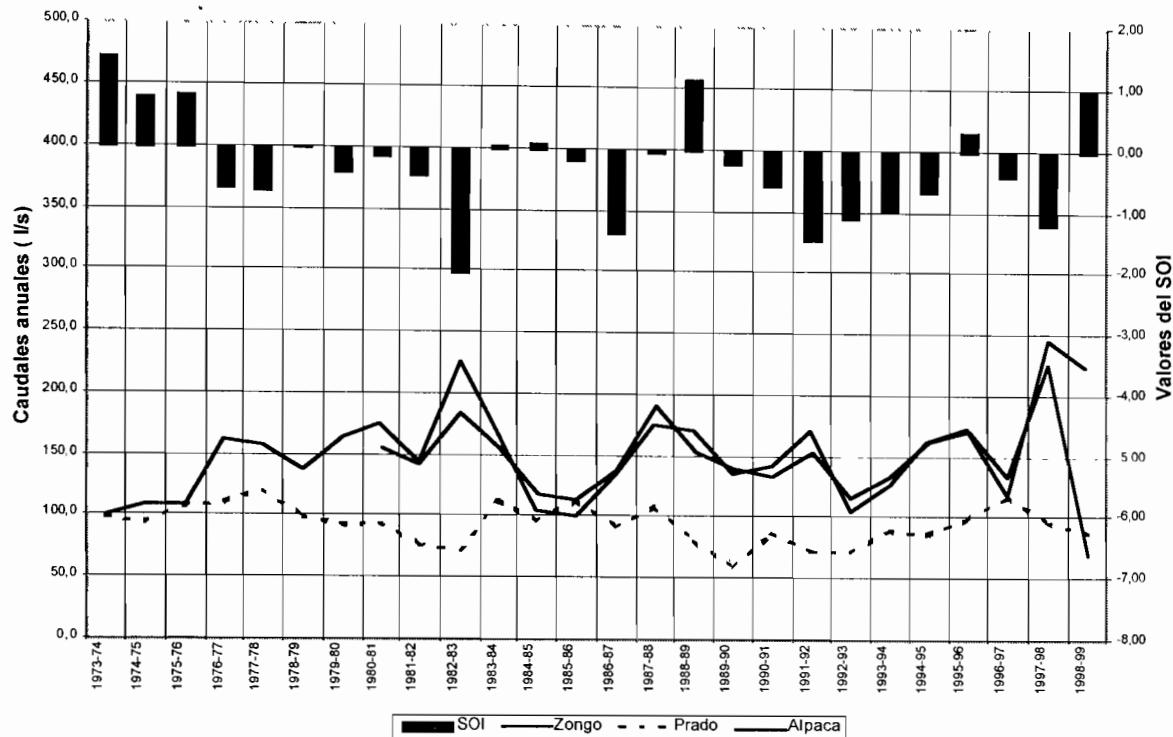


Figura. 3 : Escala anual de los escurrimientos de la cuenca del Zongo

La figura 3 compara los escurrimientos de las tres cuencas a los valores medianos anuales del índice SOI (Sur Oscilación Índice; diferencia centrada reducida de las temperaturas oceanicas entre Tahiti y Darwin, significativo cuando es superior a uno, por un año Niña, o inferior a menos uno por un año Niño).

La figura 3 muestra el papel de la parte en hielo de las diferentes cuencas:

Los caudales de la cuenca en debilidad del hielo del Prado son mínimos en situaciones el Niño (82-83, 91-92 y 97-98), al contrario de las dos otras cuencas más en hielo, Zongo y Alpaca, donde aparecen máximos. Porque la rroca cantidad de nieve no puede proteger bien el hielo de los glaciares.

A fin de mejorar la comparación entre los escurrimientos y los valores de SOI un cálculo de los valores centrados reducidos cuatrimestrales (que es la media sobre cuatro meses del valor mensual menos el valor media, sobre la desviación estandar) de los derrames (primera parte y segunda parte de la estación lluviosa, después sequía) es efectuado por los tres principales Niños observados.

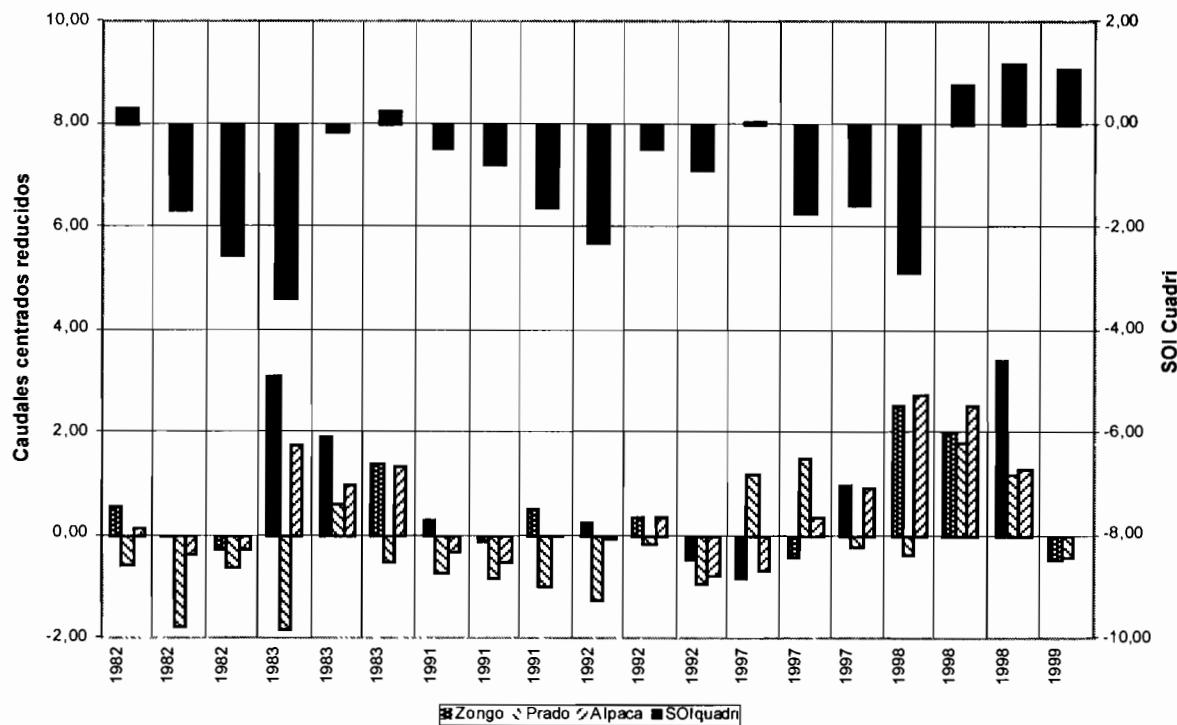


Fig.4 : Episodios El Niño y Escurrimientos de las cuencas del Zongo

La figura 4 muestra que durante estos episodios El Niño, los escurrimientos de las cuencas glaciares Zongo y Alpaca son muy excedentes, en particular durante la segunda parte de la estación lluviosa. Al contrario los escurrimientos del Charquini son deficitarios durante toda la estación de humedad, solamente ligeramente excedente en estación seca, porque, sobre esta cuenca debilidad en hielo, el régimen glaciar sustituye al régimen habitual de las nieves (Ribstein y al, 1995 ; Tamayo, 1995).

Los eventos La Niña no parecen tener una influencia sistemática sobre los escurrimientos. Así para el Zongo y Alpaca, como para el Prado, la Niña se traduce generalmente por un déficit de escurrimientos, pero también a veces por un excedente como en 98-99 (Ribstein y al, 1999).

#### Precipitación del valle del Zongo y el Niño:

A partir de la información pluviométrica existente sobre el valle del Zongo entre 1200 y 4800 metros pareció interesante observar la influencia, ya observado sobre las altas cuencas glaciares, del episodio El Niño, a alturas decrecientes.

La figura 5 muestra para cinco estaciones representativas que los SOI positivos (La Niña) se traduce generalmente en precipitaciones excedentes (algunas precipitaciones excedentes apareciendo sin embargo para SOI neutros, como en 1983-84 a 1987-88). Mientras que los SOI negativos (el Niño) están más sistemáticamente atados a las precipitaciones deficitarias. Pero para los Niños muy marcados como 97-98 parece que estos déficits pueden transformarse en exceso para las estaciones de bajas alturas, Harca y Cahua.

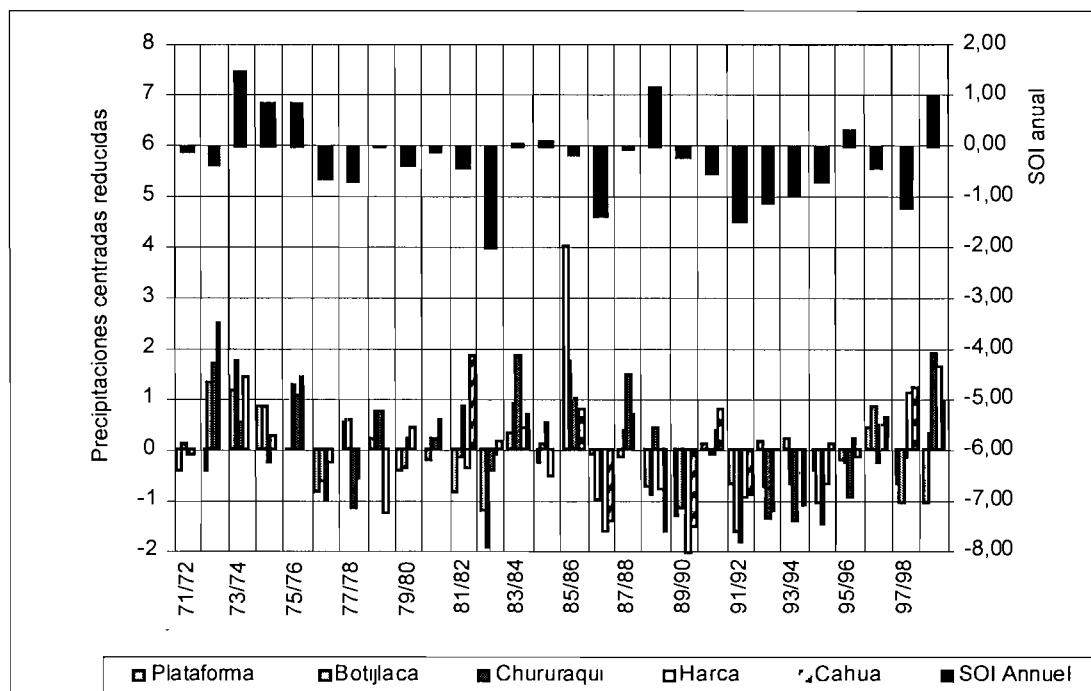


Fig. 5 : Precipitaciones excedentes y SOI.

La figura 6 permite detallar el fenómeno precedente, para los dos principales Niños (82-83 y 97-98), y todas estaciones, a escala cuadrimensual. La inversión más abajo, que se traduce para el aumento de la pluviometria, es particularmente nítido a principios y a fines de la estación lluviosa.

Los eventos el Niño - Niña parecen ser responsables de la variación de caudales de las cuencas glaciares en Cordillera Real: La baja de las precipitaciones y el alza de las temperaturas del fenómeno El Niño tienen por consecuencia un aumento de los caudales sobre las cuencas glaciares, y una disminución de los caudales sobre las cuencas a régimen de las nieves. El efecto deficitario del Niño sobre las precipitaciones de altitud se atenuan y se invierten a las bajas alturas andinas.

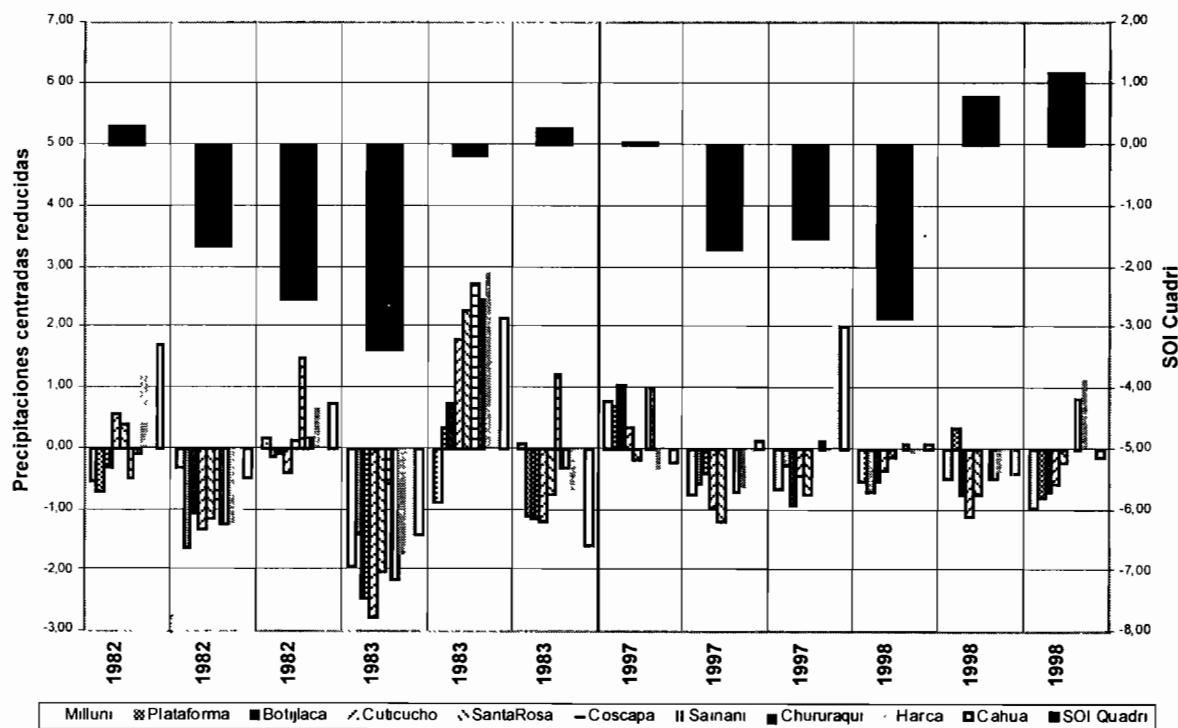


Fig.6 : Niño 82-83 y 86-87 en relación a la información cuadrimensual de las estaciones

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Francou, B., P. Ribstein, R. Saravia, & E. Tiriau, Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier : Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, 16°S, *J. Glaciol.*, 41, 61-67, 1995
- Kaser, G., S. Hastenrath, & A. Ames, Mass balance profiles on tropical glaciers. *Z. Gletscherkd. Glawialgeol.*, 32, 75-81, 1996.
- Pouyaud, B., B. Francou & P. Ribstein, Un réseau d'observation des glaciers dans les Andes tropicales. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 24(3), 701-714, 1995
- Ribstein, P., E. Tiriau, B. Francou, & R. Saravia, Tropical climate and glacier hydrology : a case study in Bolivia, *J. hydrol.*, 165, 221-234, 1995
- Ribstein, P., B. Pouyaud, J.M. Sicart, P. Wagnon, E. Ramirez & B. Francou, Variabilité climatique et fonctionnement hydrologique d'un glacier tropical. CNFGG, rapport quadrienal 1995-98, p. 279-287, 1999.
- Tamayo, W., Influencia de los glaciares en el comportamiento hidrológico de cuencas de alta montaña, estudio de casos en Perú y Bolivia. Tesis Universidad Nacional de Ancash. 1996
- Wagnon, P., P. Ribstein, P., B. Francou, & B. Pouyaud, Annual cycle of energy balance of Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, *J. of Geophysical Research*, 104, 3907-3924, 1999

## DINAMICA DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Guillermina Miranda (1), Rimort Chávez (2), Jaime Argollo (3), Fernando Figueroa (4)

- (1) Instituto de Ecología, CAE – UMSA, E-mail: [cicg@yupimail.com](mailto:cicg@yupimail.com) Casilla 11152, La Paz-Bolivia  
 (2) AASANA, Telf, 810205 E-mail: [rimort\\_bo@yahoo.es](mailto:rimort_bo@yahoo.es) La Paz-Bolivia,  
 (3) Instituto de Investigaciones Geológicas – UMSA, Telf. 793392, Fax 793124, La Paz-Bolivia  
 (4) AASANA, Telf, 822079, E-mail: [metereologia@mail.megalink.com](mailto:metereologia@mail.megalink.com); La Paz-Bolivia

### RESUMEN

En el presente estudio se hace una revisión bibliográfica de los acontecimientos que tienen relación con la dinámica de las precipitaciones en el altiplano boliviano, se contrastan y analizan los registros y con métodos estadísticos se comprueba la homogeneidad y consistencia de la información meteorológica de 50 años, de las estaciones de El Alto, Charaña, Oruro y Potosí, además de la información que se registra en el Océano Pacífico. Para luego relacionar las precipitaciones con los índices ENSO y MEI. Producto de esta actividad se tiene que el índice MEI, es el que más relaciona los eventos extraordinarios que se han presentado en el altiplano boliviano. También se ha constatado que existen eventos que no están relacionados con los índices estudiados, así como anomalías extraordinarias que se han presentado en el mar y que no tienen aparentemente relación con las precipitaciones. Para tratar de entender estas "anormalidades" que no están relacionadas con los índices y que aún no han sido descritas es que se recomienda que además de estudiar la interacción océano-atmósfera, también correlacionar la dinámica del traslado de vapor de agua, la magnitud de los vientos alisios, los balances de radiación, equilibrio energético y otros, además de tomar en cuenta las condiciones locales y sinópticas.

### INTRODUCCION

GENESIS DE EL NIÑO.– Grejie y Wait (1988) empiezan a describir el origen del fenómeno de El Niño con la aparición de la anomalía positiva de la temperatura de la superficie oceánica en la parte central de la Zona Ecuatorial del Pacífico.

Como ya es conocido, el aumento de la temperatura de la superficie del mar provoca la aparición de vientos anomáticos del Oeste en la Zona Ecuatorial y el debilitamiento de vientos del Este en sus periferias. Esto a su vez debe traer consigo el fortalecimiento de la circulación ciclónica en el campo del viento, intensificación del Upwelling y disminución de la temperatura de la superficie en la parte central de la zona no ecuatorial. Una vez aquí formada la anomalía negativa de la temperatura de la superficie del mar ésta se traslada con las Ondas Baroclínicas de Rossby hacia el límite Oeste del océano, donde como resultado de la reflexión estas ondas se transforman en Ondas Baroclínicas de Kelvin, las cuales se distribuyen hacia el lado del Ecuador y posteriormente a lo largo del mismo, al Este junto con las Ondas de Kelvin se

desplaza hacia el Este, la anomalía negativa de la temperatura de la superficie del mar. Por cuanto, sin embargo, la velocidad de fase de las Ondas de Rossby es mucho menor que la velocidad de fase de Kelvin, entonces el aumento de la temperatura en la parte Este del océano condicionada por el traslado de la anomalía positiva de la parte central de la zona del Ecuador, le sigue una disminución ocasionada por el traslado de la anomalía negativa en la parte central de la zona no ecuatorial. Es el retraso entre los momentos del aumento y disminución de la temperatura que se va a determinar el tiempo de desplazamiento de la anomalía negativa de la parte central en la zona ecuatorial que ocurre de uno a dos años. Análogamente (en el sentido de la sucesión y no del signo) el cambio debe tener lugar bajo la aparición en la parte central de la zona ecuatorial de la anomalía negativa de la superficie del mar (Kagán, 1992 ).

Conforme al modelo elaborado por los oceanógrafos de ORSTOM, este desplazamiento del Oeste hacia el Este de la reserva de aguas calientes nace a consecuencia de cortes de vientos del Oeste en el Pacífico Oeste y del debilitamiento de los alisios. Estos vientos del Oeste provocan la formación de corrientes de superficie que arrastran el borde oriental de la reserva hacia el Este. Desplazándose hacia el Este, la reserva de aguas calientes, se extiende tanto en superficie como en profundidad. El fenómeno de convección atmosférica se refuerza entonces por continuidad de los vientos del Oeste (se amplifican). Por eso las corrientes de superficie aumentan y la reserva de aguas calientes progresan todavía más hacia el Este. Simultáneamente los vientos del Oeste generan en la interfase de las aguas calientes de superficie y de las aguas frías profundas (50 a 150 m de profundidad), un "tren" de ondas ecuatoriales propagándose hacia el Este a una velocidad de 250 Km./día, llegando a las inmediaciones de las costas occidentales de América Latina al cabo de dos a tres meses, estas ondas detienen la subida de aguas frías profundas (Upwelling) que vuelven a enfriar habitualmente esta región costera y contribuye así al recalentamiento de la parte Este de la Cuenca del Pacífico. La anomalía El Niño está entonces en su fase de pleno desarrollo.

**INDICE DE OSCILACION DEL SUR: IOS.**- Este Índice está calculado en base a la diferencia de presiones atmosféricas entre Tahití (Polinesia Francesa) y Darwin (Norte de Australia). A su vez el cambio de presiones, entre estos dos puntos, provoca una modificación simultánea del régimen de los vientos y de las corrientes oceánicas a lo largo del Ecuador, así como el desplazamiento de una inmensa reserva de aguas calientes situada al Oeste del Pacífico Ecuatorial, (Pouyand, 1998). Procesos que llegan a afectar a la dinámica de la circulación general de la atmósfera.

**EL NIÑO – INDICE DE OSCILACION DEL SUR: ENSO.**- El ENSO se manifiesta por las variaciones de temperatura de las aguas de superficie en el Pacífico Este y Central y el cambio de presiones atmosféricas o IOS. Un aumento significativo de temperatura de las aguas de superficie de Mar y una disminución anómala del IOS, corresponde a un ENSO (+) o El Niño. Una disminución significativa de la temperatura de la superficie del mar y un incremento anómalo del IOS, se refiere a un ENSO (-) o La Niña.

**INDICE MULTIVARIABLE ENSO: MEI.**- El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) es la más importante conexión atmósfera-océano que causa una variabilidad climática a escala de tiempo interanual. Se intenta monitorear al ENSO basado en un Índice Multivariante (MEI, abreviatura del término en Inglés Multivariate ENSO Index) el cual considera seis variables principales sobre el Pacífico Tropical. Estas seis variables son: La presión a nivel del mar, viento zonal y meridional, componentes del viento en superficie, temperatura de superficie del mar, temperatura del aire y grado de nubosidad. Estas observaciones están colectadas y publicadas en COADS por muchos años. El MEI está calculado separadamente para cada uno de los doce estaciones bimestrales móviles. (dic/ene, ene/feb, ..., nov/dic).

Posterior a la filtración de los campos individuales dentro de la agrupación, el MEI es calculado en la componente principal de su primera fase de todas las seis combinaciones de campos observados. Esto es consumado por la normalización total de las variables para cada uno de los campos y luego la extracción del primer componente principal en la matriz covariable de la combinación de los campos. Con el fin de mantener comparable el MEI todos los valores de las estaciones son estandarizados con respecto a cada una de las estaciones para el periodo 1959/1993. El MEI se extiende hasta la primera semana del siguiente mes basado en observaciones de embarcaciones y boyas marinas en tiempo real cercano (NCEP). Los valores negativos del MEI representan a la fase fría de ENSO es decir La Niña MEI (-) y los valores positivos representan la fase cálida de ENSO, MEI(+) (Klaus, 1999).

**ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL: ZCIT.** - La zona de convergencia intratropical es un área de encuentro de vientos alisios, no es uniforme a lo largo de la franja ecuatorial terrestre, sino que presenta estructuras muy variadas de una longitud a otra.

Sobre el continente sudamericano, la Zona de Convergencia Intertropical - ZCIT se presenta en aglomeraciones de conjuntos convectivos que dificultan la delimitación precisa de la franja de encuentros de vientos. La presencia de un cuerpo de aire autónomo sobre la cuenca del Amazonas (aire ecuatorial cálido y muy húmedo) propicia los ascensos, que se manifiestan en disposiciones anárquicas de complejos convectivos. La ubicación de estas masas nubosas oscila entre 5°N (Venezuela y Colombia) y 10 ° S (límite meridional de la franja convectiva durante el verano austral), siendo Bolivia un área de influencia periférica (Olcina, 1997).

La Zona de Convergencia Inter Tropical – ZCIT interactúa con los sistemas frontales provenientes del sur e incide sobre la distribución de las precipitaciones de verano en el altiplano.

La ZCIT tiene influencia sobre el territorio boliviano en los meses lluviosos que se inician generalmente en el mes de octubre, acentuándose en los meses de diciembre y enero y que esta relacionado con el número de horas sol (aprox. 13 horas) y que empieza a desplazarse hacia el Norte en marzo. Su ubicación varía según el días y el mes, en función al aporte de incursión de sistemas frontales provenientes del sur, aporte de humedad, depresión bárica del sur de Bolivia, horas sol y la interacción con otros sistemas de mayor escala que forman parte de la circulación general de la atmósfera, tales como el anticiclón del Pacífico Sur.

**MASAS DE AIRE DEL SUR O SURAZOS.** - La incursión de estos frentes produce generalmente actividad convectiva en 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 provenientes posiblemente del pacífico que tienen influencia en invierno, se presenta en este tiempo como nevadas principalmente. 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 llegándose a disiparse en las tierras bajas del sur de Bolivia, por efecto de la fuerza de Coriolis.

## AREA DE ESTUDIO

El Altiplano de Bolivia, situado a 3800 m de altura promedio, se encuentra en el corazón de Los Andes (66-71° de longitud Oeste y 14-22° de latitud Sur) entre la Cordillera Oriental y Occidental que culminan a mas de 6000 m. Tres grandes cuencas lacustres caracterizan a esta vasta depresión: La Cuenca del Lago Titicaca al Norte, la Cuenca del Lago Poopó al centro y las Cuencas de los Salares de Coipasa y de Uyuni al Sur.

Hoy en día, las extensiones lacustres (Titicaca, Poopó, Coipasa y Uyuni) son el reflejo del gradiente pluviométrico muy marcado que existe entre el Noreste (Cordillera Oriental, Cuenca del Lago Titicaca) y el Sudoeste del altiplano (Cordillera Occidental, Cuenca del Salar de Uyuni), las precipitaciones pasan de 1100 mm/año a menos de 200 mm/año, mientras que la evaporación estimada alcanza valores cercanos a 1500 mm/año en el Norte a, 2000 mm/año en el Sur.

El clima del altiplano se caracteriza por ser árido con dos regímenes de precipitación: una temporada seca y otra húmeda. Si consideramos que el aporte de vapor de agua para Sudamérica proviene en un 70% del Océano Atlántico y el restante porcentaje del aporte propio sobre todo de la región amazónica y además esta humedad es concentrada en época de lluvias por la ZCIT la cual determina la estación húmeda de Bolivia, incluyendo el Altiplano. Durante el invierno las precipitaciones que se registran en el altiplano se relacionan en menor número con la incursión de frentes del sur, en este caso probablemente el aporte de humedad proviene del Oeste por la frecuencia de vientos de esta dirección, y también la evaporación de las aguas del lago Titicaca significa un aporte de humedad para el altiplano con mayor énfasis para el sector norte

## OBJETIVO

Estudiar la dinámica espacio temporal de las precipitaciones pluviales en el altiplano boliviano, desde 1950-1999 y su relación con los Índices ENSO y MEI.

## METODOS E INFORMACION DE BASE

### - Metodología

El método que se utilizó para alcanzar los objetivos planteados, está basado en un análisis estadístico: promedio, desviación estándar, pruebas de T y F, correlaciones gráficas y estandarización de toda la información que se ha utilizado en el estudio.

### - Información de base:

LUGARES DE REFERENCIA	PARAMETROS	UBICACIÓN GEOGRAFICA		ALTITUD m.s.n.m.
		LATITUD	LONGITUD	
Niño-4	Temperatura superficial del mar	6° - 5°	160°E - 150°W	0
Niño-3+4	Temperatura superficial del mar	7°N - 5°S	170°- 120°W	0
Niño-3	Temperatura superficial del mar	5°N - 5°S	150° - 90°W	0
Niño-1+2	Temperatura superficial del mar	0 - 10°	90°- 80°	0
SOI	Diferencia de presiones			
MEI	TSM, la presión del nivel del mar, zonal y meridional viento de la superficie, T. Superficial del Mar, Temperatura y nubosidad			
El Alto	Precipitación mensual y número de días con precipitación	16°30'	68°13'	4058
Charaña	Precipitación mensual y número de días con precipitación	17°35'	69°26'	4061
Oruro	Precipitación mensual y número de días con precipitación	17°57'	67°04'	3702
Potosí	Precipitación mensual y número de días con precipitación	19°32'	65°43'	3936

## RESULTADOS

- Mediante análisis estadístico se llegó a verificar la consistencia y homogeneidad de la información de Niño 4, Niño 3+4, Niño 3, Niño 1+2, IOS, MEI y la información de precipitaciones de las estaciones meteorológicas de El Alto, Charaña, Oruro y Potosí. Todos los registros corresponden a 50 años, y se toma el promedio como condición "normal" de la dinámica de las precipitaciones, además de un rango comprendido entre los valores de desviación estándar.
- En la figura N° 1, se pueden observar las variaciones temporales de la temperatura superficial del mar en diferentes puntos de observación y la relación de estas con el Índice de Oscilación del Sur. La relación de estos parámetros, especialmente la información del Niño 1+2 con IOS, nos indica los años en que se manifestaron los eventos de El Niño y la Niña, existiendo también otros años en el que la TSM subió o bajó, en referencia al promedio, pero que no estaban relacionados con la presión atmosférica que se registra en Tahití y Darwin (ver Fig. 2).

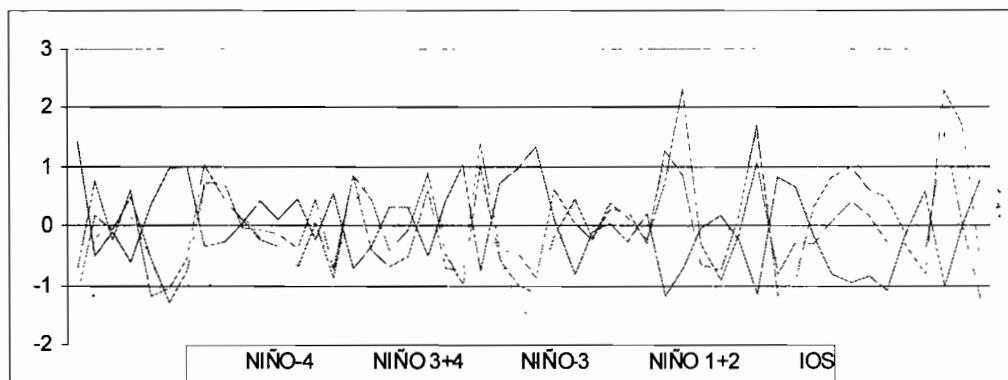


Fig 1: Comparación Niño 4, 3+4, 3 y 1+2 con IOS

- Determinados los años en que ocurrieron anomalías en el mar (ENSO + y -) se relacionó esta información con las precipitaciones anuales del año hidrológico (julio-junio), de las estaciones de El Alto, Charaña, Oruro y Potosí. En las gráficas 3, 4, 5 y 6 se puede apreciar que en algunos años existe una correspondencia aparentemente directa entre los eventos ENSO (+) y ENSO (-). Pero existen años en que los déficit o excesos de precipitación aparentemente no están relacionados con estas anomalías. En el cuadro 1 y 2 se presentan los "excesos" y "déficit" de precipitación de las estaciones de El Alto, Charaña, Oruro y Potosí, así como los años en que se presentó ENSO (+), ENSO (-), y MEI (+) y MEI (-).

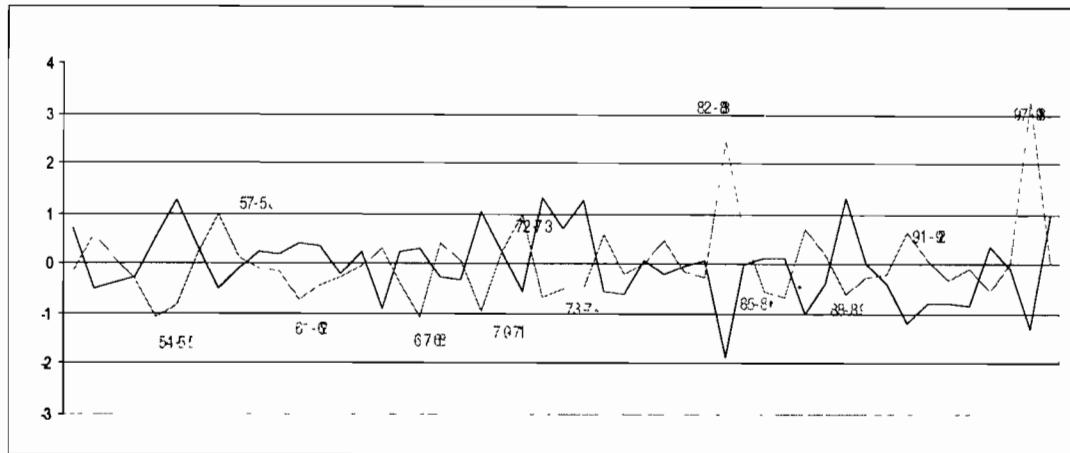


Fig. 2: Relación de la Temperatura Superficial del Mar Niño 1+2 con el IOS: ENSO (+) Y ENSO (-)

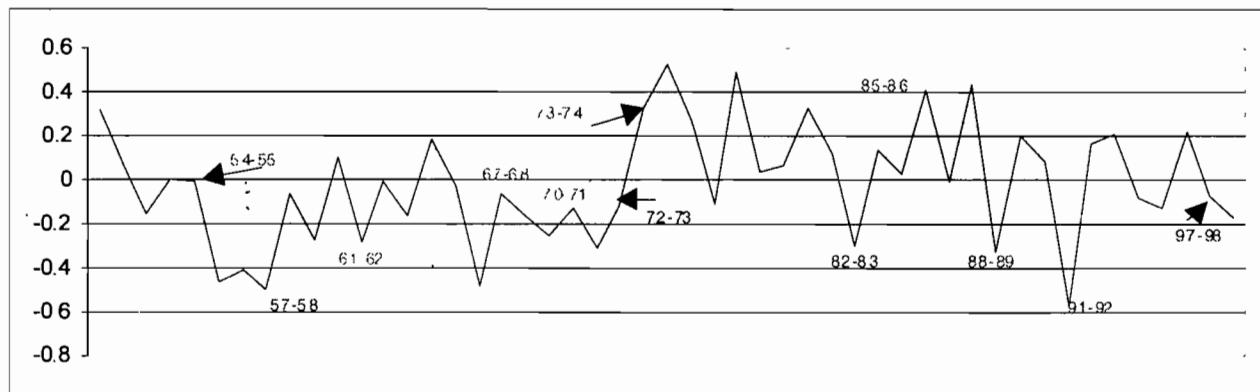


Fig. 3: Precipitación El Alto y años de ocurrencia de anomalías de TSM

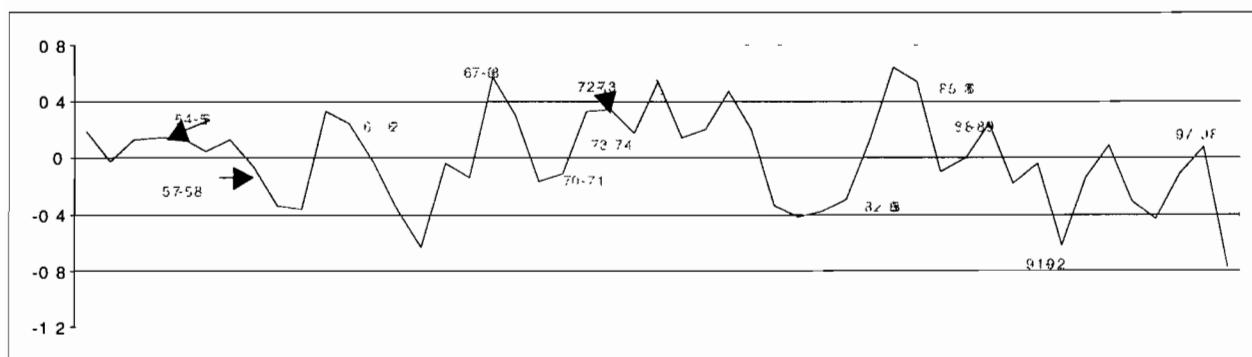


Fig. 4: Precipitación Charaña y años de ocurrencia de anomalías de TSM

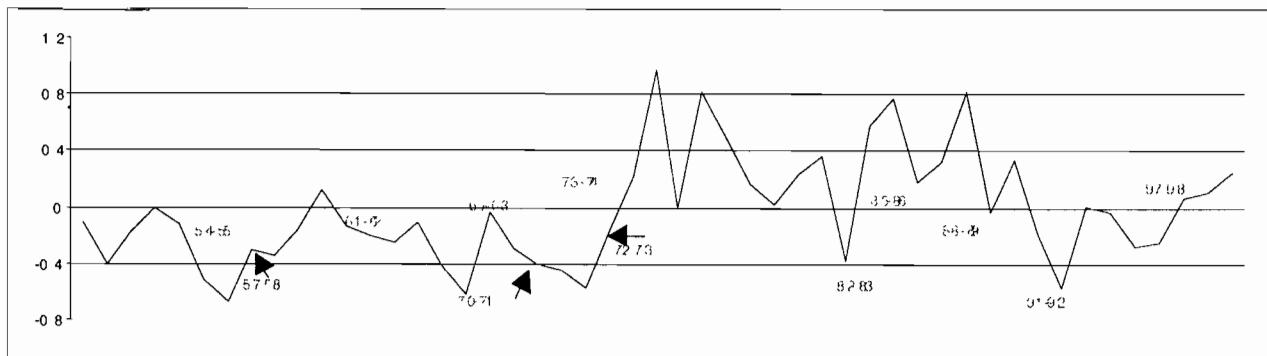


Fig. 5: Precipitación Oruro y años de ocurrencia de anomalías de TSM

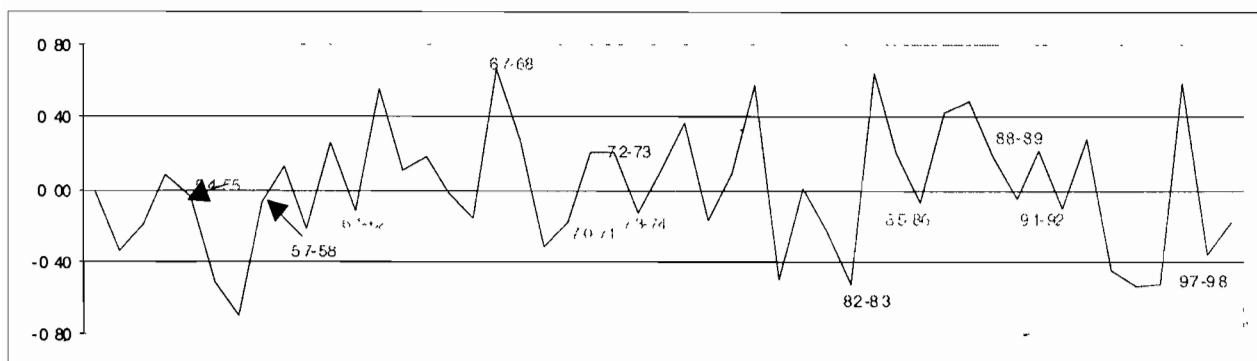


Fig. 6: Precipitación Potosí y años de ocurrencia de anomalías de TSM

Las variaciones que se observan en el cuadro 1 y 2 se debe a que el comportamiento de las precipitaciones de las estaciones tomadas para el altiplano, tienen un comportamiento mensual aparentemente diferente, esto es debido a que las precipitaciones, en su mayoría se producen en horas de la tarde, es decir por inestabilidad atmosférica aislada condicionada al calentamiento de la superficie local, al aporte de humedad y condiciones macroescalares para la estimulación de los procesos de convección. Esto aun más complica el relacionamiento con las anomalías que suceden en el océano Pacífico (ENSO) en razón de que cada una de las estaciones observadas pueden reaccionar de manera diferente y su generalización para todo el altiplano no es aconsejable

Los años que no se colocaron en el cuadro N° 1 y 2, corresponden a los valores que se encuentran dentro de los límites comprendidos entre el promedio y la desviación estándar, calificados como "normales".

Cuadro N° 1: AÑOS Y "EXCESOS" DE PRECIPITACIÓN (mm.) Y COMPARACION CON  
ENSO (-) Y MEI (-) EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

	EL ALTO	CHARAÑA	ORURO	POTOSI	ENSO (-)	MEI (-)
	PROM. = 597.5 DEST. = 101.4	PROM. = 286.6 DEST. = 112.5	PROM. = 359.3 DEST. = 120.6	PROM. = 384.6 DEST. = 97.5		
	1950-51 (700.4)					*****
				1962-63 (538.8)	+++++	*****
		1967-68 (472.0)		1967-68 (562.8)	+++++	*****
		1971-72 (441.9)				*****
		1972-73 (475.0)				*****
	1973-74 (742.7)				+++++	*****
	1974-75 (794.1)	1974-75 (476.4)	1974-75 (655.4)		+++++	*****
	1975-76 (714.0)	1975-76 (415.3)			+++++	*****
	1977-78 (780.1)	1977-78 (432.0)	1977-78 (519.9)			
	1978-79 (714.8)			1978-79 (490.1)	+++++	
			1981-82 (516.4)		+++++	
	1983-84 (718.3)	1983-84 (428.1)	1983-84 (638.0)	1983-84 (588.5)		
		1984-85 (463.1)	1984-85 (650.1)		+++++	*****
	1985-86 (795.3)				+++++	*****
	1987-88 (700.2)					
				1990-91 (506.1)		
	1996-97 (734.4)			1996-97 (526.7)		*****
Años de registro	50	50	50	50	50	50
"normal"	40	42	45	44		
Anomalía de PP	10	08	05	06		
ENSO (-)	05	04	03	03	09	
MEI (-)	06	05	02	03		10
ENSO(-) y MEI (-)	04	04	02	02	07	07
PP- ANOMALIA SIN ENSO (-)	05	04	02	03		
PP-ANOMALIA SIN MEI (-)	04	03	03	03		
PP-ANOMALIA SIN ENSO (-) y MEI (-)	03	03	02	02		

PP=PRECIPITACION

(..) Total de precipitación, mm

Fuente: Elaboración propia, 2000

Cuadro N° 2: AÑOS Y “DEFICIT” DE PRECIPITACIÓN (mm.) Y COMPARACION CON ENSO (+) Y MEI (+) EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

	EL ALTO	CHARAÑA	ORURO	POTOSI	ENSO (+)	MEI (+)
	PROM. = 597.5 DEST. = 101.4	PROM. = 286.6 DEST. = 112.5	PROM. = 359.3 DEST. = 120.6	PROM. = 384.6 DEST. = 97.5		
	1955-56 (405.0)		1955-56 (139.2)			
	1956-57 (444.0)		1956-57 (217.2)			
	1957-58 (438.1)				+++++	*****
		1963-64 (127.2)				*****
		1964-65 (93.2)				
	1966-67 (432.3)		1966-67 (150.7)			*****
	1969-70 (492.0)				+++++	*****
	1971-72 (494.9)		1971-72 (192.8)			
				1979-80 (281.5)	+++++	*****
				1981-82 (282.8)		*****
	1982-83 (408.2)	1982-83 (121.9)	1982-83 (251.5)	1982-83 (212.0)	+++++	*****
	1988-89 (474.7)					
		1989-90 (134.4)				
	1991-92 (427.9)	1991-92 (86.9)	1991-92 (175.2)		+++++	*****
				1993-94 (211.6)		*****
				1994-95 (251.6)		*****
		1995-96 (117.2)		1995-96 (243.0)		*****
				1997-98 (213.8)	+++++	*****
Años de registro	50	50	50	50	50	50
“normal”	41	44	44	43		
Anomalía de PP	09	06	06	07		
ENSO (+)	04	02	02	03	06	
MEI (+)	05	04	03	07		12
ENSO (+) y MEI(+)	05	02	02	03	06	06
PP- ANOMALIA SIN ENSO (+)	05	04	04	04		
PP-ANOMALIA SIN MEI (+)	04	02	03	00		
PP-ANOMALIA SIN ENSO(+) y MEI (+)	04	02	03	00		

PP=Precipitación

(..) Total de precipitación, mm

Fuente: Elaboración propia, 2000

Los excesos y déficit de precipitación que se muestran en el cuadro 1 y 2 y que no tienen relación aparente con los índices ENSO y MEI son:

**Excesos**

El Alto	1972-73	1977-78	1983-84	1987-88		3
Charaña		1977-78	1983-84			3
Oruro		1977-78	1983-84			2
Potosí			1983-84			2

**Déficit**

El Alto	1955-56	1956-57	1971-72	1988-89		4
Charaña		1964-65				2
Oruro		1956-57	1971-72			2
Potosí						0

Por otra parte, de acuerdo a los registros analizados se ha detectado anomalías que se han presentado en el océano Pacífico, que no han tenido incidencia en las precipitaciones del altiplano, esto tal vez se deba a que la ZCIT, en algunos casos, reacciona independientemente de las anomalías que se registran en el Océano Pacífico; a diferencia de lo que dice Francou y Pizarro (1985), "La influencia de El Niño se da con sequías extremas en la región del altiplano, Cordillera de los Andes Bolivianos, ...." Por lo tanto deducir que en casos de anomalías de temperaturas en la zona del Pacífico significa un efecto directo sobre las precipitaciones y sequías en el altiplano y el país es todavía prematuro.

En el cuadro 1 y 2, se muestra la relación de las precipitaciones del altiplano con el Índice ENSO y MEI, según esta relación que integra varios parámetros, el índice MEI está más vinculado, en forma general, con los eventos extraordinarios de las precipitaciones que se registran en el altiplano, como se puede observar en el cuadro N° 3. El MEI (+) está más relacionado con las precipitaciones que ocurren en Potosí seguido de Charaña El Alto y Oruro. Y el MEI (-) tiene mayor incidencia en Charaña y El Alto, en Potosí su influencia es relativa y en menor grado en Oruro. El índice ENSO (+) tiene mas relación con la información de las estaciones de El Alto y Potosí, durante el superávit de precipitaciones. El ENSO (-) tiene influencia marcada en la Estación de Oruro, y en menor grado en el resto de las estaciones.

**Cuadro 3: INCIDENCIA DEL INDICE ENSO Y MEI EN LAS PRECIPITACIONES REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE EL ALTO, CHARAÑA, ORURO Y POTOSI, EN %**

	EL ALTO	CHARAÑA	ORURO	POTOSI
ENSO (+)	44.4	33.3	33.3	42.9
MEI (+)	55.5	66.7	50.0	100.0
ENSO (-)	50.0	50.0	60	50.0
MEI (-)	60.0	62.5	40	50.0

## CONCLUSIONES

- La información de base analizada para este estudio está contrastada de diferentes fuentes y al análisis estadístico presenta consistencia y homogeneización.
- De los registros que se tiene de los Niños 4, 3+4, 3 y 1+2, el que más relación tiene, aparentemente, con las anomalías atmosféricas en el continente americano es la

información que se registra con el nombre de Niño 1+2 (0-10° de latitud Sur y 90° - 80° de longitud Oeste).

- El Indice Multivariable ENSO: MEI, muestra mayor relación con las precipitaciones que se registran en las estaciones meteorológicas de El Alto, Charaña, Oruro y Potosí, principalmente durante los déficit de precipitación (promedio – desviación estándar). Y durante los superavit de precipitación su influencia es en las estaciones de El Alto y Charaña; Oruro presenta muy baja significancia en su influencia y en Potosí es relativa.
- Realizando una comparación entre el ENSO (+) y (-) con MEI (+) y (-), se sabe que el ENSO sólo relaciona dos parámetros: la temperatura registrada en la superficie del mar (Niño 1+2) y la diferencia de presiones o IOS, sin embargo el MEI considera: la presión a nivel del mar, viento zonal y meridional, componentes del viento en superficie, temperatura de superficie del mar, temperatura del aire y grado de nubosidad, es decir busca la interacción en el sistema océano-atmósfera, lo que haría más fiable emplear este índice en el estudio de la dinámica atmosférica, tanto "normal" como con los eventos extraordinarios de los procesos atmosféricos concluyentes, como es la precipitación.
- En casos de anomalías ENSO (+), (-) y MEI (+), (-); la hipótesis que se plantea es que: Durante el verano austral la ZCIT se alteraría en su dinámica lo que a su vez significa una modificación del comportamiento de las precipitaciones en el altiplano; esto es corroborado por la información registrada en las estaciones que se estudiaron.
- También de la información de las estaciones de El Alto, Charaña, Oruro y Potosí se ha determinado déficits y excesos de precipitación, muy significativos que aparentemente no están relacionados ni con el ENSO, ni con el MEI. Al respecto ALT (1997) menciona ). "No existe una relación directa entre la ocurrencia de eventos ENSO y el clima en el altiplano, verificándose que solamente en el evento de 1982/83 se presentó una sequía extrema en el altiplano boliviano". Estas otras anomalías, podrían estar ligadas al traslado de vapor de agua, a la magnitud de los vientos alisios, a los balances de radiación y otros.
- En virtud a lo antes mencionado, el presente estudio demuestra que no todo lo que sucede en la dinámica de la atmósfera del Altiplano tiene que ver con El Niño, también existen otras anomalías que no tienen hasta ahora una explicación. Al respecto Caviedes (1997) menciona que: Existen otros años que demuestran una independencia con respecto a los controles climáticos que operan durante las dos fases extremas de la Oscilación Meridional; esta realidad impone que se estudie con más intensidad otras causas de la pluviosidad en el continente que no se hallen asociadas con El Niño o La Niña.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar los datos presentados en el presente trabajo para ser parte de extrapolaciones a períodos pasados, como 100, 1000 y 10 000 años antes del presente, dado que la información de base está contrastada, homogeneizada y consistente.

Para tratar de entender estas "anomalías" que no están relacionadas con los índices (ENSO y MEI) y que aún no han sido descritas es que se recomienda que además de estudiar la interacción océano-atmósfera, también correlacionar la dinámica del traslado de vapor de agua, la magnitud de los vientos alisios, los balances de radiación, equilibrio energético y otros, además de tomar en cuenta las condiciones locales.

Se recomienda que en todo estudio que se realice y se tenga como base la información meteorológica, esta sea contrastada, verificada en situ, en la medida de las posibilidades, y analizada estadísticamente para lograr tener una información homogeneizada y consistente; a fin de evitar conclusiones apresuradas especialmente en lo que se refiere a la influencia de El Niño.

Para futuros trabajos de recomienda el análisis y estudio de la evolución horaria, diaria y mensual de las condiciones meteorológicas en el país en base a cartas sinópticas durante la ocurrencia de fenómenos anómalos que producen anormalidades en las precipitaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico Lago Titicaca, río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (1997). S/c.

Caviedes, C (1997). Respuesta de la pluviosidad en Sudamérica al Fenómeno El Niño. Seminario Internacional CONSECUENCIAS CLIMATICAS E HIDROLOGICAS DEL EVENTO EL NIÑO A ESCALA REGIONAL Y LOCAL – Incidencia en América del Sur. , 26-29 de noviembre de 1997. La Paz-Bolivia.

Francou, B. Pizarro L. 1985. El Niño y la sequía en los Altos Andes Centrales: (Perú y Bolivia). La Paz, Bolivia.

Kagán, B.A. (1992). Interacción oceáno-Atmósfera. San Petersburgo, Rusia.

Klaus W. (1999). Índice ENSO – MEI, página Web de NOAA

Matveev, L.T. (1991). Teoría de la Circulación General de la Atmósfera. San Petersburgo, Rusia.

Olcina Gil, A. (1997). Climatología General. Ariel Geografía. Barcelona, España

Pouyaud B. et. al. El Niño: influencia sobre las precipitaciones y los escorrentimientos en el valle de Zongo. Edición: Seminario El Fenómeno de El Niño, Balance y Perspectivas, 3,4 y 5 de junio de 1998. La Paz, Bolivia

## EVOLUCION ISOTOPICA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL ALTIPLANO CENTRAL BOLIVIANO

"Andrés Burgoa Mariaca "Ramiro Pillco Zola "Silverio Chavez Ríos  
IIF, "IHH, UMSA, La Paz - Bolivia

### Resumen

Se pueden evidenciar tres regiones dentro de la zona de estudio como parte de la Cuenca Altiplanica (-16°.0' y 20°.0' de Latitud Sur y -66°.0' y -70°.0' de Longitud Oeste), en la que las precipitaciones de Verano a Otoño (1999) están marcadas un efecto rain-out y un amount effect, mostrando peculiaridades como: en el Lago Menor del Titicaca, Lago Poopo y la parte central de la zona de estudio.

Se observa también que en determinadas Estaciones Pluviométricas Totalizadoras (EPT) se precipitan las mismas aguas. Por otro lado, la línea divisoria de aguas, en la cuenca Altiplanica, definida en la parte norte (Huayna Potosí) y en la parte sur (Llallagua), tienen concentraciones isotópicas diferentes, evidenciándose diferentes regímenes de precipitación en la zona de estudio (?).

La ecuación que definen las aguas meteóricas para la zona de estudio es muy similar a las aguas meteóricas mundiales, con un exceso de deuterio del orden de 3.5 o/oo.

### INTRODUCCIÓN

Los isótopos estables  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  desempeñan un papel importante en la investigación de problemas hidrológicos relacionados con la identificación de recarga de acuíferos, procedencia de aguas que afloran por una fuente y, problemas de circulación de la atmósfera.

Las ventajas que ofrecen el  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  es que estos consisten como trazadores naturales que son parte constitutiva de las propias moléculas del agua y no como substancias extrañas adicionadas a esta.

Ello proporciona una garantía, prácticamente absoluta, de su fidelidad de comportamiento.

Los fenómenos de fraccionamiento proporcionan, gratuitamente, un marcado del agua a una escala mucho mayor de la que es posible en cualquier experiencia hidrológica con trazadores expresamente adicionados; el fraccionamiento isotópico del agua se produce, principalmente, en los cambios de estado que experimenta a través del ciclo. Como consecuencia del fraccionamiento, la concentración de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  en el agua que recarga un acuífero (por ejemplo) depende de su historia, desde que escapa del océano hasta que queda aislada de la influencia del medio exterior, por haberse infiltrado en el suelo.

La proporción de los isótopos estables en la precipitación depende del origen del vapor atmosférico, las condiciones en las que el vapor se condensa para formar nubes y lluvias, y el grado de empobrecimiento de la masa de humedad remanente. Debido a su dependencia en las condiciones climáticas y meteorológicas esta es utilizada para validar modelos de circulación general de la atmósfera.

Las muestras de precipitación se registran en varias Estaciones Pluviométricas Totalizadoras de la cuenca Altiplanica de Bolivia (EPT). Las EPT están localizadas a lo largo y ancho de 16° y 20° de Latitud S y 64° y 70° de longitud Oeste, como se muestra en la figura 1.

Las estaciones pluviométricas totalizadoras ubicadas en la cuenca Altiplanica se dividen en tres regiones; una que comprende el Lago Menor del Titicaca, parte central de la cuenca y la otra en el Lago Poopo.

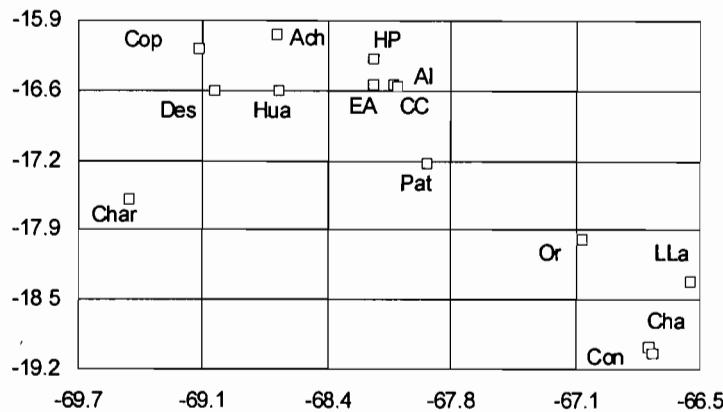


Fig.1 Localización de las estaciones pluviométricas totalizadoras

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos isotópicos que se muestran en el presente trabajo corresponden a precipitaciones colectadas durante los meses de Enero a Abril del año 1999. El muestreo de lluvias se efectúa en una red de estaciones pluviométricas totalizadoras a lo largo de la cuenca Altiplanica (T.D.P.S.), excepto dos estaciones como es la de Tarija y Trinidad que están fuera de los límites de la cuenca. El muestreo consistió en recolectar precipitaciones mensualmente a fin de obtener la composición isotópica media ponderada mensual (figura 1).

Los análisis de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  lo efectuó el Laboratorio de Isótopos Ambientales de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, los análisis de los isótopos estables son reportados en unidades de  $\delta$  o/oo con respecto al Standard Internacional SMOW (Sea Mean Water). El error analítico es  $\pm 0.1$  o/oo y  $\pm 0.2$  o/oo para el  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  respectivamente.

### 1. Datos Isotópicos

El cuadro 1 muestra los datos isotópicos y cantidad de precipitación de lluvias individuales recolectadas en las estaciones pluviométricas totalizadoras mencionados de la figura 1.

Cuadro I: Datos isotópicos y cantidad de precipitación

Estación	Altitud (msnm)	Latitud (S)	P (mm)	$\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)	$\delta^2\text{H}$ (o/oo)
Alto Irpavi	3536	16.5041	364.3	-15.21	-109.6
Cota Cota	3540	16.5344	228.0	-16.41	-118.2
Oruro	3709	17.9676	300.4	-18.05	-134.6
Challapata	3715	18.9855	366.6	-17.92	-127.6
Patacamaya	3789	17.2408	287.0	-18.71	-135.5
Desaguadero	3810	16.5610	553.5	-18.27	-131.6
Copacabana	3841	16.1668	539.3	-16.56	-118.9
Huancollo	3843	16.5691	791.5	-17.51	-130.6
Achacachi	3850	16.0378	281.4	-15.79	-116.0
LLallagua	3881	18.3648	361.1	-16.55	-116.3
Condo	3919	19.0404	501.9	-16.70	-120.0
El Alto	4082	16.5100	161.3	-19.08	-135.8
Charaña	4153	17.5903	228.1	-16.73	-119.1
Huayna Potosí	4830	16.2600	486.5	-16.57	-114.3

La composición isotópica media ponderada para cada punto de muestreo, se calculo basándose en la totalidad de las precipitaciones colectadas durante la temporada de lluvias.

La composición isotópica media ponderada de las lluvias las distinguiremos entre precipitaciones de Verano (Enero - Marzo) y de Otoño (Abril). Los valores de la composición isotópica media ponderada para cada estación pluviometrica totalizadora se representa en el cuadro 2.

## 2. Composición isotópica de la precipitación atmosférica

Los resultados de la composición isotópica de las lluvias colectadas de las 14 estaciones pluviometrica totalizadoras, están compiladas en la Tabla II. En general, la composición isotópica de las lluvias en Verano muestran un amplio rango de variación en su contenido isotópico, tanto espacial como temporal entre estaciones, su variación en resultados depende de muchos factores tales como: altitud, temperatura, cantidad de precipitación y evaporación, que afectan estas variaciones.

### 2.1 Composición del Isótopo Estable

La concentración en isótopos estables en la precipitación, muestra una estratificación isotópica que se observa en Challapata (3715 msnm) que parece ser la mas "empobrecida" en estos isótopos pesados. Por el contrario, Cota Cota y Alto Irpavi muestra el valor mas "enriquecido" tanto en  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  como lo evidencia la Tabla 2.

Las lluvias colectadas de la estación de Tarija, situada fuera de los límites de la Cuenca Altiplánica muestra un enriquecimiento en los isótopos  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ .

Cuadro 2: Composición isotópica media ponderada

Estación	Altitud (msnm)	Enero - Marzo		Abril	
		$\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)	$\delta^2\text{H}$ (o/oo)	$\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)	$\delta^2\text{H}$ (o/oo)
Achacachi	3850	-15.48	-113.9	-18.09	-133.7
Alto Irpavi	3536	-15.30	-109.9	-13.74	-103.1
Challapata	3715	-17.01	-120.8	-23.87	-173.2
Charaña	4153	-16.75	-119.1	nd	nd
Condo	3919	-15.71	-112.4	-23.40	-171.2
Copacabana	3841	-16.18	-115.9	-19.18	-138.4
Cota Cota	3540	-16.30	-118.0	-13.37	-102.0
Desaguadero	3810	-17.14	-123.4	-21.57	-155.6
El Alto	4082	-20.07	-143.3	-16.80	-119.2
Huancollo	3843	-16.95	-122.4	-18.76	-149.6
Huayna Potosí	4830	-16.70	-115.1	-16.10	-111.5
Llallagua	3881	-16.53	-116.3	nd	nd
Oruro	3709	-17.93	-134.0	-19.00	-138.1
Patacamaya	3789	-18.93	-132.2	-21.37	-160.6
Tarija	1866	-6.86	-39.20	nd	nd
Trinidad	236	-8.23	-56.1	nd	nd

nd, datos no disponibles

### 2.1.1 Relaciones para el $^2\text{H}$ y $^{18}\text{O}$ para la precipitación

La figura 2 muestra la relación de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  para la precipitación de todas las muestras colectadas en las 14 estaciones a lo largo de la Cuenca Altiplanica, la recta de aguas meteóricas (MWL) es ( $r = 0.99$ ):

$$\delta^2\text{H} = (8.0 \pm 0.1) * \delta^{18}\text{O} + (13.5 \pm 2.2) \quad (1)$$

y la línea de aguas meteóricas global (GMWL):

$$\delta^2\text{H} = 8.0 * \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (2)$$

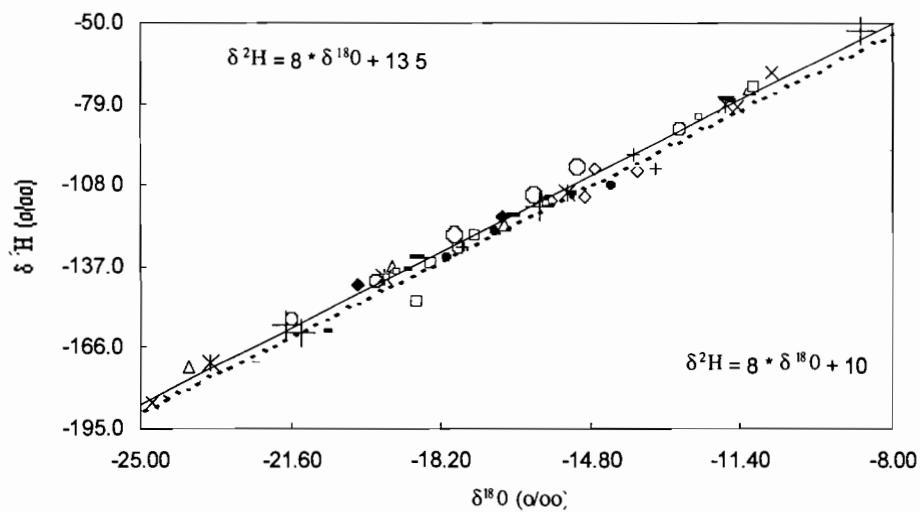


Figura 2. Relación entre los valores de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$

Los puntos de muestreo situado fuera del rango mencionado en (1) para algunos meses se observan en las estaciones de Oruro, Huancollo, Achacachi, Alto Irpavi, Cota Cota, son las que parecen estar afectadas por evaporación.

La gráfica de los promedios ponderados de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  para las distintas EPT se ilustran en la figura 3. Como puede observarse, la composición isotópica estable de las lluvias de las EPT de Oruro, Huancollo, Achacachi son las que más se alejan isotópicamente del grupo (fuerte evaporación?).

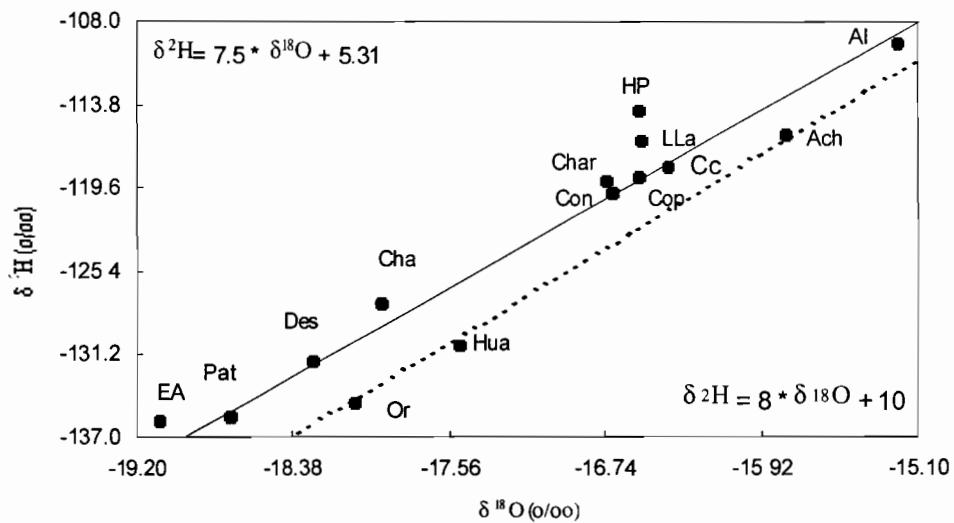


Figura 3. Relación entre los promedios ponderados de  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$

La ecuación que define las aguas meteóricas para la zona de estudio viene dado por la ecuación (1). La pendiente de esta recta (8.0) es prácticamente idéntica a la ecuación (2) de (GMWL), estimada por Craig, 1961. La conservación de la pendiente se debe al hecho de que la condensación de la humedad atmosférica tiene lugar bajo condiciones de equilibrio y que el factor de fraccionamiento, definido por la presión de vapor parcial de las diferentes especies isotópicas del agua no tiene grandes variaciones bajo condiciones climáticas. Generalmente observadas en la naturaleza.

El valor de la intersección de la recta ( 13.5 o/oo) representa el exceso de deuterio en las precipitaciones de la Cuenca Altiplanica.

Por otro lado, la recta de aguas meteóricas determinada por R. Aravena, et.al, 89 en el Atilplano Chileno es:

$$\delta^2\text{H} = 7.7 * \delta^{18}\text{O} + 9.7 \quad (3)$$

La recta meteórica ponderada para la Cuenca del Atilplano viene dada por ( $r = 0.95$ ):

$$\delta^2\text{H} = (7.5 \pm 2.0) * \delta^{18}\text{O} + (5.3 \pm 2.3) \quad (4)$$

Observando las ecuaciones: (3) y (4) se nota una diferencia en la pendiente (8.0) de GWML y los excesos en deuterio.

#### 4.1.2 Efecto Altitud

El cambio en la composición isotópica de la precipitación con la altura, observada en la cuenca altiplanica con las tres regiones seleccionadas, evidencia globalmente que las masas de aire húmedo que se precipitan hacia la cuenca altiplanica, definen precipitaciones localizadas con concentraciones isotópicas en el lago menor del Titicaca que se correlacionan muy bien mediante la ecuación ( $r=0.84$ ):

$$\delta^{18}\text{O} = (0.05 \pm 0.4) * \text{Altitud} + (-214.06 \pm 169.36), \quad (5)$$

excepto la localidad de Huancollo que presenta una desviación muy marcada (-17.51 o/oo), se puede evidenciar una desviación en isótopos pesados alrededor de 0.50 o/oo por cada 10 m para el  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  respectivamente.

Para la región central se evidencia las correlaciones ( $r= -0.8$  y  $r= -0.9$ ) con la altitud dadas por:

$$\delta^{18}\text{O} = (-1.03 \pm 0.78) \times 10^{-3} * \text{Altitud} + (-11.87 \pm 3.27), \quad (6)$$

$$\delta^{18}\text{O} = (-4.82 \pm 3.14) \times 10^{-3} * \text{Altitud} + (0.26 \pm 11.95)$$

en la que se evidencia una desviación en isótopos pesados de - 0.10 o/oo y -0.48 por cada 100 m para el  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  respectivamente.

En las proximidades al Lago Poopo, muestran una correlación ( $r= 0.98$ ) dada por:

$$\delta^{18}\text{O} = (7.02 \pm 2.13) \times 10^{-3} * \text{Altitud} + (-44.01 \pm 8.11), \quad (7)$$

observándose una desviación isotópica de 0.70 o/oo por 100 m para el  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  respectivamente. Las mencionadas correlaciones se ilustran en la figura 4.

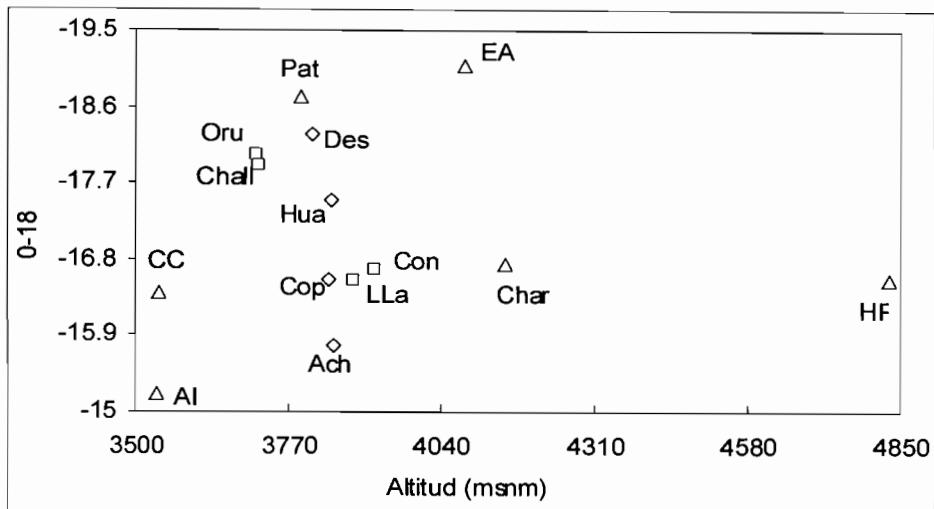


Figura 4. Relación entre los valores de  $^{18}\text{O}$  y la Altitud

#### 4.1.3 El Efecto Cantidad

La aparente correlación entre la cantidad de precipitación mensual y su composición isotópica para el lago menor del Titicaca muestra un "empobrecimiento" en isótopos pesados con su valor más desviado en la localidad de Desaguadero (-18.27 o/oo). Para la región central se evidencia correlaciones directamente proporcionales con un enriquecimiento entre las EPT de El Alto (-19.08 o/oo), Patacamaya (-18.71 o/oo), Huayna Potosí (-16.57 o/oo); una relación idéntica se puede observar entre las estaciones de Charaña (-16.73 o/oo), Cota Cota (-16.41 o/oo), Alto Irpavi (-15.21 o/oo) inclusive Achacachi (-15.79 o/oo). La correlación para la región del Lago Poopo, evidencia un enriquecimiento en la dirección Oruro - Condo (-1.8 o/oo), mientras que la estación de Llallagua (-16.55 o/oo) evidencia una buena correlación con la estación de Huayna Potosí (-16.57 o/oo), tal como lo evidencia la figura 5.

#### 4.1.4 Efecto Latitud

Las observaciones a escala mundial tanto en el hemisferio norte como el sur, muestran una marcada tendencia hacia el empobrecimiento isotópico en isótopos pesados en la dirección hacia los polos. La Cuenca Altiplanica parece no ser la excepción, las EPT distribuidas en el Lago Menor, muestran el efecto latitud, excepto Huancollo (-17.51 o/oo), (?). Las EPT ubicadas en la región central muestran un empobrecimiento en la dirección de El Alto (-19.08 o/oo) hacia Patacamaya (-18.71 o/oo),

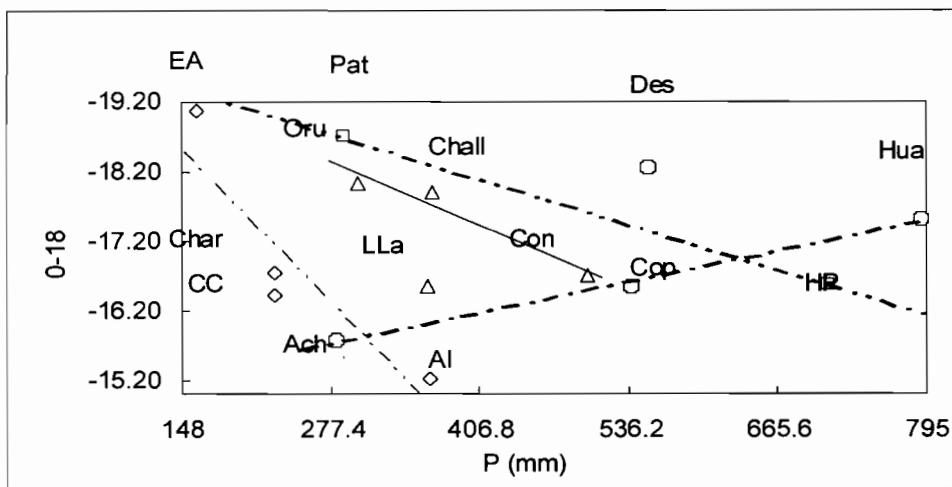


Figura 5. Relación entre los valores de  $^{18}\text{O}$  y la Precipitación

Las EPT ubicadas en Huayna Potosí (-16.57 o/oo) y Charaña (-16.73 o/oo) evidencia una aparente correlación en isótopos pesados. En las EPT circundantes al Lago Poopo manifiestan dos correlaciones isotópicas, la primera con un aparente empobrecimiento de Oruro (-18.05 o/oo) hacia Condo (-16.70 o/oo), (?), mientras que de Llallagua (-16.55 o/oo) hacia Challapata (-17.92 o/oo), surge la pregunta, (?), como lo ilustra la figura 6.

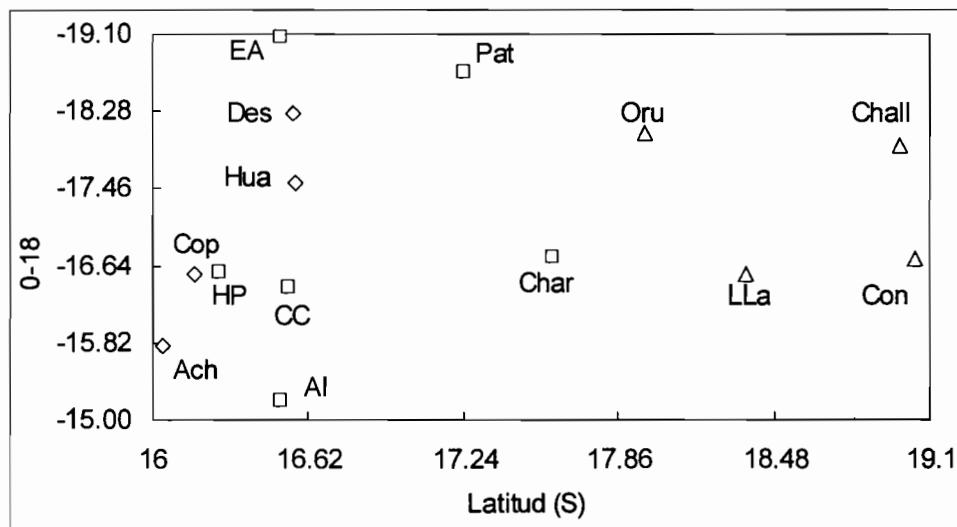


Figura 6. Relación entre los valores de  $^{18}\text{O}$  y la Latitud

## CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente, es posible llegar a algunas discusiones preliminares.

Un aspecto importante de mencionar es la trayectoria que siguen las masas de aire hacia la Cuenca Altiplanica vía Cuenca Amazónica, se puede mencionar brevemente la influencia de los vientos alisios del nordeste y sudeste transportando las masas de aire que alcanzan la cordillera de los Andes después de haber cruzado el Océano Atlántico, la cuenca Amazónica, la elevación de estas masas de aire caliente y húmedo al aproximarse a los Andes producen las precipitaciones distribuyéndose (?) a lo largo y ancho de la Cuenca Altiplanica, las evidencias meteorológicas nos darán a conocer las trayectorias que siguen las masas de aire a su paso por la cuenca Altiplanica.

El diferente comportamiento isotópico observado entre las lluvias de verano y las de Otoño podría estar asociado al origen y evolución de las masas de aire y a la naturaleza de las tormentas causantes de estas precipitaciones.

Al igual que la composición isotópica, las precipitaciones presentan una distribución espacial bastante homogénea, empero, las concentraciones isotópicas difieren ampliamente.

Con el fin de analizar la composición isotópica de las precipitaciones en la cuenca Altiplanica, se regionalizo esta, con el fin de obtener la mayor información posible de la evolución de isotópica de las precipitaciones, si bien los datos en su totalidad desde el mes de Enero a Abril se ajustan a la recta meteórica, ecuación (1), se observa por ejemplo en Huancollo un comportamiento isotópico distinto al de los otros, este fenómeno podría estar ligado a una evaporación parcial de las gotas de lluvia durante su caída, algo similar ocurriría en Oruro; observando la figura 3, se presenta un caso interesante entre Achacachi y Llallagua, en el cual ambas EPT muestran hidrológicamente hablando, las mismas aguas, si bien ambas están prácticamente ubicadas al pie de la de la cordillera, Achacachi parece no tener influencia del Lago Mayor del Titicaca (?), lo mismo sucedería con Llallagua estando casi enfrente al Lago Poopo (?).

Observando el comportamiento isotópico en el Lago Menor (Titicaca), se observa un efecto altura , latitud, como era de esperarse, excepto Huancollo como se menciono anteriormente, lo interesante de estas estaciones es que tanto en Desaguadero y Huancollo caen las mismas aguas y no así entre Copacabana, Achacachi; Achacachi, Desaguadero; Copacabana y Desaguadero, (?).

Las EPT cercanas al Lago Poopo muestran dos aspectos interesantes, el primero revela un empobrecimiento de Llallagua hacia Challapata como era de esperarse, el segundo de Oruro hacia Condo muestra un aparente enriquecimiento, (?).

La parte central de la cuenca, las EPT muestran tendencias bastante complejas, por ejemplo entre Alto Irpavi y Huayna Potosí, aparentemente no son las mismas aguas, sin embargo, las mismas aguas caen en la ciudad de El Alto, Patacamaya y Oruro.

Otro aspecto que llama la atención es que se tiene las mismas aguas en, Charaña, Condo, Copacabana y Cota Cota. La EPT de Alto Irpavi conjuntamente con la Challapata aparentemente no están en comunión con el resto de las EPT, (?).

Con relación a los resultados expuestos, el comportamiento isotópico en el Lago menor (Titicaca) es aparentemente diferente, ya que se esperaría un comportamiento por igual en las riberas del Lago Menor, tal vez afectas por el Lago Mayor (?), el conocimiento detallado del movimiento de las masas de aire en todo el Lago Mayor aportarían mayores evidencias a los resultados obtenidos y una mayor distribución de EPT a lo largo y ancho del Lago Menor y parte del Lago Mayor (lado Boliviano).

Un caso aparentemente similar estaría ocurriendo en el Lago Poopo, con la salvedad de que Challapata juega el mismo papel que Achacachi.

Tanto La EPT de Huayna Potosí como Llallagua marcan una divisorias de aguas bien marcada en la cuenca, de ahí posiblemente la explicación que por ejemplo Challapata no recibe aporte de aguas del Lago Poopo, Oruro esta en concordancia con la EPT de El Alto y Charaña con Copacabana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- R. Gonfiantini.,1999:Investigating the hydrological cycle with environmental isotopes, p. 1-11, II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica.
- M.A.Roche, R. Gonfiantini, J. Fontes, N. Abasto, L. Noriega.,1999:The Isotopic Composition of Precipitation on the Andes and Amazon of Bolivia., p. 1-10, IAEA-SM-361/3
- K. Rozanski, R. Gonfiantini., Isotopes in Climatological Studies., IAEA Bulletin, 4/1990.
- K. Rozanski, L. A. Araguas, R. Gonfiantini., Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation., p. 1-35, Geophysical Monograph 78.
- R. Gonfiantini., On the Composition of Precipitation, p.1-22, Proceddings of the International Symposium in memory of Jean-Charles Fontes, Paris, June 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> 1995.

## Agradecimientos

Este trabajo, se realizo bajo el contrato No. 883.093-8 PHI-UNESCO. Se agradece al Ing. Carlos A. Fernández-Jáuregui por viabilizar el presente trabajo, a Evelyn Aguirre (CCHEN) por los análisis de los isótopos estables, a mi padre quien desinteresadamente me colaboro en la ubicación de los EPT en el Lago Menor del Titicaca, el trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de los sitios y personas encargadas de la vigilancia de los EPT a lo largo de la Cuenca Altiplánica.

## ISOTOPOS DEL AGUA MARCADORES DE LA VARIABILIDAD CLIMATICA

### Isotopos de las lluvias de Laika Cota, La Paz BOLIVIA

R. GALLAIRE<sup>(1)</sup>, L. GOURCY<sup>(2)</sup>, J-D TAUPIN<sup>(3)</sup>, A. COUDRAIN-RIBSTEIN<sup>(3)</sup>, B. POUYAUD<sup>(1)</sup>, J. RIOS<sup>(4)</sup>

(1) Institut de Recherche pour le Développement (IRD), CP 9214, La Paz, Bolivia

(2) International Atomic Energy Agency, Wagramer Strasse 5, P.O.Box 100, A-1400 Vienna - Austria

(3) UMR Sisyphe, Université Paris VI, case 123, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

(4) SENAMHI, Calle Reyes Ortiz n°41, La Paz Bolivia

A fines del 1995 la estación climática Senamhi del centro de La Paz, Laika Cota, llegaba a ser un punto de medida de la red de la Agencia Internacional de la Energia Atomica (AIEA) de Vienna.

Cada mes desde una muestra ponderada de lluvia fue retenida en esta estación lo mismo que los datos de temperatura y de humedad. En la Agencia los análisis trataron sobre los isotopos estables del agua: oxígeno-18 y deuterio, así como tambien el isotopo radioactivo del hidrogeno, el tritium. Los primeros resultados son presentados aquí.

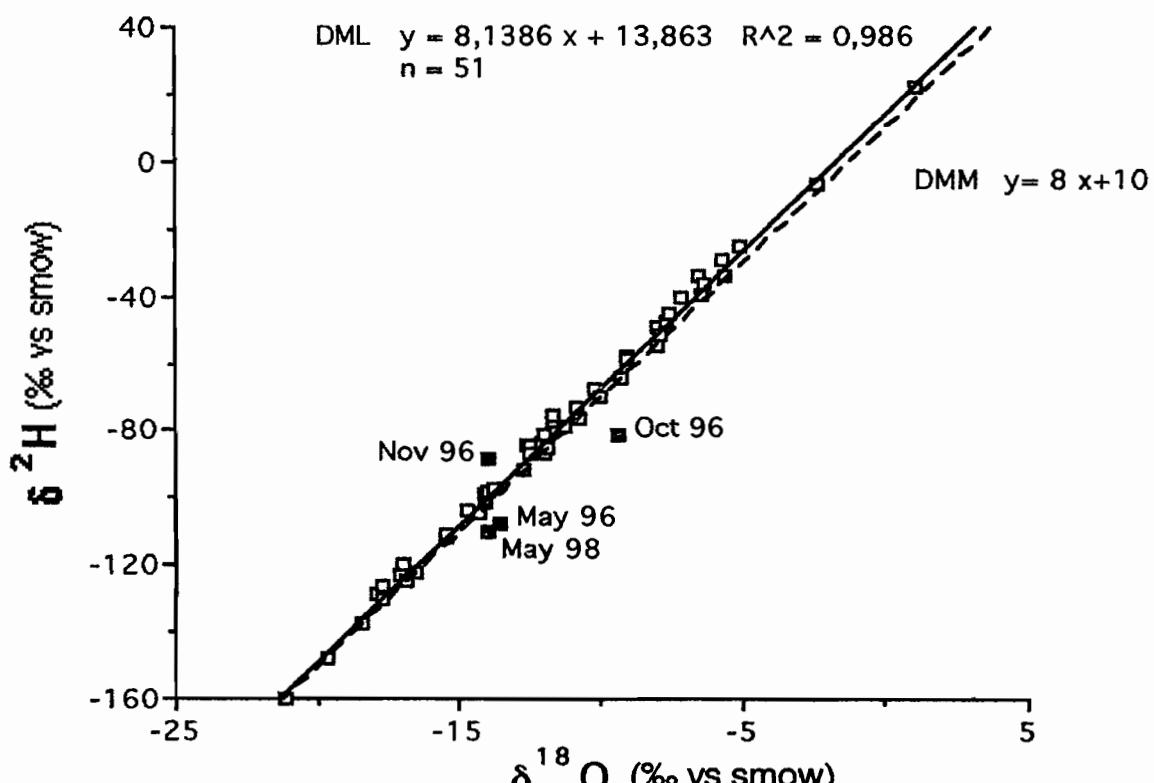


Fig 1

Una relación excelente ata deuterio y oxígeno-18 (fig.1). Esta relación local (DML) está cerca a la relación meteorica mundial (DMM). Solamente 3 puntos aparecen debajo la DML en posición de evaporación (Merlivat y Jouzel, 1979). La mayoría se situa sobre la derecha o un

poquito en posición de exceso en deuterio, muestra el fenómeno de reciclaje de estas precipitaciones (Dansgaard, 1964; Gat y Matsui, 1991).

La variación isotópica mensual (fig. 2c) refleja bien, con un retraso de dos a tres meses, la pluviometría mensual (fig. 2b). Este retraso ha atado al efecto de masa que se debe desarrollar. El índice S.O.I. (Sur Oscilación Índice) superior o inferior, uno o menos uno, que refleja la diferencia de temperatura oceanica del Pacific entre Tahiti y Darwin en Australia (fig. 2a), permite identificar los períodos El Niño, La Niña. El año hidrológico (de septiembre a agosto) 1997-1998 aparece como un Niño bien marcado. La variación estacionalizada del oxígeno-18 es más importante en año el Niño que en año la Niña (Roche *et al.*, 1999).

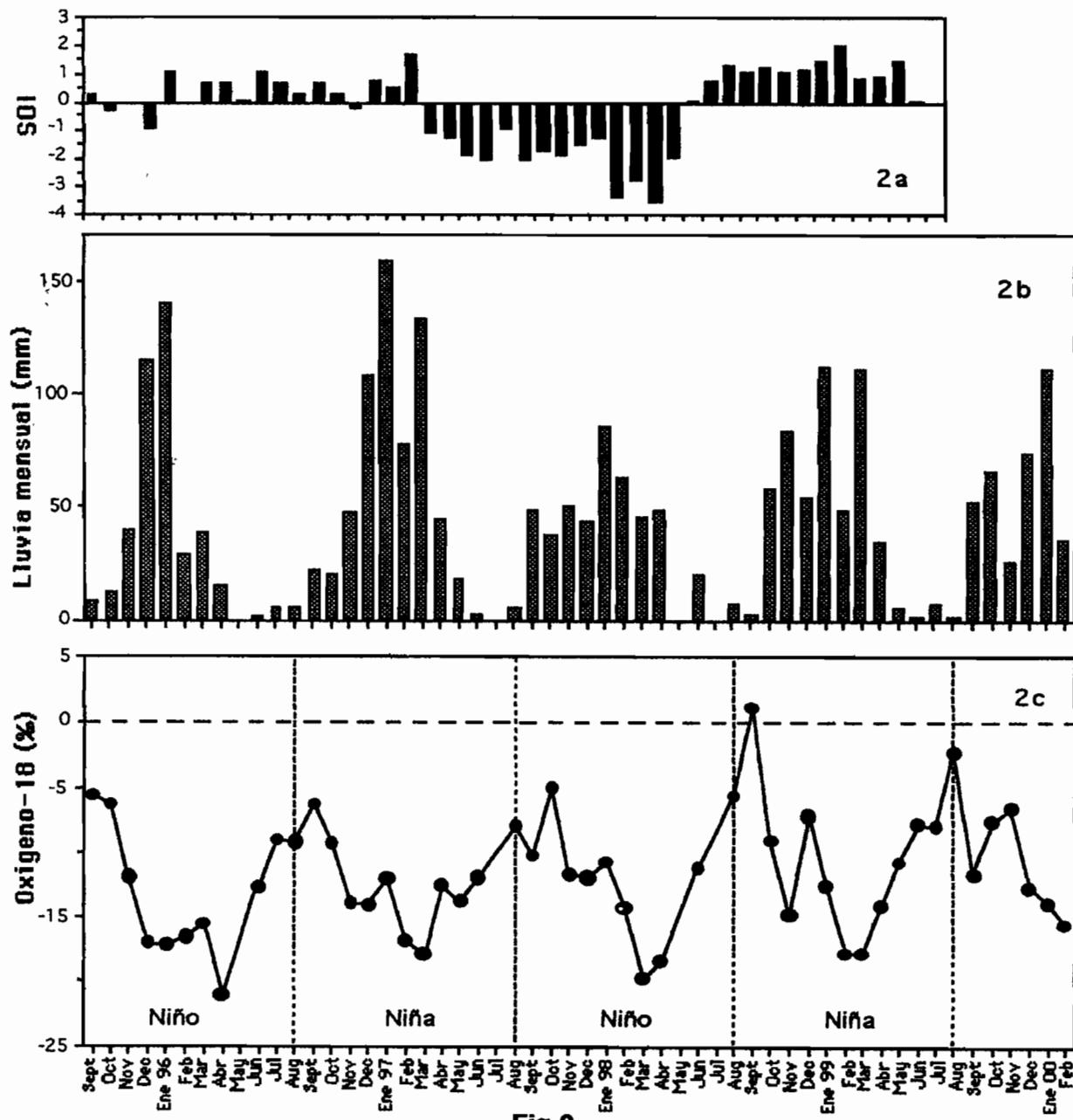


Fig 2

Los valores son todos negativas entre cero y menos veinte y dos. Las temperaturas medianas bajas de La Paz (12 grados) explican estos valores. A temperaturas más bajas producen normalmente los valores isotópicos los más bajos (Rozanski *et al*, 1995). Pero en el caso de Laïca Cota (fig.3) la señal isotópica (fig.3b) anticipa la señal térmica (fig.3a) de dos a tres meses, con motivo de la grande sequía del aire durante el invierno que excita la evaporación (fig.4a), del que la consecuencia es enriquecimiento isotópico.

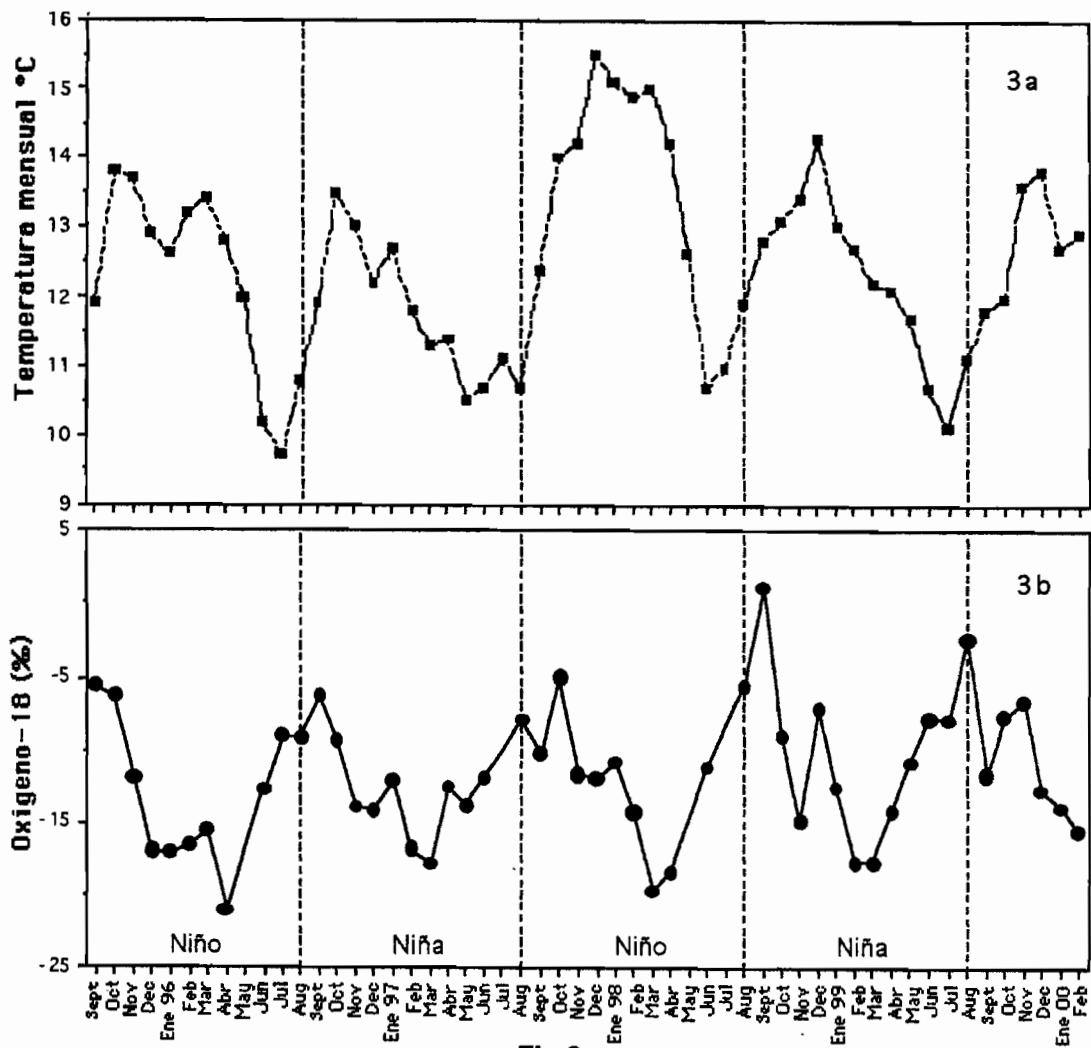


Fig 3

Las variaciones de las temperaturas, mas importantes en años Niños, corresponden bien a las desviaciones isotópicas las mas importantes. Pero el fenómeno isotópico depende tambien del grado de humedad del aire. En Laïca Cota los isotópos (fig.4b) parecen en mejor fase con la humedad (fig.4a) que con la temperatura (fig.3a). En año la Niña la humedad mas importante, limitando la evaporación, tiene por consecuencia una variación más mínima de los isotópos. Por otra parte una tendencia a la disminución de 7 a 8% se nota durante la temporada de cuatro años observado.

El exceso de deuterio que resulta de la relación entre el oxígeno-18 y el deuterio:

$$d = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}$$

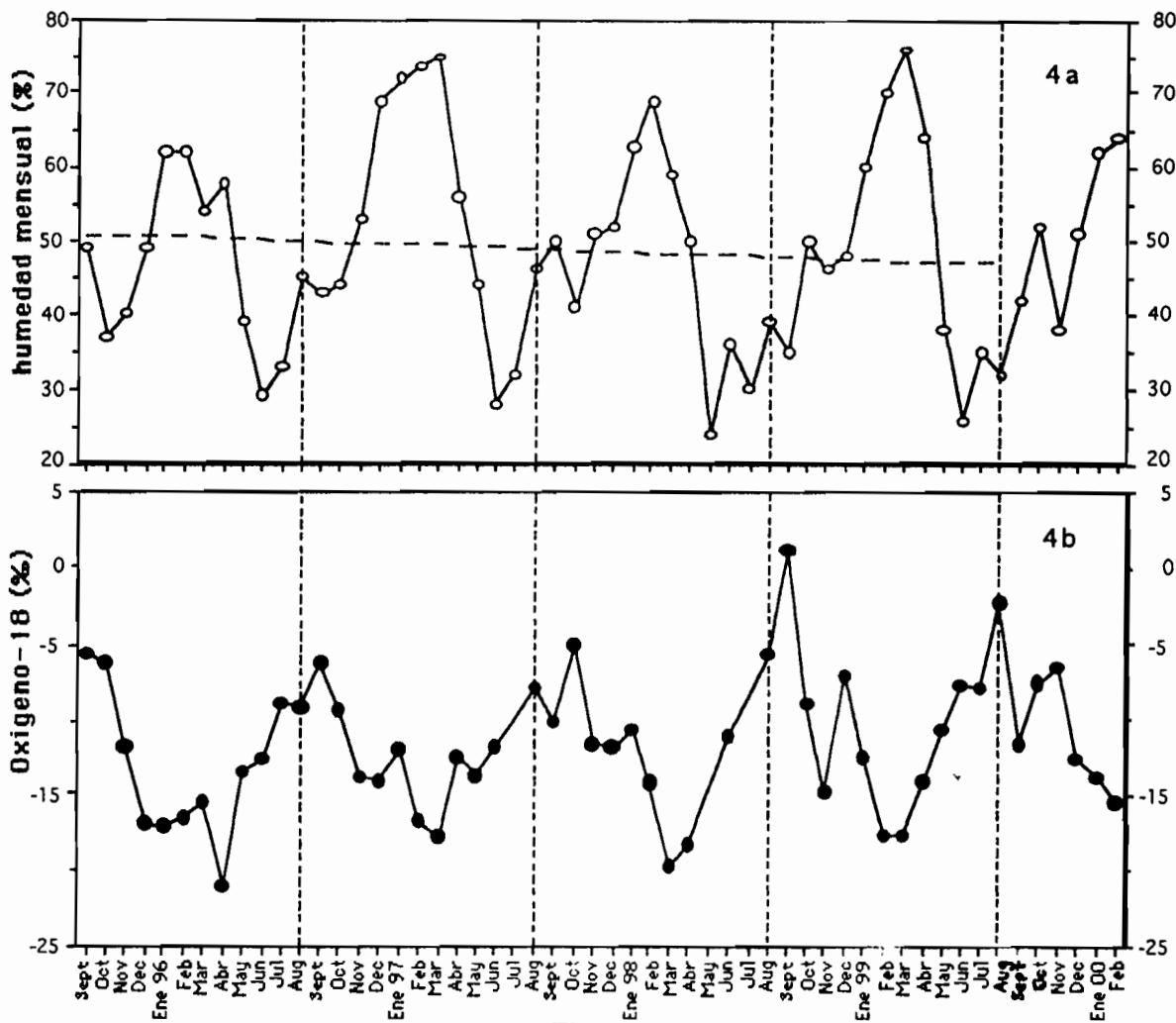


Fig 4

es un buen indicador del estado y de la historia de la masa de aire ('Martinelli *et al*, 1996). Las lluvias que provienen directamente del océano planetario tienen un valor de "d" igual a diez. Pero, progresivamente de su progresión y reciclaje sobre el continente, el valor de "d" puede aumentar (El empobrecimiento debido a la continentalidad esta parcialmente compensado por el enriquecimiento debido el reciclaje del agua en medio ambiente amazónico). En Laika Cota (fig.5a) los valores son en gran parte superior a diez (entre 10 y 15  $\delta$ ). El exceso de deuterio de los años Niños aparece particularmente variable entre el inicio y el fin de la estación lluviosa: los valores se elevan durante la primera parte (septiembre-diciembre) de la estación húmeda consecuentemente al bloqueo de la masa de aire delante de la cordillera real. Después, la liberación de la masa de aire, a fines de periodo Niño, y su penetración hasta el Altiplano produce una disminución de "d" particularmente nítida en 1998 (Garcia *et al*, 1998). A partir de este Niño la tendencia manifiesta un aumento del valor medio del exceso de deuterio, que indica que los fenómenos de bloqueo y de sequía aumentan durante los dos últimos años. La cantidad de unidad Tritium es actualmente reducida, pero los datos de tres años (fig.5b) parecen mostrar un valor medio superior en UT Tritium por la situación la Niña, que se puede explicar por una mejor circulación de masas de aire Este-Oeste (desde el Atlántico) y Norte-Sur (entre los dos hemisferios) en esta situación (Erikson, 1983).

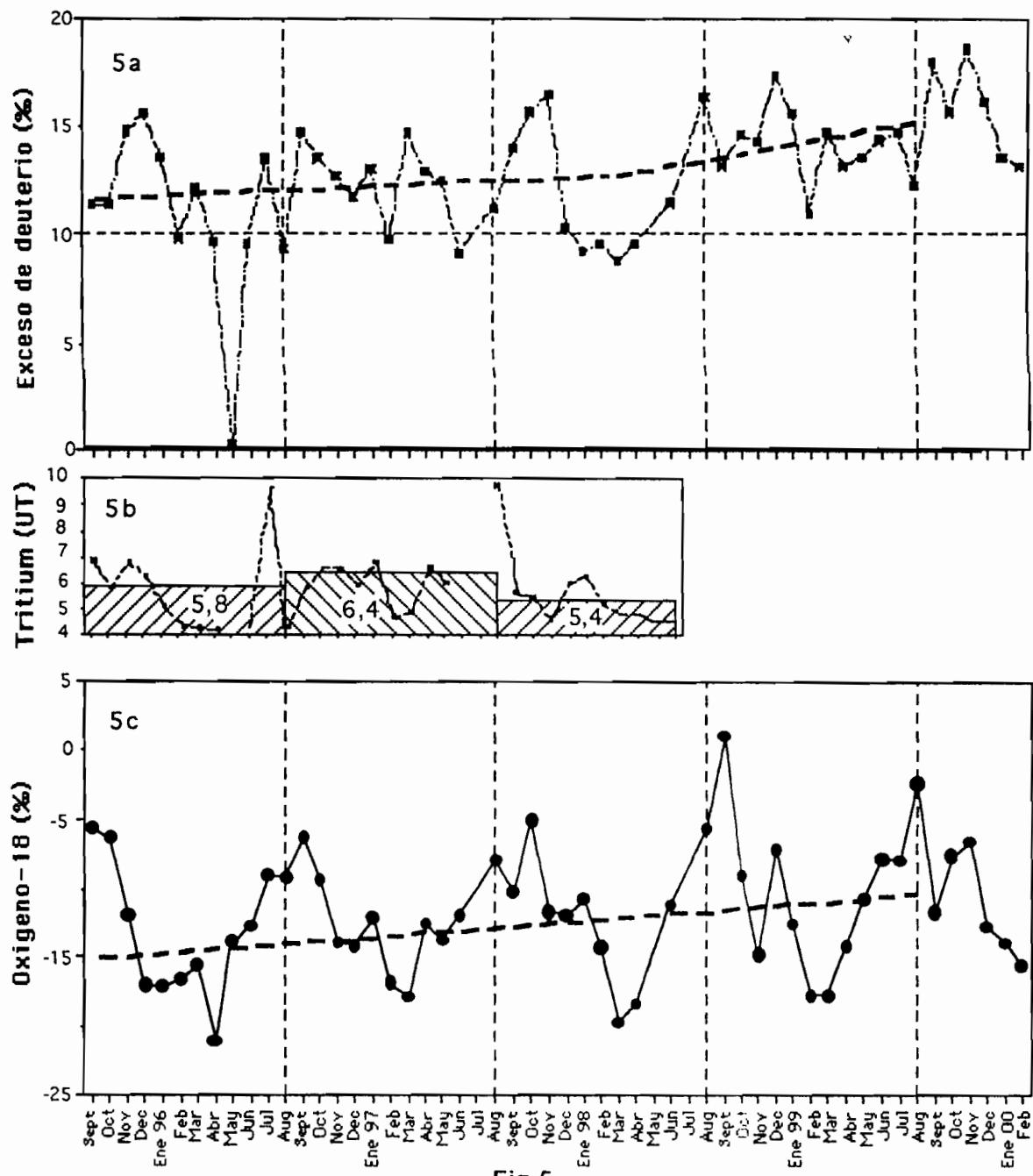


Fig 5

Al final, la tendencia del oxígeno-18 se eleva de mas o menos cinco "δ" durante los cuatro últimos años, marca verdaderamente una evolución, que se puede esperar temporales, de las condiciones climáticas locales.

Al final, la tendencia del oxígeno-18 se eleva de mas o menos cinco “ $\delta$ ” durante los cuatro últimos años, marca verdaderamente una evolución, que se puede esperar temporales, de las condiciones climáticas locales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- MERLIVAT L., JOUZEL J., 1979 - Global climatic interpretation of the deutérium-oxygen 18 relationship in precipitation. *J. Geophys. Research*, 84,C8, 5029-5033.
- DANSGAARD W., 1964 - Stables isotopes in precipitations . *Tellus*, XVI, Vol.4 (436-468)
- GAT J.R., MATSUI E., 1991 - Atmospheric water balance in the Amazon basin: an isotopic evapotranspiration model. *J of Geophysical Research*, vol. 96 N° D7 pp 13,179-13,188.
- ROCHE M.A., GONFIANTINI R., FONTES J.C., ABASTO N., NORIEGA L., 1999 - The Isotopic composition of precipitation on the Andes and Amazon of Bolivia, *Proceedings of the International Symposium on Isotope Techniques in Water Resources Development and management*. IAEA-SM- 361/3
- ROZANSKI K., ARAGUAS ARAGUAS L., 1995 - Spatial and temporal variability of stable isotope composition of precipitation over the south american continent. *Seminario Internacional "Aguas Glaciares y cambios Climaticos en Los Andes tropicales*: 379-390
- MARTINELLI L.A., VICTORIA R.L., STERNBERG L.S., RIBEIRO A., MOREIRA M.Z., 1996 - Using stable isotopes to determine sources of evaporated water to the atmosphere in the Amazon basin. *J of Hydrology* 183, pp 191-204.
- GARCIA M., VILLALBA F., ARAGUAS-ARAGUAS L., ROZANSKI K., 1998 - The role of atmospheric circulation patterns in controlling the regional distribution of stable isotope contents in precipitation - preliminary results from two transects in the Ecuadorian Andes. *Isotope Techniques in the Study of Environmental Changes*. 127-140 IAEA
- ERIKSON, 1983- Stable isotopes and tritium in précipitation. *Guide book on nuclear techniques in hydrology*. Techn. Rep. Serie n° 91 p. 19-27, A.I.E.A., Vienna.

## DATOS DE ARCHIVOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE LLUVIAS EN POTOSÍ (1585-1737)

Alain Gioda <sup>(1)</sup>, María del Rosario Prieto <sup>(2)</sup>, Ana Forenza <sup>(3)</sup>, Carlos Serrano <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> IRD-SENAMHI, C.P. 2352, Cochabamba

<sup>(2)</sup> Historia Ambiental, INCIHUSA, CRYCIT, C.C. 330, 5500 Mendoza, Argentina

<sup>(3)</sup> ex - ABNB, C.P. 1125, Sucre

<sup>(4)</sup> INHIGEO, C.P. 115, Potosí

### Resumen

Datos climáticos provenientes de fuentes históricas de la época colonial española, han sido recabados en Bolivia (principalmente del Archivo Nacional ubicado en Sucre) y España (Archivo General de Indias en Sevilla). El propósito fue reconstruir las estaciones de lluvias en Potosí desde 1585 a 1737. La reconstrucción se basó en la gran cantidad de documentos existentes sobre Potosí, una de las ciudades más grandes y ricas del mundo durante los siglos XVI y XVII. La altitud de la ciudad (4000 m.s.n.m.) localizada en un ambiente árido, es una ventaja adicional para el estudio de las variaciones climáticas en condiciones extremas. Más aún, la fuerza hidráulica fue utilizada, salvo en el caso de sequías, para mover los ingenios metalúrgicos desde 1574-77, años del inicio de la construcción de las lagunas de Potosí.

Descriptores: historia, archivos, reconstrucción climática, Andes, Bolivia, Perú.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de la investigación fue reconstruir, a partir de documentos de archivos y del modo más completo posible, la historia del clima de la ciudad de Potosí en forma cronológica. Las fuentes principales son las inéditas Actas de los Acuerdos del Cabildo de Potosí, que se han preservado desde 1585 a 1815. Completan la información de esta fuente otros datos provenientes de crónicas históricas y archivos. En este estudio, presentamos la reconstrucción de las estaciones de lluvias desde 1585 a 1737, porque el clima de este periodo es particularmente poco conocido, a pesar de la existencia de las dos crónicas de Arzáns ([1711] 1970; [1705-1737] 1965), una temprana e importante contribución a la literatura del Nuevo Mundo, pero cuestionable como fuente científica. La información que provee ese autor puede resultar de utilidad, pero teniendo siempre la precaución de cotejarla con la información de las Actas de los Acuerdos del Cabildo de Potosí.

### AREA DE ESTUDIO

Potosí (4000 m. snm; 19°34'18" LS-65°34'25" LO) está localizada en la actual Bolivia. Durante la mayor parte del periodo colonial español (1545-1825), conformó la zona sur del Virreinato del Perú, aunque entre 1776 y 1815 dependió brevemente del Virreinato de La Plata. La ciudad estaba situada en la Audiencia de Charcas y durante los siglos XVI y XVII fue el centro económico de una extensa región de América del Sur. Desde el primer asentamiento minero, levantado en 1545, la ciudad creció espectacularmente durante el auge de la plata hasta

alcanzar 150-160.000 habitantes en 1610. Hasta mediados del siglo XVII la ciudad fue muy importante, pero el lento desplazamiento del centro de producción de la plata hacia México, provocó una decadencia progresiva. Potosí era una ciudad fantasma al finalizar el imperio español (8.000 habitantes en 1825) pero hoy en día cuenta con 130.000 habitantes. El promedio anual de lluvias es de cerca de 400 mm, y a pesar de que el promedio de temperatura es de 9°C, anualmente hay 140 días de heladas (Gioda y Serrano, 1998).

### EL MÉTODO PARA RECONSTRUIR LAS ESTACIONES DE LLUVIA

A través de las Actas de los Acuerdos, contamos con una información casi continuada porque usualmente el Cabildo, como en todas las ciudades importantes del Imperio español, organizaba mensualmente frecuentes reuniones donde se registraba cuidadosamente los asuntos allí tratados. En Potosí algunos volúmenes han desaparecido por lo que los registros no están completos. Los que quedan fueron preservados a finales del siglo XIX. Están extraviados los siguientes volúmenes, concernientes al periodo de estudio: nº13 (enero 1611 - junio 1614); nº 17 (enero 1622 - febrero 1626); nº 21-23 (junio 1636 - diciembre 1648); nº 25 (enero 1652 - diciembre 1657); nº 27-29 (octubre 1661 - marzo 1674); nº 32-36 (noviembre 1681 - diciembre 1720). Por este motivo nuestra reconstrucción presenta algunas interrupciones cuando otras fuentes informativas, como es el caso del Archivo General de Indias, no pudieron ser utilizadas. Las crónicas de Arzáns son particularmente útiles para el final del siglo XVII y el inicio del siglo XVIII, especialmente desde 1676 - año del nacimiento del cronista - a partir del cual su reconstrucción histórica se hace más confiable. Es particularmente interesante su contribución entre los años 1705 y 1737 (Gunnar Mendoza, 1965 en las notas de edición de la Historia de Arzáns, y Joseph Barnadas, comunic. personal).

El cuadro 1 presenta nuestra reconstrucción. En esta región árida de los Andes la estación lluviosa es muy corta (de diciembre a abril). A pesar de la gran altitud de Potosí, las precipitaciones están constituidas principalmente por granizo o lluvia y no por nieve, porque esa estación corresponde al verano tropical austral.

Se han definido algunas categorías para designar los fenómenos climáticos característicos de esta región. En consecuencia, "Temprano" corresponde a la lluvia o granizo que comienza a caer en septiembre, octubre o noviembre. "Tarde" significa que las precipitaciones se inician tardíamente, a fines de diciembre, enero o en febrero, por lo que la sequía se hace perceptible.

"Normal" correspondería a una estación de lluvias dentro del promedio, lo cual se manifiesta en la información provista por las Actas por la ausencia de información específica - climatológica o hidrológica - sobre eventos extremos.

"Cantidad de información" es el número de anotaciones concernientes a un anormal fenómeno climático. Se estima que las "Índices de confiabilidad" están basadas en la calidad de la información proporcionada, variando de excelente (3) a mínima (1). Las Actas de los Acuerdos del Cabildo de Potosí y otros documentos de archivos tienen un rango muy alto = 3, las crónicas de Arzáns uno bajo = 1, excepto durante el periodo de 1676 - 1737 = 2.

Las "Referencias" se abrevian como sigue:

- AACP: Actas de los Acuerdos del Cabildo de Potosí en ANB;
- AGI: Archivo General de Indias, Sevilla, España;
- ANB: Archivo Nacional de Bolivia, Sucre, Bolivia;

- Anales: Arzáns B., (1711) 1970, *Anales de la Villa Imperial de Potosí*, Crespo A., editor, Fondo Nacional de Cultura, La Paz, Bolivia;
- Historia: Arzáns B., (1705-1737) 1965, *Historia de la Villa Imperial de Potosí*. Mendoza G. y Hanke L., editores, Brown University, Providence, EE.UU.

## DISCUSIÓN

Ante todo, la gran cantidad de información registrada en la estación de lluvias de 1625-26 está unida exclusivamente con la catástrofe del dique de la laguna de San Ildefonso, 15 de marzo de 1626. Hubo más de 2.000 víctimas, lo que la convirtió en una de las tragedias más importantes del mundo desde el siglo XVII (Serrano y Gioda, 1999). Un intrincado sistema de acueductos fue construido para colectar las aguas desde un grupo de lagunas a otro y, eventualmente al canal de la Ribera, construido en 1574-77 y que continua alimentando los ingenios (Gioda y Serrano, 1998).

Contradicciones aparentes entre la información de Arzáns y la de las Actas de los Acuerdos del Cabildo pueden ocurrir para un mismo año. En el actual estado de la investigación, presentamos todas las referencias, pero la información de los archivos del Cabildo de Potosí y del Archivo General de Indias parecen mucho más confiables.

Estudios cuidadosos se han llevado a cabo recientemente en el Norte de la Patagonia y la Argentina subtropical para estudiar el cambio climático, utilizando la dendrocronología (Villalba, 1994; Villalba *et al.*, 1998). En Bolivia se ha usado la glaciología con el mismo fin (Thompson *et al.*, 1998). Pero si bien la información obtenida mediante estas técnicas es sumamente valiosa, es necesario recalcar la importancia de la reconstrucción histórica del clima desde archivos, en los que la información ha sido recopilada casi al mismo tiempo en que ocurría el anormal fenómeno climático (Le Roy Ladurie, 1983, Pfister, 1999). Estos estudios en América del Sur, después de tempranas tentativas en Chile (antes de los años 40), empezaron en los años 80 en Mendoza (Argentina) utilizando ante todo información de archivos y prensa de la Argentina (Prieto, 1983; Prieto *et al.*, 1999, 2000). Desde 1990 se han extendido a las tierras altas de Bolivia: Altiplano y valles andinos (Gioda y Prieto, 1997, 1998, 1999). Estrechamente relacionada a estos esfuerzos, está la calibración del registro histórico de los eventos de El Niño en América Latina (Ortlieb, 1999; 2000). No obstante, estos últimos trabajos buscan particulares episodios oceanográficos, y no una reconstrucción cronológica de la historia desde los archivos.

Estos estudios de la información climática de tipo histórico están reagrupados desde 1988 en el proyecto ARCHISS (Archival Climate History Survey) en el marco de la OMM, Unesco e ICA - International Council on Archives - (Baker, 1998). Los primeros resultados de un análisis de tipo "fuzzy logic" son acerca de la información histórica de México (Duckstein, 1998) y entendemos hacer lo mismo con los datos de Potosí que son de mejor calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arzáns B., [1705-1737] 1965, *Historia de la Villa Imperial de Potosí*. Brown University, Providence.
- Arzáns B., [1711] 1970, *Anales de la Villa Imperial de Potosí*. Fondo Nacional de Cultura, La Paz.
- Baker M., 1998, *Relevamiento de archivos de la historia del clima - Proyecto ARCHISS*, PHI Waterway, nº13, 12-16.
- Duckstein L., 1998, *Use of fuzzy logic to encode archival climate research uncertainty*. IHP-V, TD nº17, Unesco, París.

- Gioda A., Prieto M.R., 1997, *Para una historia del clima y del ambiente en los Andes centrales*. In: Anuario 1997, Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia, Sucre, 403-422.
- Gioda, A., Prieto M.R., 1998, Variabilidad climática y documentos históricos en la antigua Charcas (Bolivia) entre los siglos XVI y XIX. In Proc. "El Fenómeno El Niño en Bolivia", SENAMHI-IRD-OMM, La Paz, 3-5 Junio 1998, SENAMHI, La Paz, 18-37.
- Gioda A., Prieto M.R., 1999, *Histoire des sécheresses andines*, La Météorologie, 8<sup>e</sup> série, n°27, 33-42.
- Gioda A., Serrano C., 1998, *L'eau et l'argent à Potosi (ancien Haut-Pérou puis Bolivie)*, La Houille Blanche, n°7, 65-75.
- Le Roy Ladurie E., 1983, *Histoire du climat depuis l'an mil*. Flammarion, Paris.
- Ortlieb L., 1999, "Calibration" studies for ENSO events of the last centuries, Lettre pigb-pmrc-France, n°9, 29-37.
- Ortlieb L., 2000, *The documentary historical record of El Niño events in Peru: an update of the Quinn record (XVI-XIX centuries)*. In: Diaz H. and Markgraf V., editors, *El Niño and the Southern Oscillation*. Cambridge University Press, Cambridge, in press.
- Pfister Ch., 1999, *Le puzzle climatique des historiens*, La Recherche, n°321, 64-68.
- Prieto, M.R., 1983, *Obtención de información sobre precipitaciones nivales en Cordillera mediante técnicas históricas*, Meteorológica (Buenos Aires), vol. XIV, n°1-2, 129-138.
- Prieto M. del R., Herrera R., Dussel P. 1999, *Historical evidences of streamflow fluctuations in the Mendoza River, Argentina, and their relationships with ENSO*, The Holocene, vol. 9, n°4, 473-481.
- Prieto, M.R., Herrera, R., Dussel P. 2000, Archival evidence for some aspects of historical climate variability in Argentina and Bolivia during the XVIth and XVIIIth centuries. In Volkheimer, W. and Smolka, P., editors, *Paleo and Neoclimates from the Southern Hemisphere*, Springer Verlag, in press.
- Serrano C., Gioda A., 1999, *Apuntes relacionados con la catástrofe hidráulica de 1626 en Potosí*, Revista de la Casa de la Libertad (Sucre), año 3, n°6, 77-123.
- Thompson L.G., Davis M.E., Mosley-Thompson L.G., Sowers T.A., Henderson K.A., Zagorodnov V.S., Lin P.-N., Mikhalenko V.N. Campen R.K Bolzan J.F., Cole-Dai J., Francou B., 1998, *A 25,000-year tropical climate history from Bolivian ice cores*, Science, vol. 282, 1858-1864.
- Villalba R., 1994, *Tree-rings and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in Southern South America*, Climatic Change, vol. 26, 183-197.
- Villalba R., Grau H.R., Boninsegna, J.A., Jacoby G.C., Ripalda, A., 1998, *Tree-ring evidence of long-term precipitation changes in subtropical South America*, Int. J. Climatol., vol. 18, 1463-1478.

## Agradecimientos

Se agradece al Prof. Santiago Antunéz de Mayolo (Lima, Perú) que ha transmitido su amplio conocimiento sobre la historia del clima andino, a la Oficina Regional de la Unesco en América Latina (Montevideo, Uruguay) que subvencionó parcialmente esta investigación en el trabajo del proyecto "ARCHISS Cono Sur", a la Oficina Regional de Cooperación Francesa a la Ciencia y la Tecnología (Bogotá, Colombia) que financió varios viajes en la región de los Andes. Esta investigación es parte del Programa Nieve y Glaciales Tropicales (NGT) del IRD (Institut de Recherche pour le Développement) y del SENAMHI boliviano (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

Tabla 1. La reconstrucción de las estaciones de lluvias en Potosí desde 1585 a 1737.

Años	ESTACIÓN DE LLUVIAS	Cantidad de información	Índice de confiabilidad	Referencias y notas
1585-86	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 5
1586-87	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 5
1587-88	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 5 ≠ Anales, 44; Historia, 1, 203 (temprano-muy húmedo)
1588-89	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 5
1589-90	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 5
1590-91	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 5-6 ≠ Anales, 46 (muy seco)
1591-92	MUY SECO	> 10	3	Anales, 46, Historia, 1, 217; ANB, AACP, 6, 64-112, ANB, Minas, 56, 320
1592-93	TEMPRANO-NORMAL	1	3	ANB, AACP, 6, 115v ≠ Historia, 1, 217-218 (tarde-humedo)
1593-94	TEMPRANO-HÚMEDO	2	3	AGI, Charcas, 32, AGI, Vázquez, 15, 35-743 ≠ ANB, AACP, 7 (normal)
1594-95	HÚMEDO	3	3	ANB, AACP, 7, 367v-385 (sequía, feb 1595)
1595-96	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 7
1596-97	NORMAL	0	1	ANB, AACP, 7-8 ≠ Anales, 47, Historia, 1, 233 (húmedo)
1597-98	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 8 ≠ Antuñez, comunic personal (muy seco, Altiplano)
1598-99	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 8-9
1599-1600	TARDE-NORMAL	4	3	AGI, Levillier, 408-10 (sequía, dic. 1599 & ene 1600) ≠ Historia, 1, 244 (muy húmedo, fines ene. & feb 1600) ≠ ANB, AACP, 9 (normal)
1600-01	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 9
1601-02	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 9 ≠ Historia, 1, 250 (seco) ≠ Antunéz, comunic personal (muy seco, Altiplano)
1602-03	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 9-10
1603-04	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 10
1604-05	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 10-11
1605-06	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 11 ≠ Historia, 1, 263-264; Antunéz (muy seco pero confusión con la sequía de 1609)
1606-07	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 12 ≠ Historia, 1, 264-265 (humedo)
1607-08	MUY SECO	4	3	ANB, AACP, 12, 94v-102
1608-09	MUY SECO	2	3	ANB, AACP, 12, 208, ANB, Minas, 281-282, 1
1609-10	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 12
1610-11	MUY SECO	3	3	ANB, AACP, 12, 340v-342v
1614-15	SECO	1	3	ANB, AACP, 14, 70

Años	ESTACIÓN DE LLUVIAS	Cantidad de información	Índice de confiabilidad	Referencias y notas
1615-16	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 15
1616-17	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 15
1617-18	SECO	1	3	ANB, AACP, 16, 18v
1618-19	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 16
1619-20	SECO	1	3	ANB, AACP, 16, 200v
1620-21	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 16
1621-22	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 16 (datos hasta ene. 1622)
1623-24	HÚMEDO	2	1	Anales, 82; Historia, 1, 384-385
1624-25	MUY SECO	1	3	AGI, Vázquez, 33-34
1625-26	MUY HÚMEDO	> 10	3	ANB, AACP, 18, 3v-20; Anales, 89; Historia, 2, 1
1626-27	MUY SECO	3	3	ANB, AACP, 18, 136-179v
1627-28	HÚMEDO	2	3	ANB, AACP, 18, 259v-262v
1628-29	TEMPRANO-HÚMEDO?	1	3	ANB, AACP, 18, 340v-341v (datos hasta ene. 1629)
1629-30	MUY SECO	1	1	Historia, 2, 32-33
1633-34	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 20 (datos desde ene. 1634)
1634-35	MUY SECO	> 10	3	ANB, AACP, 20, 160-335
1635-36	NORMAL	1	3	ANB, 20, AACP, 388-389 (sequía, oct. 1635)
1642-43	HÚMEDO	1	1	Historia, 2, 91
1647-48	MUY SECO	1	1	Antunéz, comunic. personal (Altiplano)
1648-49	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 24 (datos desde ene. 1649)
1649-50	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 24
1650-51	MUY SECO	8	3	ANB, AACP, 24, 423v-461v; AGI, Vázquez, 41, 21-397
1651-52	TARDE-SECO	1	3	ANB, AACP, 24, 480-482 (datos hasta dic. 1651)
1654-55	HÚMEDO	1	1	Historia, 2, 162
1657-58	SECO	1	3	ANB, AACP, 26, 40 (datos desde ene. 1658)
1658-59	SECO	1	3	ANB, AACP, 26, 115v-116
1659-60	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 26
1660-61	TARDE-SECO	2	3	ANB, AACP, 26, 345 (sequía hasta dic. 1660) ≠ Historia, 2, 488-489 (húmedo después dic. 1660?)
1661-62	SECO?	1	1	Historia, 2, 218
1671-72	TARDE-HÚMEDO	2	1	Anales, 143; Historia, 2, 259
1676-77	MUY HÚMEDO	1	2	Historia, 2, 285
1677-78	HÚMEDO	1	3	ANB, AACP, 31, 121
1678-79	TARDE-HÚMEDO	3	2	Anales, 148; Historia, 2, 293-294 ≠ ANB, AACP, 31 (normal) ≠ Antunéz, comunic. personal (muy seco)
1679-80	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 31
1680-81	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 31

Años	ESTACIÓN DE LLUVIAS	Cantidad de informacion	Índice de confiabilidad	Referencias y notas
1681-82	NORMAL	0	2	Historia, 2
1682-83	NORMAL	0	2	Historia, 2
1683-84	TEMPRANO-SECO	1	2	Historia, 2, 316
1684-85	SECO	1	2	Historia, 2, 329
1685-86	NORMAL	0	2	Historia, 2
1686-87	NORMAL	0	2	Historia, 2
1687-88	NORMAL	0	2	Historia, 2
1688-89	NORMAL	0	2	Historia, 2
1689-90	NORMAL	0	2	Historia, 2
1690-91	HÚMEDO	1	2	Historia, 2, 358
1691-92	SECO	2	2	Anales, 167; (sequía, ene. & marzo 1692); Antúnez, comunic. personal (Altiplano)
1692-93	HÚMEDO	1	2	Historia, 2, 308
1693-94	TEMPRANO-NORMAL	2	3	AGI, Charcas, 32 & Historia, 2, 370-380 & 394-395, Anales, 168 (seco, sequía en todo el Perú 1693-1695)
1694-95	SECO	2	2	Historia, 2, 370-380 & 393-394; Anales, 168
1695-96	TARDE-HÚMEDO	2	2	Historia, 2, 393-394 (seco, 1695) & 381 (húmedo, ene. 1696)
1696-97	NORMAL	0	2	Historia, 2
1697-98	MUY SECO	1	2	Historia, 2, 393-394
1698-99	NORMAL	0	2	Historia, 2
1699-1700	NORMAL	0	2	Historia, 2
1700-01	NORMAL	0	2	Historia, 2
1701-02	NORMAL	0	2	Historia, 2
1702-03	NORMAL	0	2	Historia, 2
1703-04	NORMAL	0	2	Historia, 2
1704-05	NORMAL	0	2	Historia, 2
1705-06	TARDE-HÚMEDO	2	2	Historia, 2, 435
1706-07	SECO	1	2	Historia, 2, 440, 447 (sequía en ene. & feb. 1707)
1707-08	HÚMEDO	3	2	Historia, 2, 448, 451, 453
1708-09	MUY SECO	2	2	Historia, 2, 466-468, 472 (sequía en 1709)
1709-10	MUY HÚMEDO	2	2	Historia, 2, 475-476, 479
1710-11	HÚMEDO	1	2	Historia, 2, 488-489
1711-12	SECO	2	2	Historia, 2, 495, 501
1712-13	MUY SECO	3	2	Historia, 2, 501; Historia, 3, 2-3
1713-14	TARDE-MUY HÚMEDO	3	2	Historia, 3, 12-19 (sequia hasta dic. 1713)

Años	ESTACIÓN DE LLUVIAS	Cantidad de información	Índice de confiabilidad	Referencias y notas
1714-15	TARDE-HÚMEDO	3	2	Historia, 3, 26-27 (sequía hasta dic. 1714)
1715-16	MUY SECO	2	2	Historia, 3, 43 (sequía hasta ene. 1715)
1716-17	HÚMEDO	1	2	Historia, 3, 62
1717-18	NORMAL	0	2	Historia, 3
1718-19	MUY HÚMEDO	2	2	Historia, 3, 78-81
1719-20	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 37 (datos desde ene 1720); Historia, 3
1720-21	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 37 ≠ Historia, 3, 124 (pequeña sequía en ene 1721)
1721-22	SECO	4	3	ANB, AACP, 37, 95, Historia, 3, 136 & 138-139
1722-23	MUY SECO	4	3	ANB, AACP, 37, 148v; Historia, 3, 150-153, 156 & 163
1723-24	NORMAL	3	3	ANB, AACP, 37 ≠ Historia, 3, 158-163 (húmedo)
1724-25	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 37 ≠ Historia, 3, 177 (muy húmedo)
1725-26	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 37-38
1726-27	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 38 ≠ Historia, 3, 250 (seco)
1727-28	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 38 ≠ Historia, 3, 259 (tarde-húmedo)
1728-29	NORMAL	4	3	ANB, AACP, 38 ≠ Historia, 3, 287, 289, 291 & 293 (tarde-húmedo)
1729-30	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 38; Historia, 3
1730-31	NORMAL	0	3	ANB, AACP, 38; Historia, 3
1731-32	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 38 ≠ Historia, 3, 342 (seco)
1732-33	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 38-39 ≠ Historia, 3, 349-352 (muy húmedo)
1733-34	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 39 ≠ Historia, 3, 362-363 & 367 (tarde-húmedo)
1734-35	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 39 ≠ Historia, 3, 378, 381 & 384-385 (seco)
1735-36	NORMAL	1	3	ANB, AACP, 39 ≠ Historia, 3, 397 (tarde-normal)
1736-37	SECO	3	3	ANB, AACP, 40, 33v-34; Historia, 3, 408, 411-414

## MAGNITUD DE LAS COMPONENTES UVA Y UVB DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COTA COTA

R.Torrez, L.Blacutt.

Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Instituto de Investigaciones Físicas, Dpto. de Física, UMSA

### 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 global no muestra correlación entre las RUV's y la radiación solar global. 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:  $553.36 \text{ W/m}^2$ ,  $30.06 \text{ W/m}^2$ , y  $1.63 \text{ W/m}^2$ , 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.

### 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.

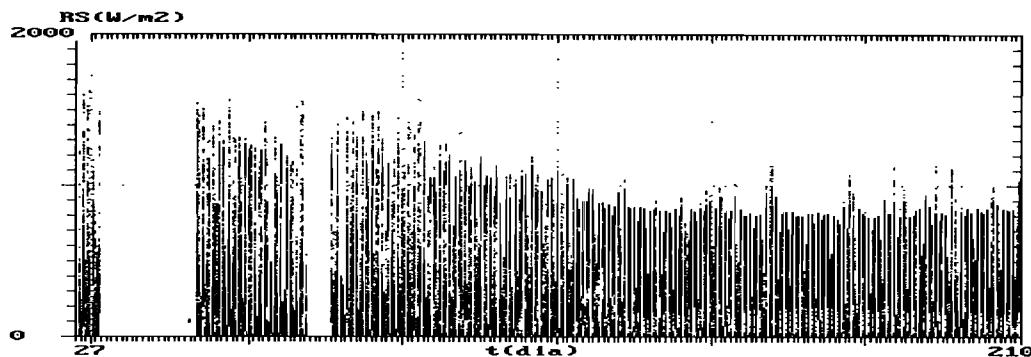


Fig.1. Serie de datos de radiación solar de enero a julio, se puede observar la gran variabilidad en los primeros meses.

Por la relación existente entre la longitud de onda y la energía de un fotón de luz, las componentes ultra-violeta 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 crítica-mente 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.

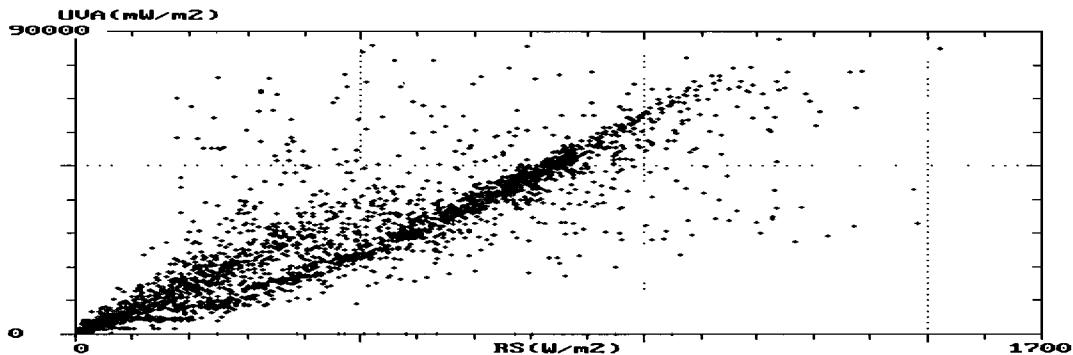


Fig.2. Gráfica de dispersión de la radiación UVA en función de la radiación solar.

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, lámparas 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 meteoro-lógicos, 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  $\text{mW/m}^2$ .

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  $\text{W/m}^2$ .

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.

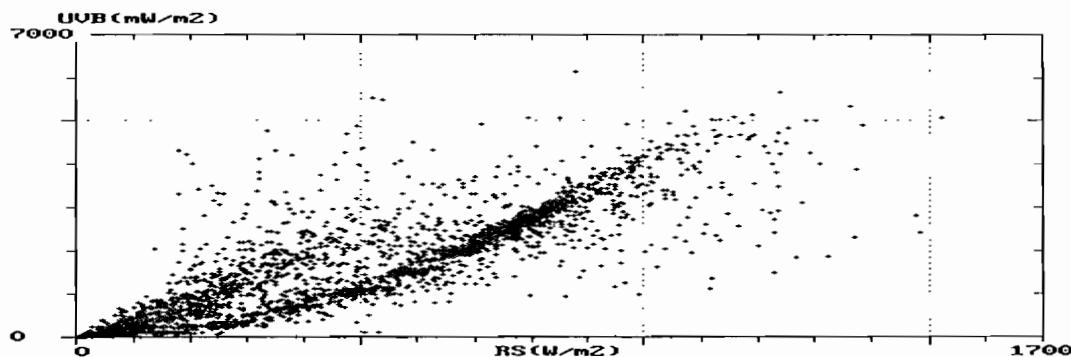


Fig.3. Dispersión de la radiación UVB en función de la radiación solar.

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 mas reducidos, 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:

$$I_{uv} = a + bI_r^2$$

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 trasmisida, 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 que el camino óptico cenital.

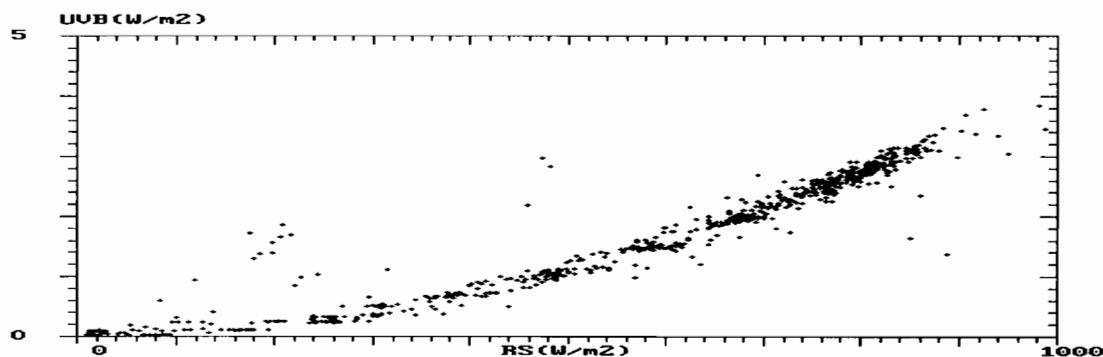


Fig.4. Gráfica de la radiación UVB en función de la radiación solar solo para días Claros

Los coeficientes de correlación para los ajustes planteados a los dos tipos de radiación ultravioleta son respectivamente 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:

$$I_{UVA} = 7.1824 + 6.1689 \times 10^{-5} I_{RS}^2$$

$$I_{UVB} = 0.1424 + 4.005 \times 10^{-6} I_{RS}^2$$

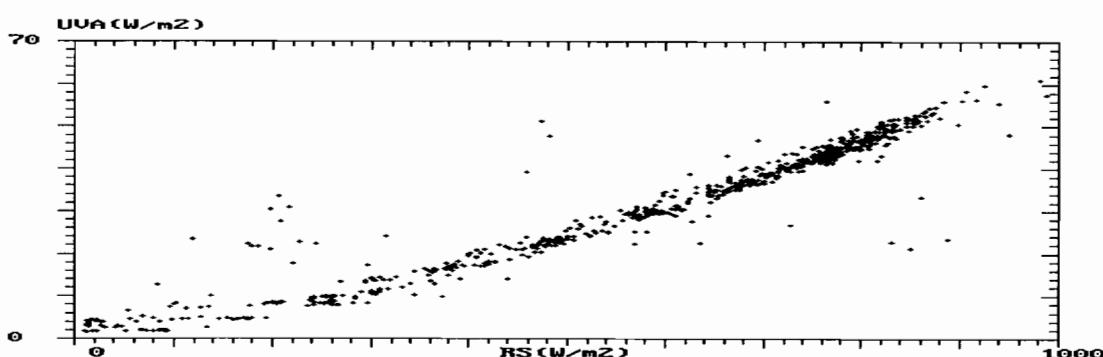


Fig.5. Gráfica de la radiación UVA en función de la radiación solar solo para días claros

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  $\theta_z$  grados con la vertical para ángulos no muy próximos a  $90^\circ$  es:

$$d' = \frac{d}{\cos\theta}$$

De donde:

$$x = d \frac{1}{\cos\theta_z} - 1$$

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

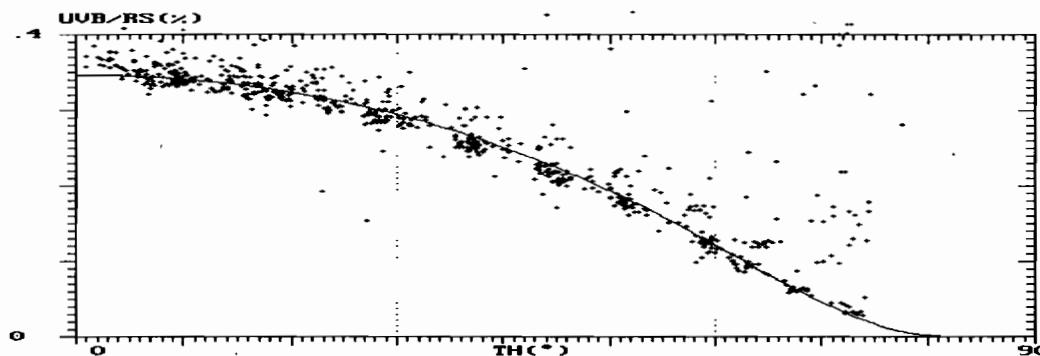


Fig.6. Comportamiento de la relación UVB/RS en función del ángulo cenital.

Ambas 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.

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".

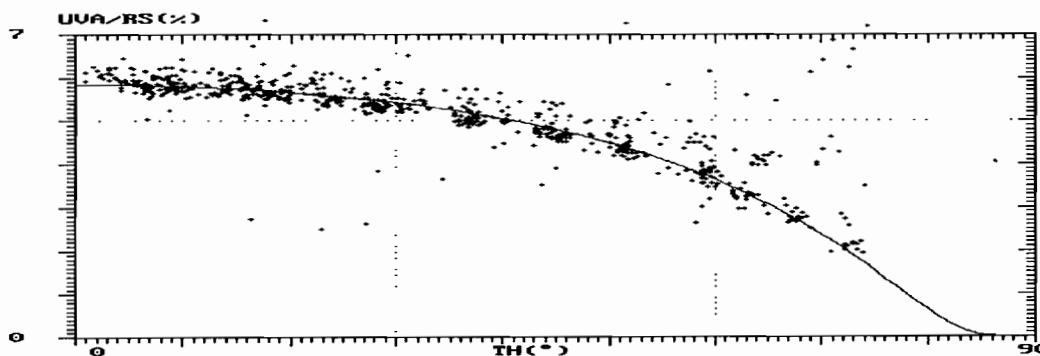


Fig.7. Comportamiento de la relación UVA/RS en función del ángulo cenital.

## CONCLUSIONES

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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- M. Iqbal. Introducción a la Radiación Solar. Academic Press 1983.
- J. L. Monteith and M.H. Unsworth. Edward Arnold. 1973.
- Monographs on the evolution of carcinogenic risk to humans. IARC, LYON; 1992.

## Agradecimientos

Hacemos presente nuestro agradecimiento a todo el personal del Laboratorio de Física de la Atmósfera, en particular, al Dr. Francesco Zaratti, nuestro director, y a los colegas R. Forno, E. Palenque, por su aporte en la revisión del trabajo, y a los tesistas y técnicos; J. García, P. Saavedra, y G. Gutierrez, por la revisión de datos.

# PROGRAMA ESPECIAL DE OBSERVACIONES DEL VIENTO EN CHORRO DE NIVELES BAJOS EN LA REGIÓN ORIENTAL DE BOLIVIA

- DURANTE EL PERÍODO DE ENERO A ABRIL DE 1999 -

Michael W. Douglas <sup>1</sup> y Willian Ramiro Villarpando C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Severe Storms Laboratory/NOAA Norman, Oklahoma, USA

<sup>2</sup> Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

## Resumen

Durante el período de enero a abril de 1999 se instalaron 4 estaciones de globos piloto y una de radiosondeo, las cuales registraron observaciones atmosféricas de los niveles inferiores y medios de la troposfera de Bolivia. Tres de estas se ubicaron en las tierras bajas de la región oriental de Bolivia, y las otras dos en el altiplano, a aproximadamente 4000 m de altura. La información consistió de dos observaciones diarias, con el propósito de capturar la variación diurna del viento.

El objetivo principal de estas observaciones fue describir la variación espacial y sinóptica del viento en chorro de los niveles bajos (Low-Level Jet) de la troposfera en la región oriental de los Andes, principalmente en las proximidades de Santa Cruz. Los resultados de un programa de observación previo, que se llevo a cabo a principios de 1998, mostró indicios de una zona de vientos intensos en los niveles bajos próxima a la ciudad de Santa Cruz.

Las observaciones de 1999 mostraron la ocurrencia de vientos intensos y persistentes en los niveles bajos sobre la región Oriental de Bolivia. Estos vientos del norte, siendo más intensos en Santa Cruz, alcanzan valores máximos a niveles cerca de 1500 metros sobre el nivel medio del mar (msnm). En contraste a la situación anterior, durante el pasaje de frentes fríos provenientes del sur (Surazos), estos vientos alcanzan su mayor intensidad a alturas por debajo de los 1000 msnm. La cizalladura vertical del flujo en los niveles bajos durante episodios de surazos, es más marcada.

Durante esta presentación se describirán las observaciones de la red, algunos resultados preliminares del análisis de estos datos, a demás de hacer algunas comparaciones entre las observaciones de 1998 y 1999. En particular se muestran los resultados relacionados con la variabilidad diurna del viento en los niveles bajos de la troposfera de la región oriental de Bolivia y la variación media espacial de este viento en chorro.

## INTRODUCCION

Los análisis del clima global y regional muestran que sobre la región oriental de Bolivia y Paraguay, existe un lugar de vientos significativamente intensos en los niveles más bajos de la troposfera. Estudios previos han sugerido la asociación entre estos vientos en chorro de los niveles bajos [Low-Level Jet, (LLJ)] y las perturbaciones sinópticas. Sin embargo, información básica sobre la intensidad y alcance espacial de esta este viento en chorro prevalece sin ser descrita. Debido a lo anterior, se diseño un programa especial de observaciones de corta duración, en el que se utilizó globos piloto en Santa Cruz, Bolivia, durante el período de enero a marzo de 1998. Estas observaciones confirmaron la presencia de un viento en chorro en los niveles bajos de la troposfera, y una marcada variación sinóptica en la región (Douglas et. al, 1999); estas observaciones motivaron la extensión y expansión de otro programa de observación que se realizó de enero a abril de 1999, los resultados se describen a continuación.



Fig. 1 Red de observaciones de globos piloto durante Enero a Abril de 1999. La estación en Paraguay y en el norte de Bolivia (Cobija) no operaron en 1999.

## 1. PROGRAMA DE OBSERVACIONES EN 1999

A finales de 1998, fondos económicos patrocinados por los programas: Brasil-based Tropical Rainfall Measurind Mission (TRMM); Large-Scale Biosphere-Atmosphere (LBA); y Atmospheric Mesoscale Campaign (AMC) (para obtener más detalles visite la página web en: [http://olympic.atmos.colostate.edu/lba\\_trmm](http://olympic.atmos.colostate.edu/lba_trmm)), se emplearon para establecer varios sitios de sondeos atmosféricos en la región oriental de Bolivia.

La red que se estableció, consistió de una estación de radiosondeo en Santa Cruz (Aeropuerto Internacional de Viru Viru) y 4 estaciones de globos piloto (ver Fig. 1). La información que se obtuvo de estas estaciones, consiste de dos observaciones diarias desde finales de enero hasta mediados de abril de 1999, la cual presenta interrupciones breves.

## 2. RESULTADOS PRELIMINARES

Los pocos resultados discutidos más adelante debe servir para destacar algunas de las características de la base de datos obtenida de estas observaciones, ello implica que no deben tomarse como resultados finales de esta investigación; debido a que la calidad de los datos no se han verificado correctamente, posibles errores no significativos, pueden atribuirse al procesamiento de los datos, errores de los observadores y a la captura de datos. Pese a esto, se invita a la comunidad científica a hacer uso de esta información, la cual puede contribuir a enriquecer y dar una mayor explotación de los datos, y con ello lograr un mayor entendimiento de la climatología sobre esta región. La información la puede encontrar en la página web del Proyecto PACS-SONET: <http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs>

### 2.1. Comparación entre las observaciones de 1998 y 1999

El viento medio en Santa Cruz durante el periodo de enero a abril de 1999, fue substancialmente más débil que el obtenido en el año precedente. La diferencia de la rapidez media del viento a 850 mb es de 3 - 4 m/s; siendo la intensidad media del viento aproximadamente 50% más débiles en 1999 que en 1998. Esto implica una marcada variación interanual del viento en chorro en esta región.

### 2.2. Ciclo Diurno Medio del Viento sobre la Tierras Bajas de Bolivia

Uno de los objetivos de las observaciones de 1999 fue determinar la variación diurna del viento sobre la región. La Figura 2 muestra para ambas horas de observación -en la mañana (AM) y en la tarde (PM)- los perfiles promedios de la componente meridional (V) y zonal (U) del viento en Trinidad (15° S, 65° W). Estas gráficas indican que el viento presenta una anomalía (con relación a la media del día) desde el sudoeste (V y U ambos mayores que la media) por la tarde, y el viento del noreste (V y U menores que la media) por la mañana, en la capa de 2 - 6 km. Sin embargo, en la superficie hasta una altura de 2000 m, los valores son similares. Las condiciones cerca de la superficie presentan poca diferencia en los valores medios. Los resultados en Roboré (no se muestran) son similares a los de Trinidad.

### 2.3. Variabilidad Sinóptica y el Frente Frío del 15 a 18 de Abril

Aunque las actividades de la AMC terminaron a finales de Febrero de 1999, las observaciones en Bolivia continuaron por algunos meses adicionales. Ello fue beneficioso, por que se logró documentar el pasaje de un frente frío intenso que ocurrió a mediados de abril. Previo al pasaje de este frente frío, intensas corrientes pre-frontales del noroeste se registraron en la información obtenida con el radiosondeo de las 12UTC del 15 de Abril (Fig. 3). Siendo evidentes los vientos del noroeste de hasta 30 m/s cerca de los 850 mb, con fuerte cizalladura entre 800 y 600 mb, y vientos débiles entre 600-550 mb. Encima los 550 mb, los vientos se intensifican nuevamente, pero la dirección del viento es hacia el oeste.

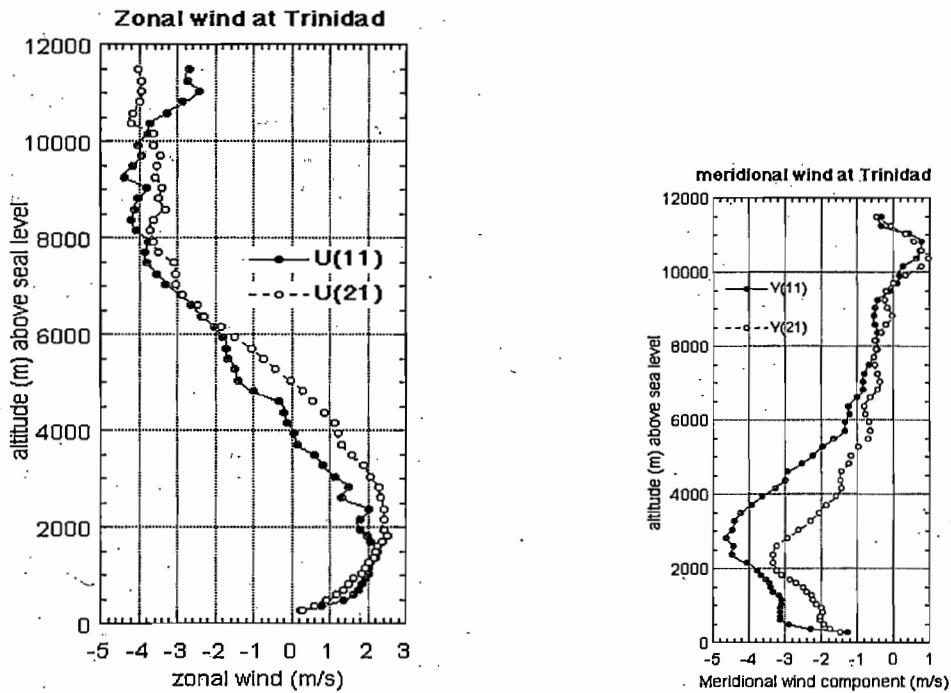


Fig. 2. Promedio Zonal y Meridional del Viento por la mañana (11 UTC) y la tarde (21 UTC) en Trinidad, Bolivia

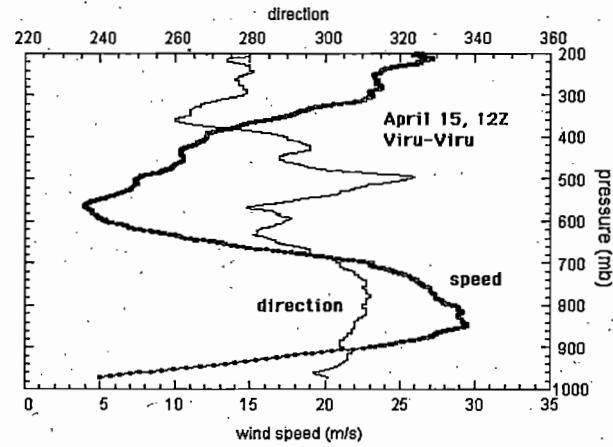


Fig. 3. Corriente Intensa del Noroeste sobre Santa Cruz, anterior al frente frío.

El cambio en el viento y la temperatura asociado con el pasaje del frente frío puede verse en las Figs. 4 y 5, donde se muestra la información de viento y temperatura (cada 50 mb) para la tarde (22 UTC) de los sondeos hechos el 15 y 16 de abril. La corriente pre-frontal es típicamente más profundo que la corriente post-frontal, con vientos máximos de 21 m/s cerca a los 2000 - 2500 msnm. La corriente post-frontal 24 horas después del pasaje, muestra un nivel de máxima intensidad del viento cerca a 1400 msnm, y disminuye cerca a la calma a los 2500 msnm. Los cambios en la temperatura (Fig. 5) ocurren principalmente en los primeros 2000 m. de altitud, siendo su valor máximo por debajo de 1500 m. (12 °C de diferencia). Se presenta una definida inversión post-frontal cerca de los 2000 msnm, esta obtenida con información de 50 mb de resolución.

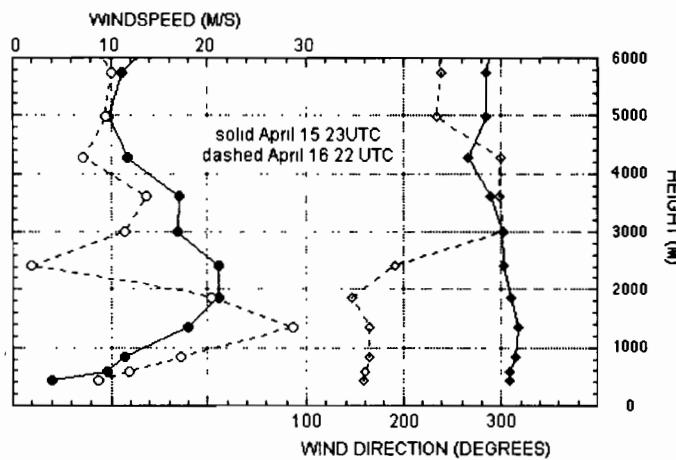


Fig. 4. Perfil de la velocidad y dirección del viento antes y después del pasaje de un frente frío en Santa Cruz

Aunque para este estudio no se analizó toda la información de las observaciones de los globos piloto, esta verifica que en Trinidad los vientos del sudeste alcanzaron intensidades de 25 m/s cerca a los 1000 msnm, en la mañana del 17 y 18 de abril, lo que está en acuerdo con la información de los radiosondeos sobre la estación de Viru-Viru (Santa Cruz, Bolivia).

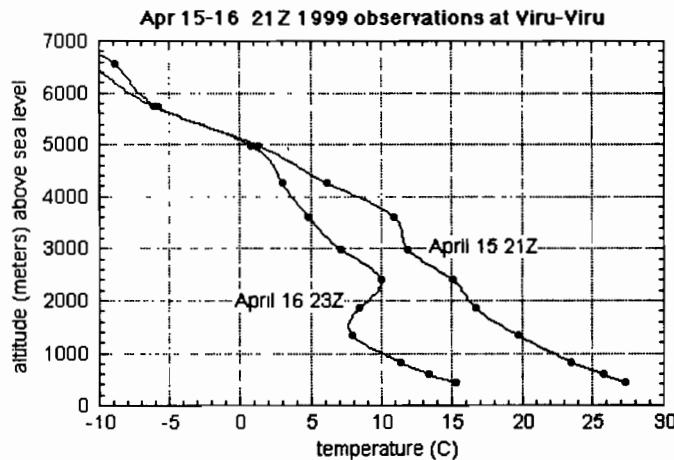


Fig. 5. Perfiles de temperatura durante la tarde del 15 y 16 de abril de 1999, mostrando el pasaje de un frente frío

### 3. BOLIVIA Y EL PAN AMERICAN CLIMATE STUDIES - SOUNDING NETWORK (PACS-SONET)

Desde abril de 1997 se han realizado observaciones de altura en Latino América como parte de un programa para proveer de información de la variación climática sobre la región. Estas observaciones, son financiadas por la NOAA, a través de la oficina de Programas Especiales como parte del programa de investigación de PACS.

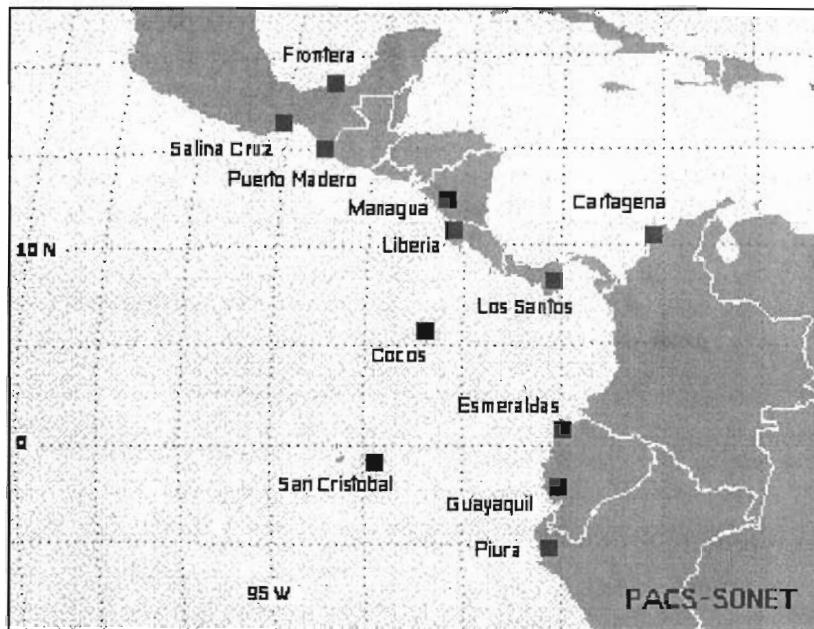


Fig. 6. Red original de estaciones de globos piloto de PACS - SONET que operaron en mayo a octubre de 1997

### 3.1. Objetivos Iniciales de PACS - SONET

El enfoque inicial de PACS-SONET fue la identificación de modelos de circulación para la estación calurosa y asociada con la temporada húmeda y seca sobre Centroamérica, como un primer intento de determinar la exactitud de los reanalisis de la NCEP sobre la región. Para ello, se estableció una red de 12 estaciones de globos piloto, desde el Sur de México hasta el Norte de Perú para ayudar con el mapeo diario del viento (Fig. 6). Las observaciones se hicieron dos veces por día para identificar además, la amplitud del ciclo diurno del viento, asociada normalmente con la circulación de brisa entre la tierra y el mar.

### 3.2. Ampliación hacia Bolivia

Una pequeña extensión de las observaciones que ha tenido un importante papel en la evolución de la red de observación en Sudamérica, fue las observaciones hechas en Santa Cruz, Bolivia, como parte de un programa especial de observación de El Niño. Aunque el período de estas observaciones fue de solo 3 meses, ello fue suficiente para poder determinar la existencia de un viento en chorro intenso y variable sobre Santa Cruz, que no había sido descrita anteriormente, ni se realizaron observaciones con este objetivo. Todo esto estimuló indirectamente la implementación de observaciones adicionales y, de forma más extensa durante los primeros meses de 1999, valorando a la región como una importante zona de monitoreo meteorológico a implementarse en un futuro próximo. (ver más adelante).



Fig. 7. Distribución de las estaciones de PACS - SONET durante la fase intensa de El Niño (Enero a Mayo de 1998). No todas las estaciones operaron simultáneamente

#### 4. EXTENSIÓN DEL PROGRAMA PACS - SONET

A finales de 1999 se logró el apoyo económico para la extensión de PACS-SONET por un período de 3 años adicionales. Además de una extensión en tiempo, este programa se encamina a una expansión espacial de la red. Esta expansión posee varias alternativas. Desde el punto de vista de la extensión geográfica, los nuevos sitios de observaciones de globo piloto contemplan a Paraguay (2 estaciones), Bolivia (6 estaciones), y posiblemente Chile y Argentina (ver Fig. 8).

El objetivo principal de estas observaciones adicionales es describir la variación interanual del viento en chorro de los niveles bajos al este de los Andes y la circulación atmosférica sobre el Altiplano Boliviano. En Norteamérica al menos 6 estaciones operarán en México, incluyendo dos en el noroeste de México, con el fin de mejorar la descripción del viento en chorro de los niveles bajos a lo largo del Golfo de California.

Además de las observaciones en los sitios, se hace necesario la recopilación y transmisión de la información en tiempo real. Esto requiere de un esfuerzo mayor por actualizar y mejorar los sistemas de comunicaciones en muchos sitios, además del desarrollo de mecanismos que permitan asegurar el flujo de los datos, no sólo a instituciones dedicadas a la investigación, sino a todas aquéllas instituciones con interés en esta información. Aunque la investigación se considera como una actividad de PACS-SONET, se reconoce ampliamente que a largo plazo, la sostenibilidad de la red requiere del acceso a los datos en tiempo real, donde los pronosticadores de cada una de las servicios meteorológicos, podrán hacer uso cotidiano de esta información en los análisis sinópticos de las condiciones del tiempo en la región y con ello apoyarse en los pronósticos meteorológicos diarios.

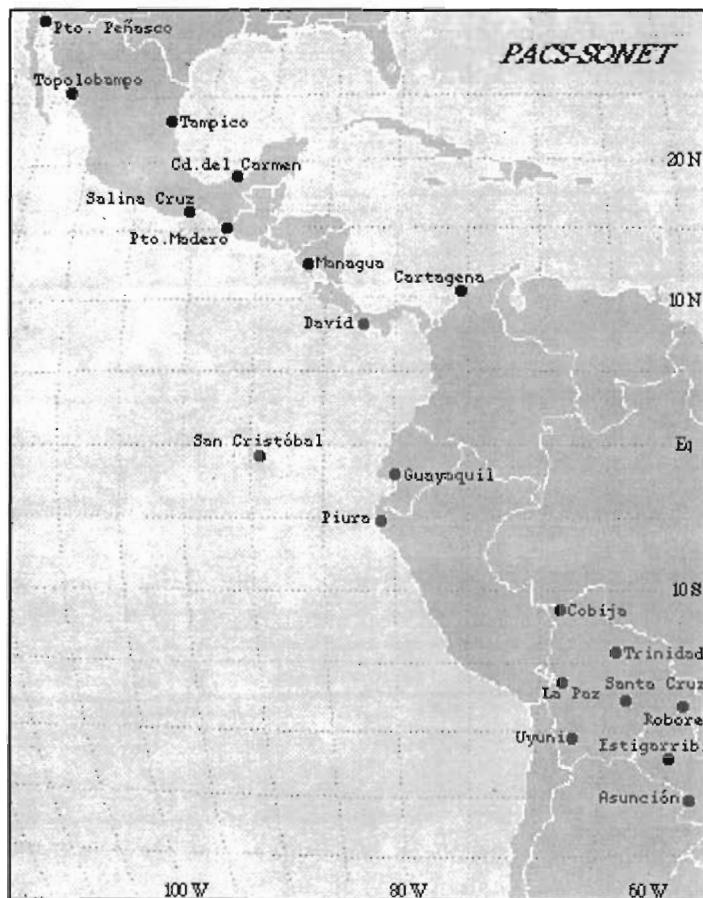


Fig. 8. Red de estaciones que operarán durante la expansión de PACS -SONET (aproximadamente de 2000 a 2002)

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Douglas, M.W., M. Nicolini, and A. Celeste Saulo. 1999. Observational evidences of a Low-level jet east of the Andes during January-March 1998. *Meteorologica*, 23, pp 63-72.
- Douglas, M.W., W. Fernandez and M. Peña, 1999: Design and evolution of the PACS-SONET observing system in Latin America. Third Symposium on Integrated Observing Systems, Dallas, Texas, Enero 10-15, 1999, pp 131-134.
- Douglas, M.W., M. Peña, N. Ordinola, L. Flores, J. Boustead, and J. L. Santos, 2000: Synoptic and spatial variability of the rainfall along the northern Peruvian coast during the 1997-8 El Niño event. Sixth Conference of Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Santiago, Chile, Abril 3-7, 2000
- Howard, K.W., M.Douglas, S. Fredrickson, I.Winge, D. Egle, D. Smith, and N. Renno, 1998: The development of a recoverable radiosonde: The glidersonde project. Tenth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation. Phoenix, Arizona, 11-16 Enero, 1998.

# LA ANOMALIA DEL OZONO SOBRE EL ALTIPLANO ANDINO

Francesco Zaratti

Laboratorio de Física de la Atmósfera, Instituto de Investigaciones Físicas, UMSA.  
Casilla 3164. La Paz, Bolivia, e-mail: [ozono@mail.megalink.com](mailto:ozono@mail.megalink.com)

## Resumen

A partir de un análisis estadístico longitudinal y latitudinal de los datos del instrumento TOMS de la NASA a bordo de satélites, se pone en evidencia una anomalía de la columna de ozono sobre el Altiplano andino, anomalía que no es explicable sólo por efecto de reducción de la atmósfera.

Con datos complementarios de medidas en superficie, resultados de una campaña de ozonosondeo y otros análisis, se busca caracterizar la naturaleza y el origen de la anomalía, que tienen consecuencias importantes para el ecosistema de esa región.

## INTRODUCCIÓN

Los datos de la columna de ozono para todo el planeta, proporcionados por instrumentos a bordo de satélites de la NASA y otras agencias espaciales, han sido objeto de análisis tendientes a mostrar las variaciones latitudinales y temporales del ozono total. Esos estudios han permitido caracterizar la drástica disminución estacional del ozono sobre los polos y en especial sobre la Antártica (el llamado agujero de ozono), seguramente atribuible a la emisión de los gases CFCs (ref. 1)

Por otro lado, pocos estudios han sido realizados para estudiar las variaciones longitudinales y altitudinales de la columna de ozono en el entendido que se trataba de efectos muy pequeños y, en el caso de las montañas, explicables por la reducción de la atmósfera.

El año 1998, a partir de un análisis de los datos de más de 12 años de observaciones por el instrumento TOMS a bordo del satélite Nimbus-7 de la NASA, en el Laboratorio de Física de la Atmósfera de la UMSA, se puso en evidencia una peculiar y permanente anomalía de la columna de ozono sobre el Altiplano Andino (ref.2).

Sucesivamente, mediante una campaña de ozonosondeo, se ha logrado caracterizar parcialmente la anomalía (ref. 3), al mismo tiempo que se han encaminado tentativas de explicar el fenómeno en el marco de los modelos corrientes (ref. 4).

En este trabajo se hará una revisión del origen, características y posibles explicaciones del fenómeno, que ha llegado también a alarma la opinión pública, debido a una información distorsionada o mal comprendida por la prensa nacional e internacional (ref.5)

## Evidencia del fenómeno

Cuando se analizan los datos del TOMS en escala latitudinal se observa que la columna de ozono disminuye desde los polos hacia el ecuador, tendencia que puede ser puesta en evidencia también con imágenes en falso color de la columna de ozono. Al mismo tiempo los instrumentos en superficie reflejan esa misma tendencia de la columna de ozono según la latitud. Sin embargo, a paridad de latitud se ha puesto en evidencia algunas anomalías debidas a la orografía, como por ejemplo el llamado efecto GHOST (ver ref. 2) que muestra una diferencia sensible entre valores tomados sobre el océano y los valores tomados sobre el continente. Adicionalmente los mencionados mapas en falso color muestran, en

correspondencia a la región altiplánica, valores similares a latitudes menores en contraste con los valores sobre el océano a la misma latitud.

Por esa razón en la *ref. 2* se ha analizado los datos del TOMS a la latitud de 16.5° S, a diferentes longitudes, desde el océano hasta las llanuras amazónicas, pasando por una doble cadena de montañas separada por un altiplano de unos 200 km de extensión, con la ventaja adicional que ese paralelo pasa por la ciudad de La Paz, donde, desde 1996, está instalado un espectrofotómetro Brewer que de manera continua mide la columna de ozono sobre esa ciudad. Ese Brewer No. 110 es parte de una red de monitoreo de ozono y UVB en América del Sur, liderada por el INPE, Brasil (**Tabla 1**).

En el marco de un comportamiento estable de la capa de ozono sobre La Paz (*Fig. 1*), el análisis muestra una disminución importante (15 DU entre océano y altiplano, equivalente a un 6% de disminución). Además, resulta que el mínimo anual de ozono no se da en correspondencia a las cadenas de montañas sino al Altiplano intermedio (*Fig. 3*).

Es interesante observar que los valores medios anuales del TOMS sobre La Paz (252 DU) son similares a los valores medidos por el Brewer 110. Una comparación mes por mes de los dos instrumentos muestra una tendencia similar y una diferencia que nunca supera el 3% (*Fig. 2*) a partir de una recalibración del instrumento de superficie. Por tanto no tenemos por qué dudar de la validez de los datos proporcionados por el TOMS a otras longitudes.

Para poner en evidencia la disminución sobre el Altiplano más que sobre las montañas se analizó los datos del TOMS, con el mismo criterio longitudinal, a otras dos latitudes, 17.5°S y 32.5° S, en correspondencia, respectivamente, al máximo ancho del Altiplano (400 km) y a la presencia de una sola cadena de montañas de picos muy elevados.

El resultado es sorprendente: la disminución de la columna de ozono entre océano y altiplano es aún más marcada a 17.5° S que a 16.5° S, llegando a 19 DU, o un 7% de disminución (*Fig. 4*). Por otro lado la anomalía se pierde casi totalmente a 32.5° S donde la disminución llega a 10 DU, o sea apenas un 4% entre océano y el punto de menor ozono (*Fig. 5*). Esa última disminución se explica fácilmente por la reducción de la atmósfera sobre los picos de entre 6 y 7 km de los Andes a esa latitud.

En conclusión, el análisis de datos pone en evidencia una disminución significativa de la columna de ozono en la región entre las dos cadenas de los Andes, situada a unos 3800 m snm.

Sucesivamente se convirtió a imágenes los datos elaborados, produciéndose mapas como el de la *Fig. 6* que muestran estructuras similares, por forma no por origen físico, a las del agujero de ozono en la antártica, razón por la cual el fenómeno recibió, en algún momento, el nombre inapropiado de "miniagujero". De hecho la anomalía sobre los Andes debe tener un origen diferente de la anomalía antártica debido a que se trata de un fenómeno permanente, y no estacional, con variaciones de mes a mes, como se pone en evidencia con imágenes similares a la de la *Fig. 6* para otros meses y años. Consecuentemente se trata, con toda certeza, de un fenómeno no atribuible a causas humanas sino a la peculiar orografía de la región.

## Posibles explicaciones de la anomalía

En la *ref. 2* se analizan posibles explicaciones del fenómeno como ser la reducción del ozono troposférico debido a la altura, efectos de albedo, efecto de la quema de bosques amazónicos y dinámica atmosférica.

El primer efecto, que parece el más natural, si bien tiene su importancia no puede explicar totalmente el fenómeno debido a que, según los perfiles de la columna de ozono obtenidos por ozonosondeo, todo el ozono troposférico llega a un 10% del ozono total, de manera que, si la altura fuese la explicación, casi no debería haber ozono troposférico sobre el Altiplano. Al contrario una reducción de 4 km de atmósfera implica una disminución de hasta 8 DU y nunca los 19 que se miden.

De hecho una campaña de ozonosondeo, llevada a cabo en 1998 en La Paz en cooperación con el INPE (ref. 3) muestra (*Fig. 7*) un perfil de ozono totalmente normal por lo que respecta al ozono troposférico. Consecuentemente, la disminución observada de ozono se localiza en la estratosfera, conclusión a la cual se llega inclusive analizando datos de ozonosondeo de los años '60 obtenidos en el mismo sitio (ref. 6).

Los siguientes efectos que podrían explicar la anomalía, albedo y aerosoles, tienen una importancia despreciable o contraproducente, como se ha mostrado en la ref. 2.

En consecuencia, queda la explicación dinámica del fenómeno, asociada sin duda a la orientación Norte-Sur de la cadena de los Andes y, posiblemente, a la presencia de la doble cordillera con un altiplano en el medio. Como justificación de las anteriores afirmaciones se puede observar que, según algunos trabajos (ver ref. 2), no existe un fenómeno de la misma intensidad en otro macizos montañosos, como ser el Himalaya, donde la orientación de la cadena es preferentemente Este-Oeste. Asimismo, la ausencia de la reducción del ozono en correspondencia a la reunificación de las dos cordilleras andinas (caso de 32.5°S) justifica la segunda hipótesis. Al respecto se ha intentado algún modelo de ondas de gravedad (ref. 4) que requiere mayores profundizaciones.

En todo caso, la puesta en evidencia de la anomalía de la columna de ozono sobre las tierras altas andinas, no justifica de ninguna manera la campaña sensacionalista que realizó la prensa nacional e internacional (ref. 5). Queda, sin embargo, la necesidad de investigar más, para aclarar los aspectos aún no comprendidos del fenómeno.

## CONCLUSIONES

En conclusión podemos afirmar que sí existe una anomalía de la columna de ozono en las tierras altas andinas, que esa anomalía es permanente y no está relacionada con causas antrópicas, que la reducción del ozono se localiza en la estratosfera debido a fenómenos de dinámica atmosférica aún no comprendidos y que juega un papel protagónico en este efecto la disposición geográfica de la doble cadena de montañas de la Cordillera de los Andes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. WMO, Report No. 37, Organización Mundial de Meteorología, 1994
2. Zaratti F. et. al., *Il Nuovo Cimento* Vol. 22 C, N. 2, 1999 y referencias citadas en este paper.
3. Zaratti F. et. al., *Revista Boliviana de Física*, No. 5, 1999
4. Cabrera R., Preprint IIF, 1999
5. La Razón, jueves 7 de octubre de 1999, portada y pag. A10; sábado 9 de octubre de 1999 pag. A9; Presencia miércoles 13 de octubre de 1999 pag. A5; etc.
6. Schulszewsky R. et. al., Resumen de labores No. 26, Laboratorio de Chacaltaya, 1964

## Agradecimientos

De agradece la colaboración de todo el personal científico y técnico del Laboratorio de Física de la Atmósfera. Asimismo se agradece la cooperación científica recibida de INPE, Brasil.

## DETALLE DE TABLAS Y FIGURAS:

Tabla 1	Red de monitoreo de ozono y RUV del INPE, Brasil
Fig. 1	Comportamiento de la columna de ozono durante 14 años para el mes de noviembre
Fig. 2	Comparación entre el espectrofotómetro Brewer 110 y el TOMS
Fig. 3	Perfil longitudinal de la columna de ozono a 16.5° S
Fig. 4	Perfil longitudinal de la columna de ozono a 17.5° S
Fig. 5	Perfil longitudinal de la columna de ozono a 32.5° S
Fig. 6	Imagen, en falso color, de la anomalía de ozono sobre el Altiplano
Fig. 7	Comparación de los perfiles de la columna de ozono sobre La Paz y Natal.

**TABLA 1: ESTACIONES QUE COMPONEN LA RED INPE  
PARA MEDIDAS DE OZONO Y RADIACION UV-B**

Localidad	Latitud (S)	Longitud (W)	Brewer	Biómetro	otros
Natal	5.84°	35.21°	1994	1994	GUV - 1996
Cuiabá	15.30°	56.10°	1991		
La Paz	16.54°	68.08°	1996	1995	YES - 1999
Campo Grande	19.25°	54.34°		1995	
Riberao Prieto	21.17°	47.70°		1994	
Cachoeira Paulista	21.10°	45.00°	1997	1994	GUV - 1996
Blumenau	26.02°	49.05°		1995	
Santa María	29.26°	53.48°	1996		
Porto Alegre	30.47°	50.36°		1997	
Punta Arenas	53.20°	70.90°	1992	1994	
Estación Cdte. Ferraz	62.05°	58.24°		1998	GUV - 1996

Fig 1

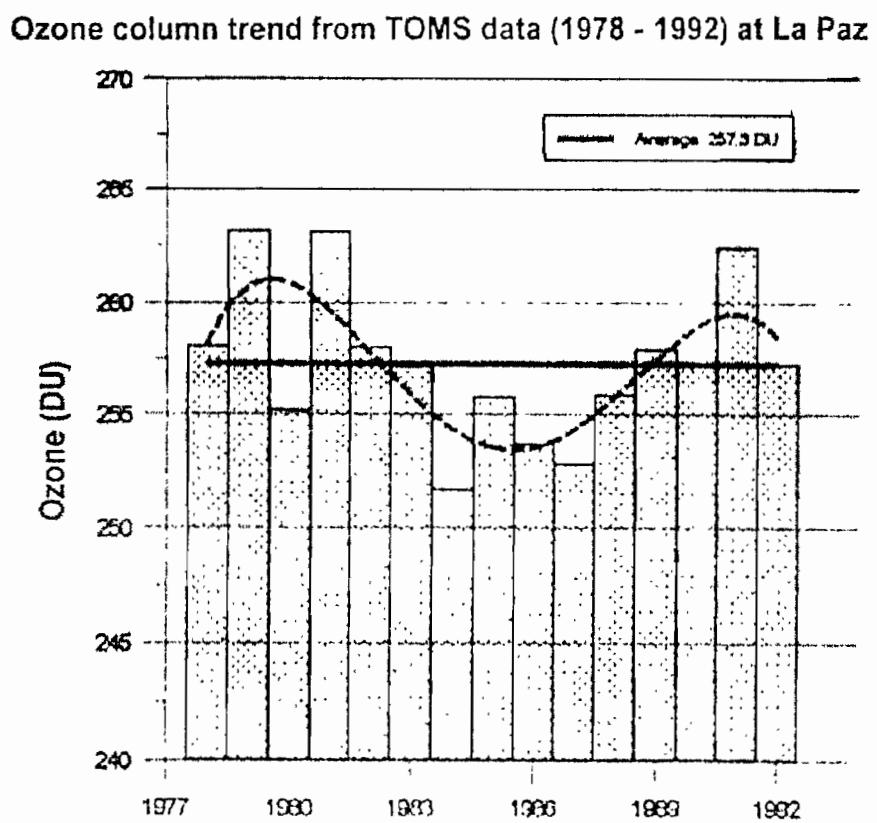


Fig 2

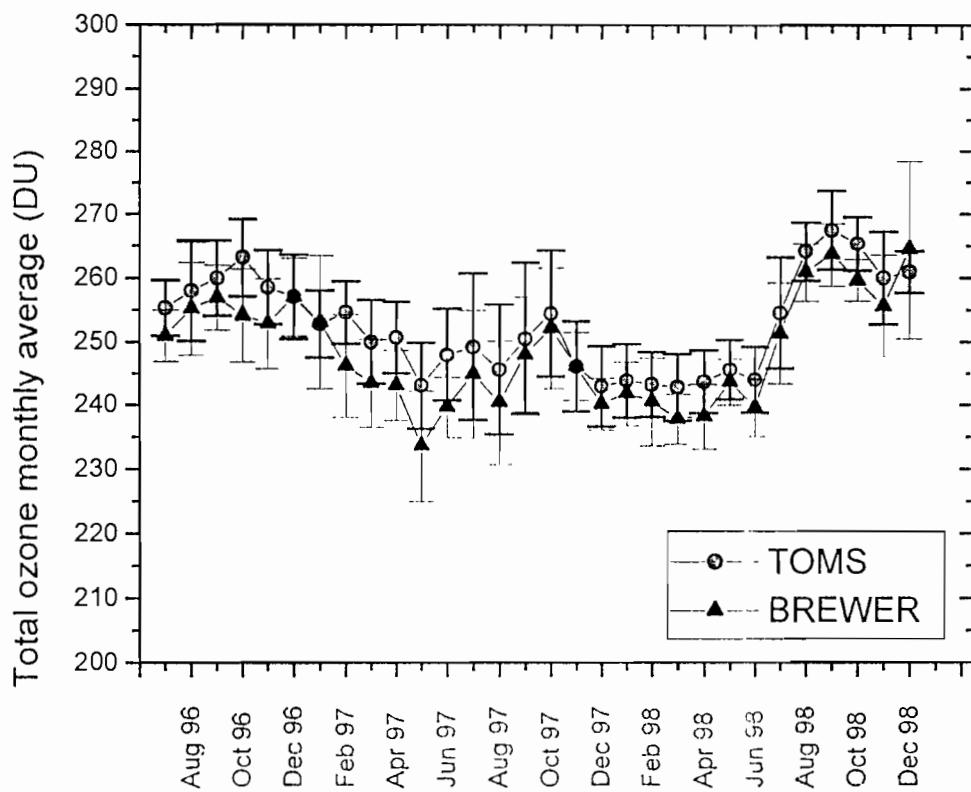


Fig 3

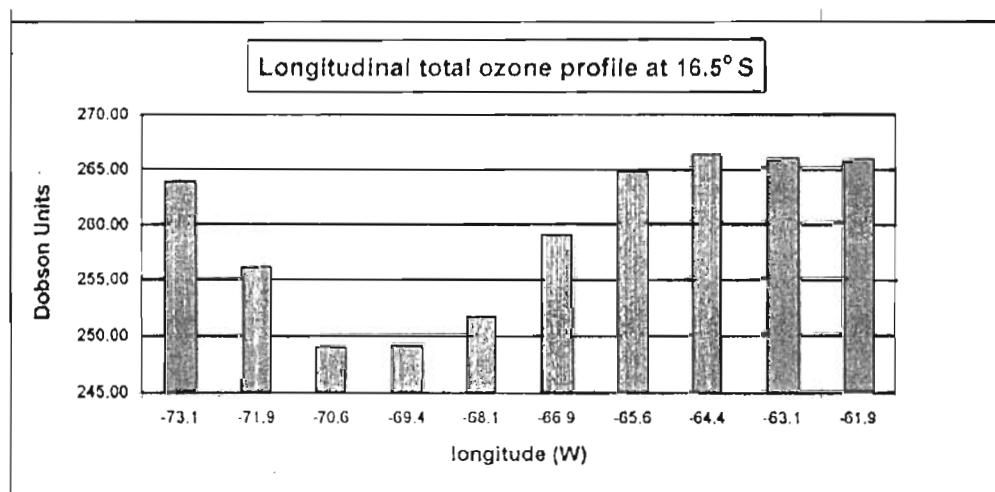


Fig 4

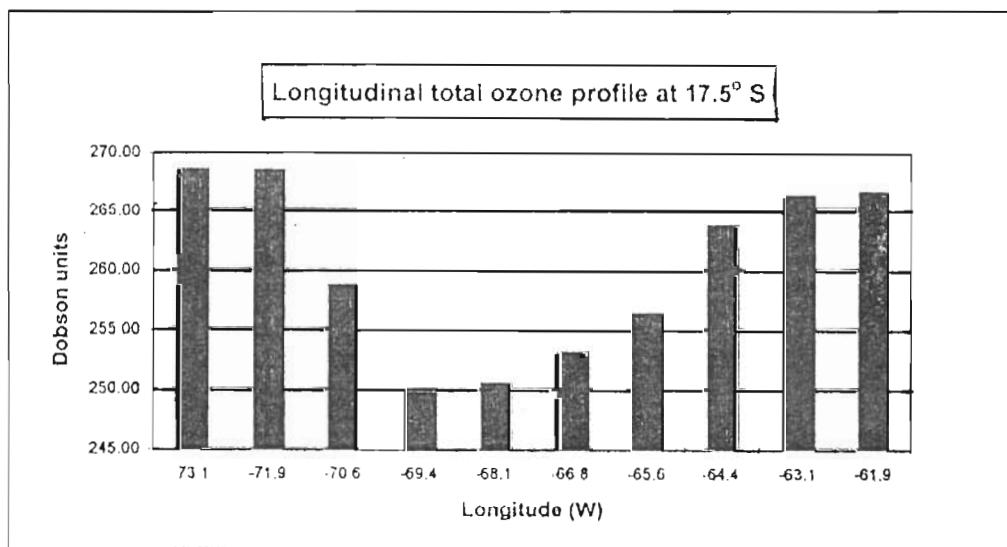


Fig 5

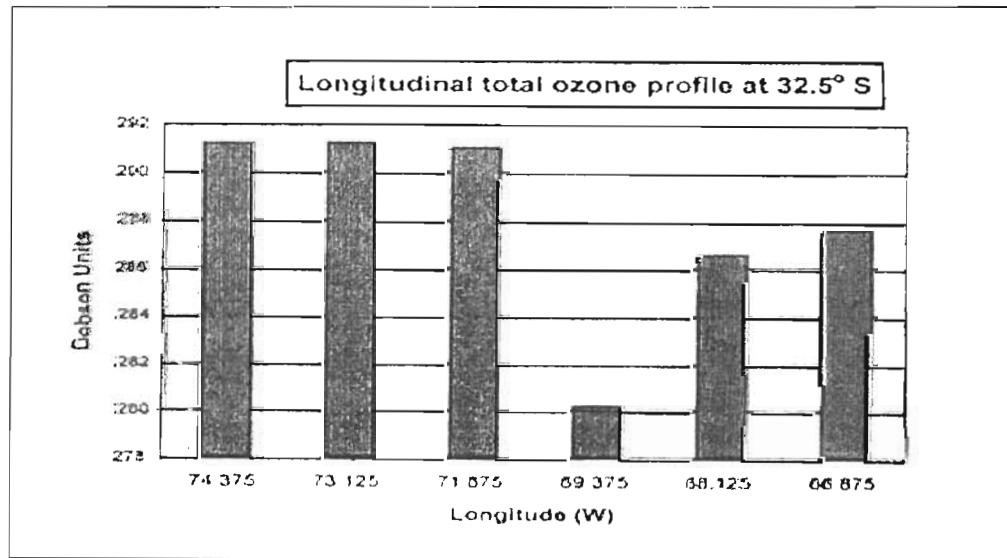


Figura 6

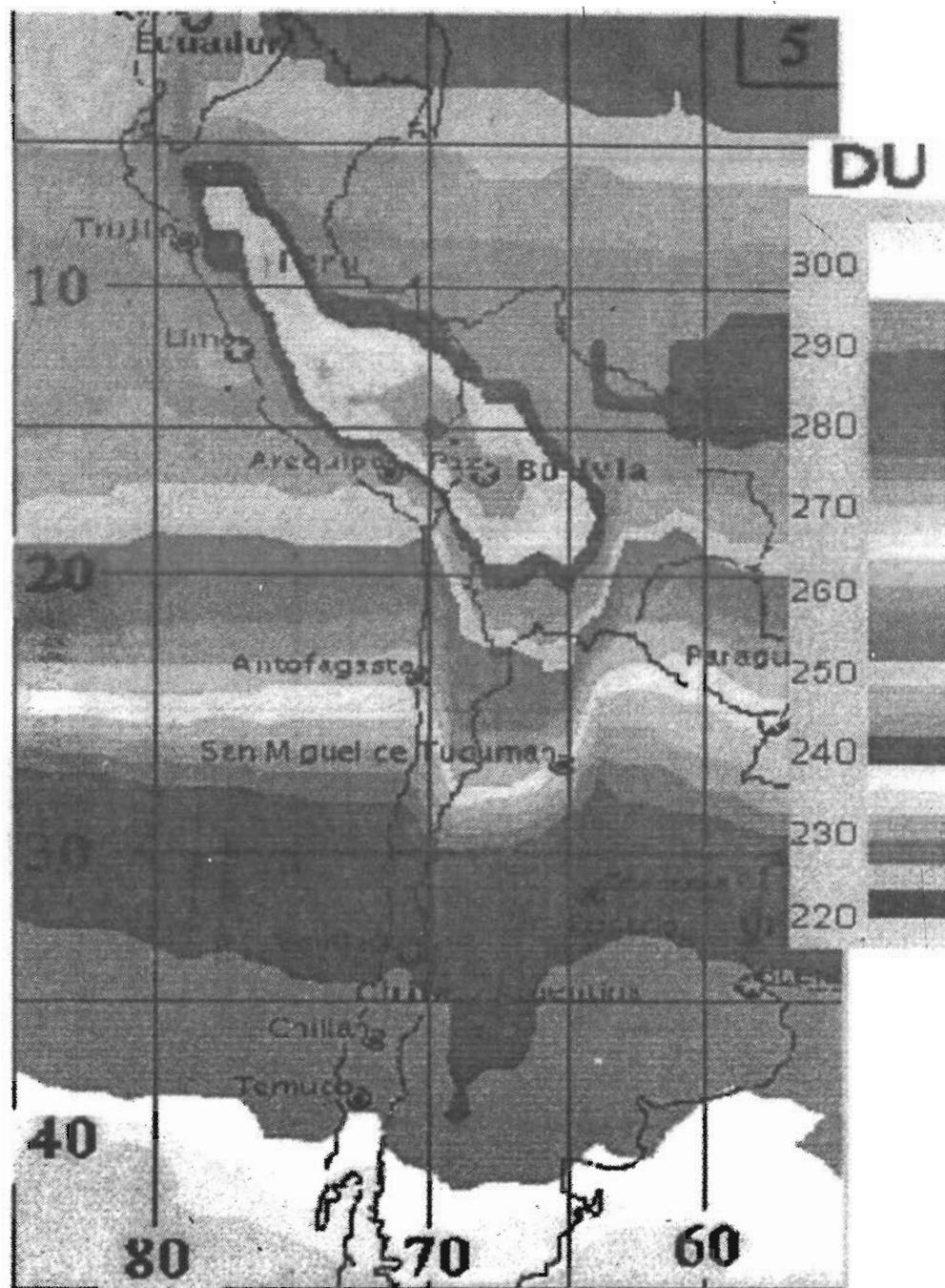
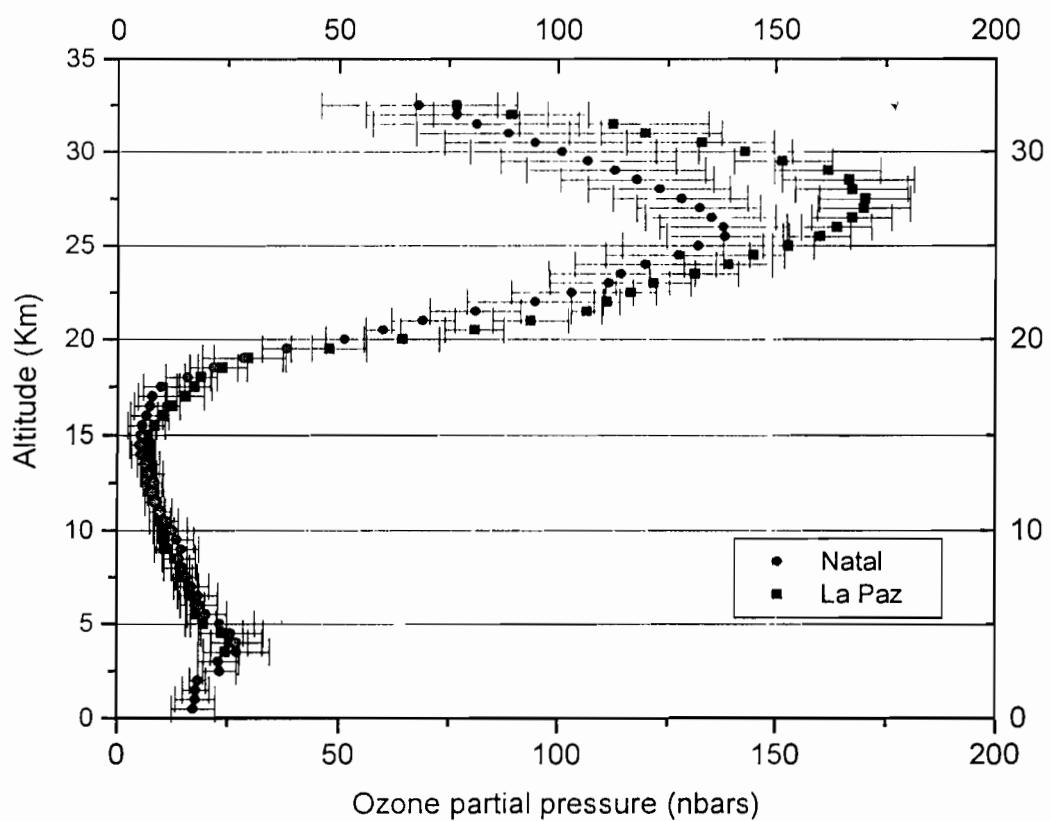


Imagen en falso color "mini agujero de ozono" sobre el Altiplano para mayo de 1992. Datos TOMS - NASA.  
Elaboración Renán Cabrera.  
False - color picture of the "mini ozone hole" over the Altiplano on May 1992. Data from TOMS NASA.  
Credit: Renán Cabrera

Fig 7



## LINEA BASE DE CO<sub>2</sub> EN COBIJA Y LAS QUEMAS EN BOLIVIA

René L. Gutiérrez C.

Laboratorio de Física de la Atmósfera, Instituto de Investigaciones Físicas – U.M.S.A.

### RESUMEN

Se presentan los resultados de mediciones de CO<sub>2</sub> atmosférico realizadas durante 1999 en Cobija. Tales mediciones permitieron establecer la línea base de la concentración de CO<sub>2</sub> en época sin quemadas y cuantificar el incremento de CO<sub>2</sub> debido a los chaqueos.

Por otra parte se calculó la superficie quemada en Bolivia durante 1998, para ello se han empleado imágenes de satélite de fuegos. El conocimiento de la superficie quemada permitió calcular las toneladas de CO<sub>2</sub> que han sido liberadas a la atmósfera durante ese año.

### INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la importancia del dióxido de carbono en lo que se ha denominado efecto invernadero. Su influencia en el clima pasado, presente y futuro son de vital importancia. Las proyecciones de lo que puedan ser los cambios climáticos son una cuestión de mucho interés, no sólo científico, sino también social y económico. Tales proyecciones se realizan a través de los modelos atmosféricos que intentan predecir el futuro clima terrestre frente a un incremento casi inevitable de los niveles de dióxido de carbono; estos modelos serán mejores mientras mayor información real les sean suministrados, aquí la importancia del trabajo realizado.

Los intentos de frenar el aumento de dióxido de carbono han llevado a buscar culpables de las emisiones, entre ellos está la deforestación y quema de biomasa; no obstante las cifras que se han manejado tan sólo han sido calculadas, mostrando significativas discrepancias entre los investigadores. Tenemos ahora resultados de mediciones que muestran los incrementos y tendencias del dióxido de carbono durante la época seca en la que se practica el chaqueo.

### MUESTREO DE DIÓXIDO DE CARBONO EN COBIJA

Por iniciativa del Laboratorio de Física de la Atmósfera de la U.M.S.A. se instaló en la ciudad de Cobija una estación de monitoreo de dióxido de carbono, la misma midió las concentraciones de dióxido de carbono por medio de un analizador NDIR.

Entre los resultados más importantes están:

El muestreo de 24 horas completas reveló la existencia de un ciclo diario, generado por la actividad fotosintética de la abundante vegetación. En este ciclo se aprecia un incremento del dióxido de carbono al anochecer y una disminución, desde el amanecer, que alcanza su mínimo estable en la tarde a partir de las 14 horas. Ver Figura 1.

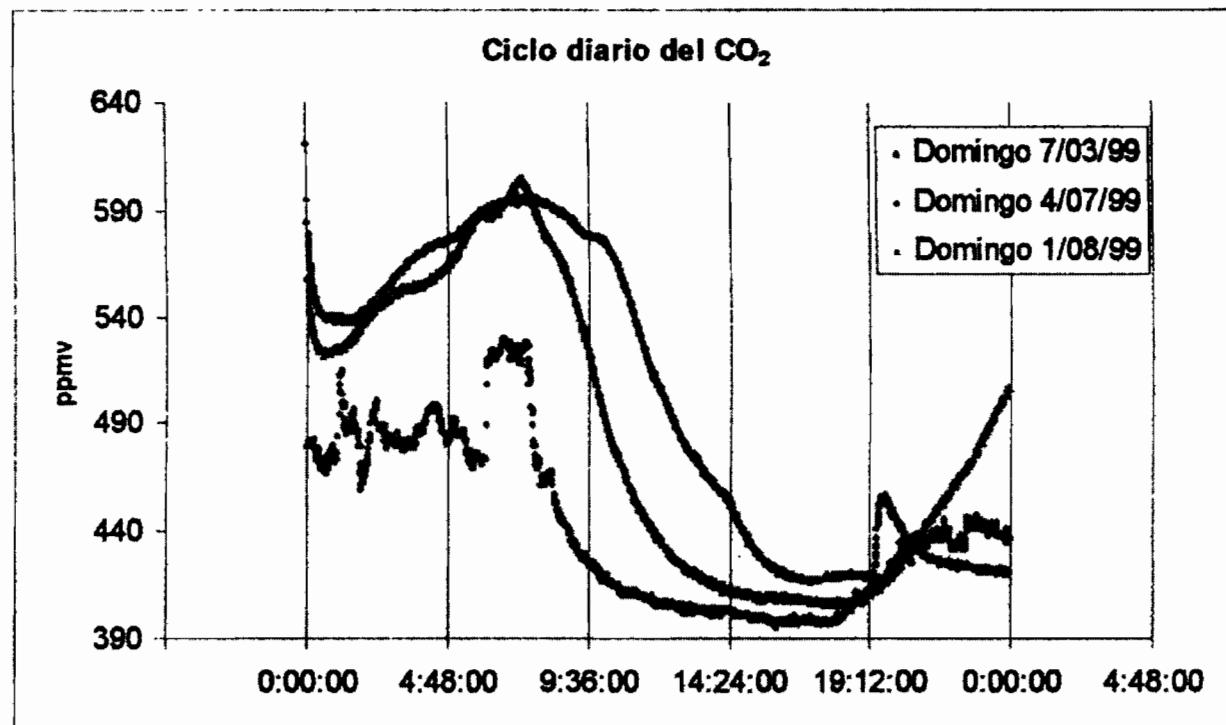


Figura 1  
Concentraciones de CO<sub>2</sub> en Cobija medidas cada 30 s.

De las mediciones diarias se puede ver el comportamiento a lo largo del año (Figura 2).

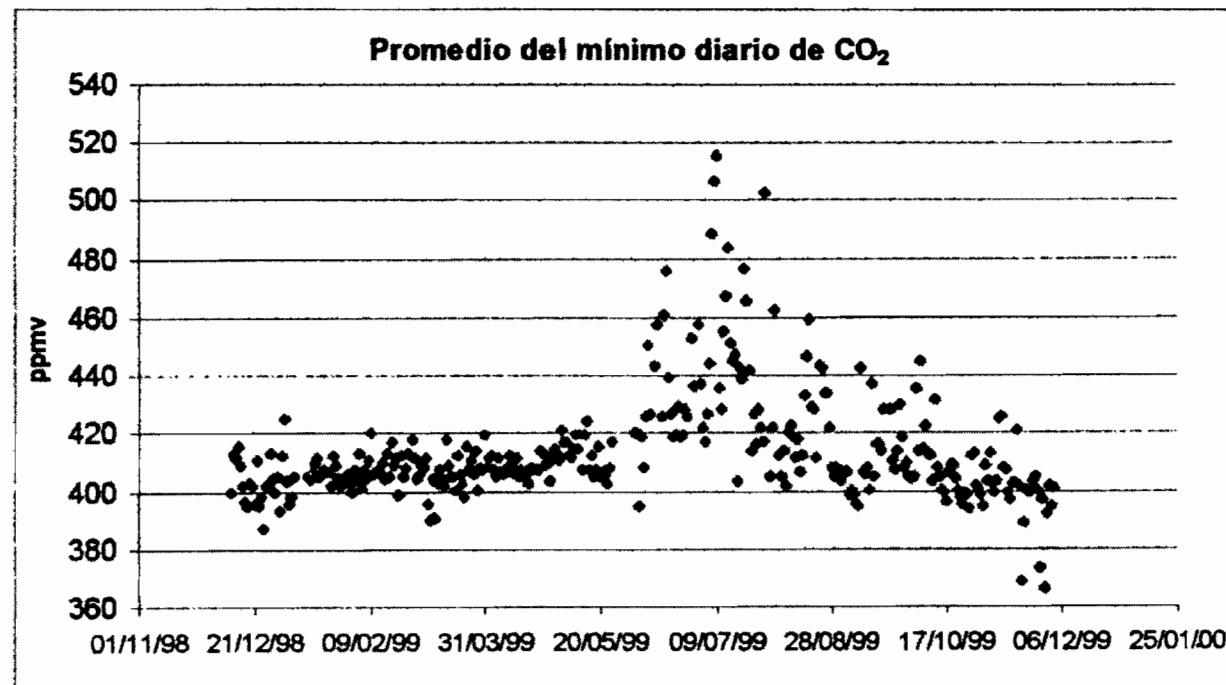


Figura 2  
Concentración promedio diaria en Cobija

Para mejor apreciación de la tendencia podemos considerar los promedios mensuales (Figura3).

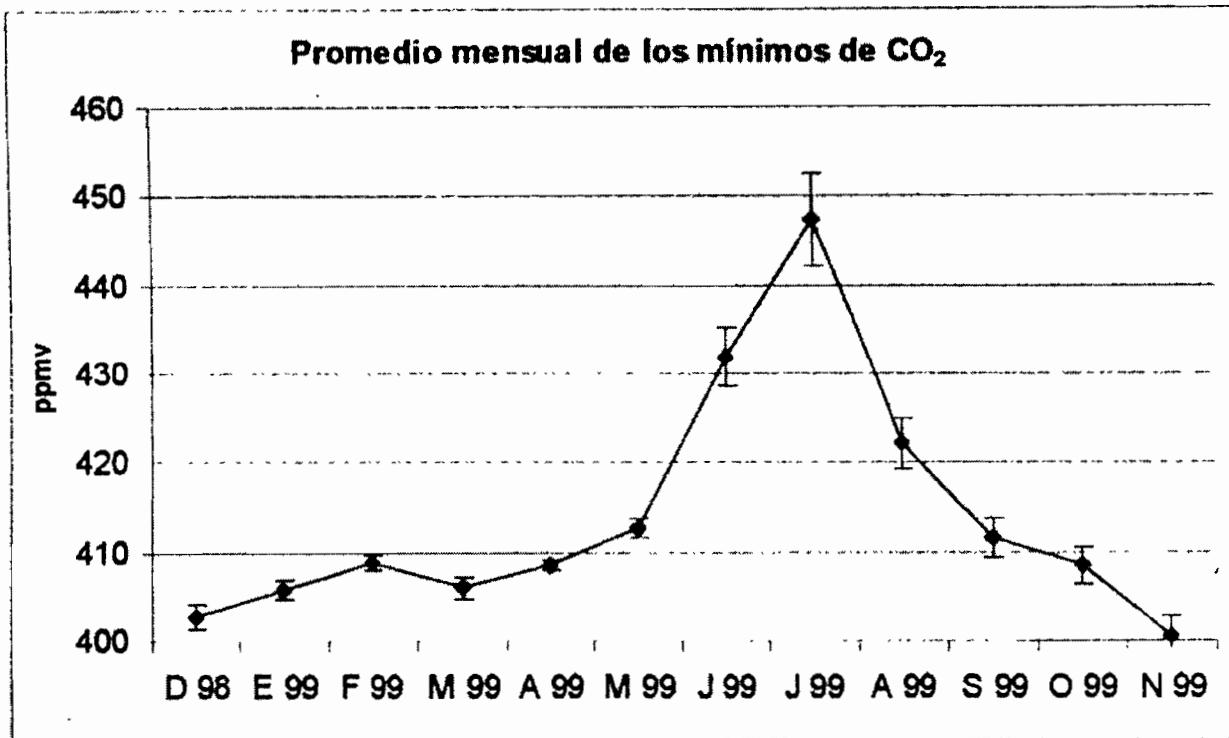


Figura 3  
Concentración promedio mensual en Cobija

Según la Figura 3, los meses de mayor emisión de dióxido de carbono por quema son: junio, julio y agosto; meses sin emisiones por quema: diciembre, enero, febrero, marzo, abril, octubre y noviembre; y meses de transición: mayo y septiembre.

De los valores de la Figura 3 podemos establecer la línea base dióxido de carbono, dado por el promedio de los meses sin quema, éste resulta ser:  $406 \pm 1$  ppmv.

En los meses de quema la concentración promedio es de  $434 \pm 7$  ppmv. Esto significa un incremento de  $28 \pm 8$  ppmv de dióxido de carbono por las quemas de 1999. Esta emisión es difundida a toda la atmósfera y también es hecha parte del ciclo de carbono al ser disuelta en agua o utilizada en fotosíntesis, resultando un incremento total de concentración que ha sido imperceptible en el año de análisis que hizo; en diciembre de 1998 teníamos  $403 \pm 1$  ppmv y en noviembre de 1999, pasadas las quemas,  $400 \pm 2$  ppmv.

## SUPERFICIE QUEMADA EN BOLIVIA

Las regiones de Bolivia en que se produjeron fuegos, durante los meses de julio a noviembre de 1998, fueron detectadas con el empleo de imágenes de satélite de la NOAA (<ftp://ngdc.noaa.gov>), que desde 1998 comenzó a procesar y archivar imágenes satelitales colectadas por AVHRR, en áreas donde significativa actividad de fuego estaba ocurriendo, incluyendo Norte América, Sud América, Sudeste de Asia y Rusia.

Para el año 1998 se utilizaron imágenes diarias desde julio a noviembre. Para las mismas, se realizó una evaluación del total de superficie quemada que se ve en cada imagen, esto significa que no estamos hablando sólo de territorio boliviano sino de toda la superficie mostrada en la

imagen satelital. En dichas imágenes cada pixel representa una superficie de 1km<sup>2</sup> sobre la Tierra. Los resultados se observan en la Figura 4.

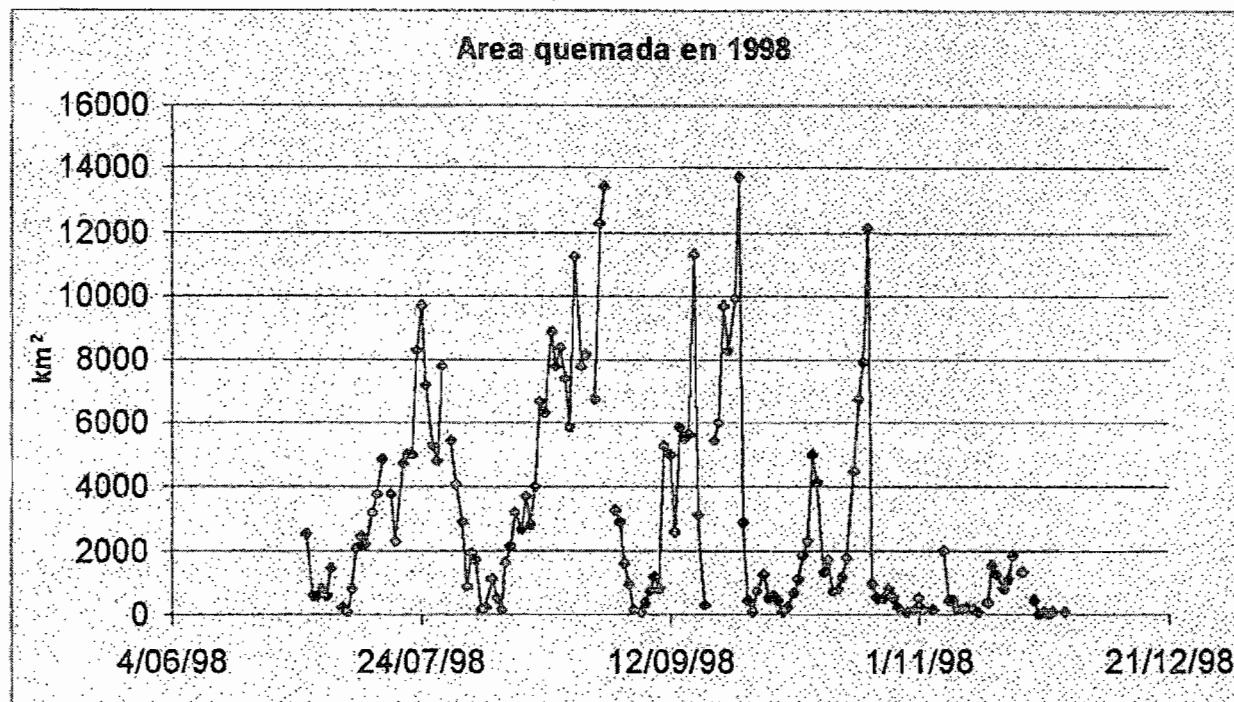


Figura 4

La Figura 4 nos muestra un patrón con una tendencia a ascensos y descensos de la superficie quemada. Debemos tener en cuenta que los fuegos pueden permanecer más de un día, por lo cual hacer la suma total de las áreas diarias no es del todo correcto.

Parece más apropiado pensar que el fuego empieza en un foco pequeño y va propagándose hasta alcanzar un máximo y luego disminuye, lo mismo se reproduce pero en otras zonas. La suma de las máximas superficies quemadas nos da 48909 km<sup>2</sup> (4.9 millones de ha).

Se sabe que la quema de 1 ha de bosque amazónico genera entre 147 y 199 (173 en promedio) toneladas de CO<sub>2</sub> (Klinge y Rodríguez, 1974; Fearnside et al., 1990); en consecuencia en 1998 se habrían liberado en promedio, 848 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, sólo por las quemas de Bolivia y alrededores (unos 2.6 millones de km<sup>2</sup>).

Si suponemos que en el resto de la Amazonía (39.5 millones de km<sup>2</sup>, Kirchhoff, 1992) se quemó con magnitud similar, tendríamos que el total liberado en 1998 en la Amazonía fue, en promedio, 12.9 GT de CO<sub>2</sub>. Por supuesto este es un límite máximo, ya que no toda la Amazonía es quemada.

Los 12.9 GT de CO<sub>2</sub> son 3.5 GT de C en forma de CO<sub>2</sub>. Para 1988, Kirchhoff estimó que máximo eran 0.6 GTC/año, Crutzen et al (1985) 2 a 2.3 GTC/año. Houghton et al (1985) 2 a 2.8 GTC/año.

El Programa Nacional de Cambios Climáticos del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación de Bolivia, en su Plan Nacional de Acción sobre el Cambio Climático, ha estimado (con el modelo COPATH3) las emisiones de CO<sub>2</sub>, por cambio del uso de la tierra en Bolivia en 1998, en 0.046 GTCO<sub>2</sub>.

Encontramos de las imágenes de satélite que 848 MTCO<sub>2</sub> fueron liberadas de 2.6 millones de km<sup>2</sup> eso significa que a Bolivia le correspondería una emisión de 0.36 GTCO<sub>2</sub>. Existe una discrepancia de un orden de magnitud entre medición y modelo, aquí las mejoras que se pueden hacer a los modelos gracias a la existencia de un dato medido.

## REFERENCIAS

- (1) Volker W.J.H. Kirchhoff.: Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa, Contexto, Brasil, 1992.
- (2) Plan Nacional de Acción sobre el Cambio Climático. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. La Paz 1999.
- (3) Wuebbles, D.J. Global Atmospheric Chemical Changes. Environmental Management Series. Elsevier Science Publishers Ltd. 1993.

# CAMBIO CLIMATICO EN BOLIVIA: VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS

## CHANGE CLIMATIC IN BOLIVIA:VULNERABILITY OF THE ECOSYSTEMS

Guillermina Miranda <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ecología, CAE-UMSA, E-mail: [cicg@yupimail.com](mailto:cicg@yupimail.com), casilla 11152, La Paz, Bolivia

### Resumen

En el desarrollo del presente estudio se ha considerado la Vulnerabilidad de los ecosistemas que se encuentran en Bolivia, debido a la emisión de los gases de efecto invernadero-GEI. Siguiendo las directrices del IPPC, Bolivia se encuentra dentro de los países emisores de GEI, según los resultados del inventario de 1994, para el sector forestal, se tiene una emisión de CO<sub>2</sub>:10 588.02 Giga gramos.

Con la aplicación del programa de Holdridge se llego a identificar 16 zonas de vida y con los resultados del programa MAGICC y SCENGEN, basado en las proyecciones político-económicas IS92 a, c y e se establecio que todos los ecosistemas de alguna forma cambian o se desplazan, mostrando de esta forma su sensibilidad ante un probable cambio climático.

Las alteraciones que se presentan en los ecosistemas se basa en el incremento de temperatura en los meses de abril y mayo y una variación de la precipitación (decremento en noviembre e incremento en junio).

Los resultados de esta investigación sólo son producto de los modelos de simulación y se estima lo que podría pasar si las políticas del IPCC no cumplen los países.

**Palabras Clave:** Cambio climático, ecosistemas de Bolivia.

### Abstract

For the present study the Bolivian ecosystems has been considered, due to the efects of green house gas GEI emisions. Following the guidelines of the IPPC, Bolivia is inside the group of GEI emitter countris, according to the 1994 inventory. For the forest sector, an emission of CO<sub>2</sub>: 10 588.02 Gigagrams.

The application of the Holdridge program identifies 16 life zone areas. The results of the program MAGICC and SCENGEN, based on the politic and economic projections IS92 to a, c and e. However all the ecosystems are considered to change or move, showing their sensibility in the face of a probable climatic change.

All alterations presented in the ecosystems are based on the temperature increase temperature during April and May and a variation the precipitation (decrease in November and increase in June).

This results are only produced by the simulation models and indicate what could happen if the proposed political trend of the IPCC are not implemented.

**Key words:** Change climatic, ecosystems of Bolivia

## INTRODUCCION

La composición y el comportamiento de la atmósfera están cambiando constantemente. La concentración atmosférica de gases del efecto invernadero –GEI, como vapor de agua ( $H_2O$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el ozono ( $O_3$ ), los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y el metano ( $CH_4$ ), se han elevado significativamente durante el último siglo, la mayor parte debido a las actividades humanas.

Pero para comprender las consecuencias de los cambios climáticos en la actualidad, es necesario analizar los registros de los climas del pasado. En este sentido los testigos de hielo son una buena referencia. Broeker (1987), analizo muestras provenientes de Groenlandia, llegando a obtener los siguientes resultados:

- período interglacial, el nivel de  $CO_2$  fue de 260 –280 ppm
- período glacial, el nivel de  $CO_2$  fue de 190-200 ppm
- periodo de máximo glacial, el nivel de metano fue de 0.35 ppm
- en los últimos 10.000 años, el nivel de metano fue de 0.65 ppm.
- Hoy, el nivel de  $CO_2$  es de 0.03 % y el nivel del metano es de 1.7 ppm

Y explica que la temperatura entre la última glaciación y el presente período interglacial fue debido al calor atrapado en los gases de invernadero y a los cambios de la radiación solar reflejada al formarse los hielos.

Broeker (1987), menciona, también que el testigo de hielo indica que el clima de la tierra no responde a cambios climáticos suaves y graduales, responde con cambios bruscos que suponen una reorganización a gran escala del sistema planetario y al parecer las variaciones parecen haber ocurrido en menos de un siglo

El informe del IPCC- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, cree que el calentamiento global es un hecho seguro en las décadas venideras, si la humanidad continúa emitiendo gases de invernadero a la atmósfera (dióxido de carbono, metano, Clorofluocarbonados – CFCs y óxido nitroso) producto de prácticas energéticas, industriales y agrícolas. La emisión a la atmósfera de cantidades excesivas de GEI's es el principio básico de la alteración negativa del Efecto Invernadero, lo que trastorna drásticamente el tipo y el equilibrio global del clima mundial.

Según las predicciones de los científicos del IPCC, el incremento de temperaturas medias es de  $0.3^{\circ}C$  cada década, fluctuando entre  $0.2$  a  $0.5^{\circ}C$ , lo que llevaría a un fuerte estrés a los distintos ecosistemas del planeta, pero que probablemente la velocidad de calentamiento sea incluso más rápido que las velocidades predichos por los modelos climáticos.

La Comisión del parlamento Alemán (1992), indica que los efectos del cambio climático podrían ser los siguientes:

- cambio de las zonas climáticas
- degradación y muerte de los bosques debido a factores climáticos
- los recursos hídricos serán afectados
- para gran parte de la población mundial, el suministro de comida empeorará.

Los modelos de simulación, con los que se trabaja en este estudio, determinar el grado de vulnerabilidad de los ecosistemas identificados en Bolivia frente al Cambio Climático, estos modelos provienen de las políticas del IPPC y se denominan IS92a, IS92c e IS92e; las cuales se detallan en el cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1: SUMARIO DE SUPUESTOS UTILIZADOS POR EL IPCC(1992) CON LOS ESCENARIOS IS92**

Escenario	Población	Crecimiento económico	Suministros de energía	Otras medidas
IS92a	Según el Banco Mundial (1991): 11.3 mil millones al 2100	1990-2025: 2.9% 1990-2100: 2.3%	-12 000 EJ de aceite convencional. -13 000 EJ de gas natural. -0.075 \$ kWh. -191 EJ/año de biocombustibles valuados en 70\$/barril	-Las emisiones de SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y NMVOC estarían legalmente sancionadas y acordadas -Esfuerzos por reducir las emisiones de SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y CO en países desarrollados para el 2050.
IS92c	Según Naciones Unidas: 6.4 mil millones al 2100 (caso bajo)	1990-2025: 2.0% 1990-2100: 2.0%	-8 000 EJ de aceite convencional. -7 300 EJ de gas natural. Costos de la energía nuclear bajarían en un 0.4% anual	Idem a IS92a
IS92e	Banco Mundial: 11.3 mil millones al 2100	1990-2025: 3.5% 1990-2100: 3.0%	-18 400 EJ de aceite convencional. -13 000 EJ de gas natural. -Fase de abandono de la energía nuclear a partir del 2075.	-Control de las emisiones a través del alza en un 30% del precio de la energía fósil.

Fuente: Miranda y Lorini (1999)

Para conocer en que medida los ecosistemas son vulnerables al Cambio Climático, se han considerado los siguientes Objetivos:

- Diagnóstico de la situación en que se encuentra Bolivia respecto al Cambio Climático observado desde la perspectiva de la dinámica forestal.
- Definición de los ecosistemas aplicando el Programa computarizado de Holdridge2
- Evaluación de las áreas propuestas por el IPPC, en función a las variaciones de temperatura y precipitación.
- Vulnerabilidad de los ecosistemas considerados como consecuencia de las emisiones de los GEI.

## MÉTODOS

En el acápite se describe la metodología empleada en el presente trabajo.

- Análisis de la situación boliviana en base a informes técnicos
- Aplicación del programa de Holdridge2 con datos de temperatura, precipitación, latitud, longitud y altitud.
- Recopilación de información meteorológica respecto a temperatura y precipitación de: Programa Nacional de Cambio climático-PNCC, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, Administración Autónoma de Servicios de Aéreo Navegación-AASANA e IIASA.
- Análisis de la información meteorológica.
- Empleo de resultados generados a través de MAGICC y SCENGEN, basados en los modelos de circulación general.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

- Siguiendo las directrices del IPPC, Bolivia se encuentra dentro de los países emisores de GEI, según los resultados del inventario de 1994, para el sector forestal, las cuales se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro N° 2: GASES EMITIDOS EN BOLIVIA, INVENTARIO 1994,  
SEGÚN DIRECTRICES IPCC.**

Gases emitidos	Giga gramos
CO <sub>2</sub>	10588.02
CO	76.72
CH <sub>4</sub>	15.34
N <sub>2</sub> O	0.09
Nox	1.55

Fuente: Lorini, 1999

Las medidas de mitigación que se tiene en Bolivia, para reducir los GEI, están previstas en la Ley Forestal, Ley INRA y en otras normas jurídicas.

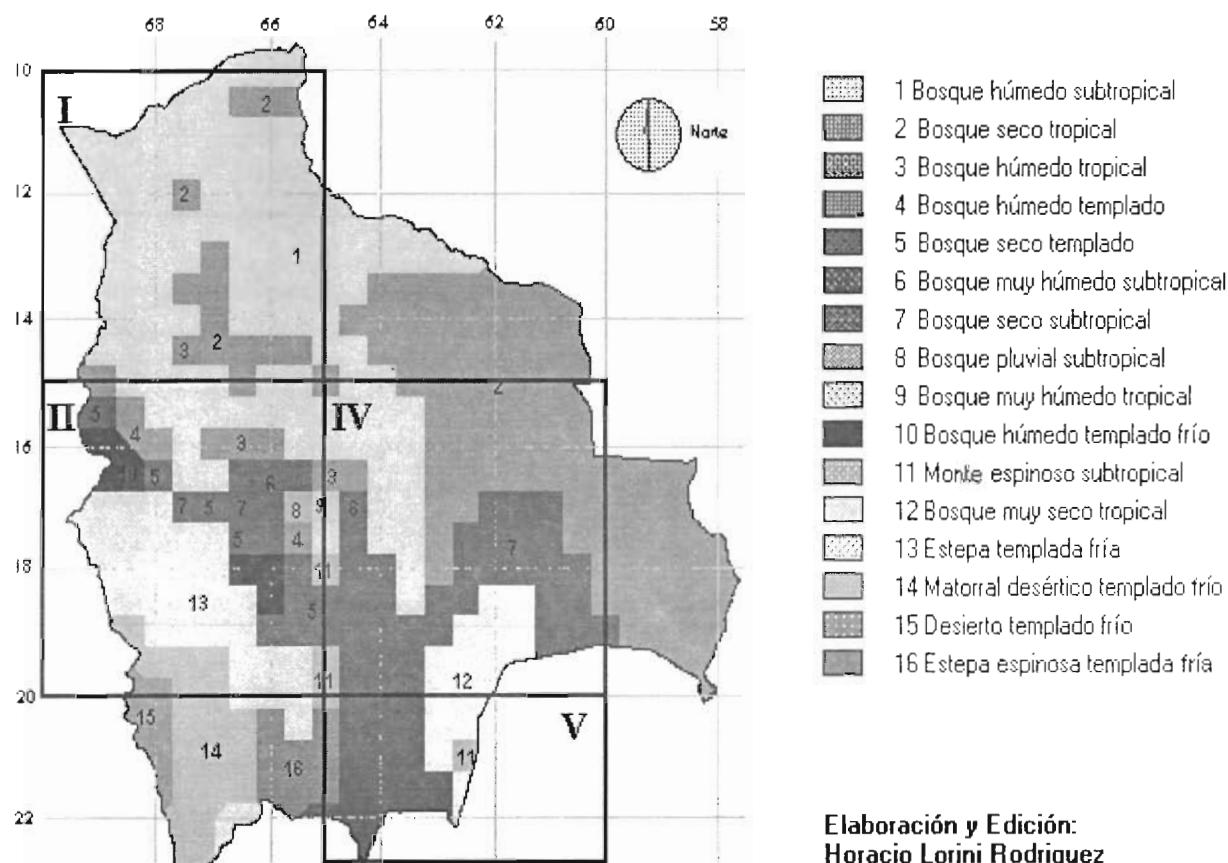
Como medidas inmediatas y prioritarias para reducir la emisiones de los GEI, se propone:

- Reducción de la presión social sobre los bosques, mediante un eficaz ordenamiento territorial
- Desarrollo socioeconómico de toda la población, en especial de los que se encuentran cerca de los bosques naturales
- Incentivar el desarrollo de tecnologías que permitan reducir el consumo de leña
- Fortalecimiento del plan de Acción Forestal
- Mejorar la capacidad de gestión de los parques y reservas naturales
- Incentivar la investigación para el conocimiento de especies y genotipos que puedan tolerar y adaptarse al cambio climático
- Socializar las leyes que existen en Bolivia en lo que se refiere al medio ambiente, a fin de que la población conozca la normativa que existe y de esta manera pueda cumplirlas.
- La base para aplicación del programa de HOLDRIDGE2 consistió en la optimización de la información de los mapas de isoyetas e isotermas (información anual) y de la información de AASANA (mensual). La optimización consistió en artificios metodológicos de SIG y modelos

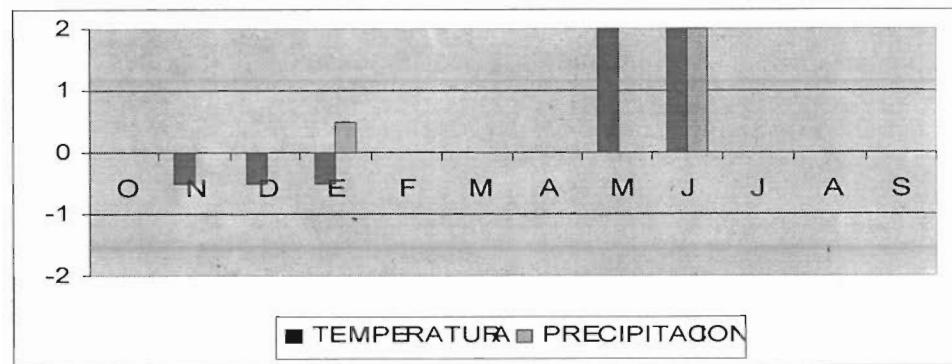
estadísticos, lo que permitió generar 371 puntos que representan a la información mensual de precipitación y temperatura. Producto de esta actividad se identificó 16 zonas de vida, como se puede apreciar en el mapa N°. 1. Las 16 zonas de vida se caracterizan de acuerdo a la vegetación dominante y a las características fisiográficas (clima, suelo, geomorfología) del lugar tomando en algunos casos como referencia el trabajo del Dr. Holdridge.

La evaluación de los posibles cambios en el régimen climático de los ecosistemas considerados, está basado en las proyecciones político-económicas, el resultado se enfoca a las cuatro regiones. Donde se observa que la temperatura se incrementará en los meses de abril y mayo en las cuatro regiones. La precipitación sufriría un decremento durante el mes de noviembre y un incremento en el mes de junio, alterándose el ciclo hidrológico (fig. 1, 2, 3 y 4).

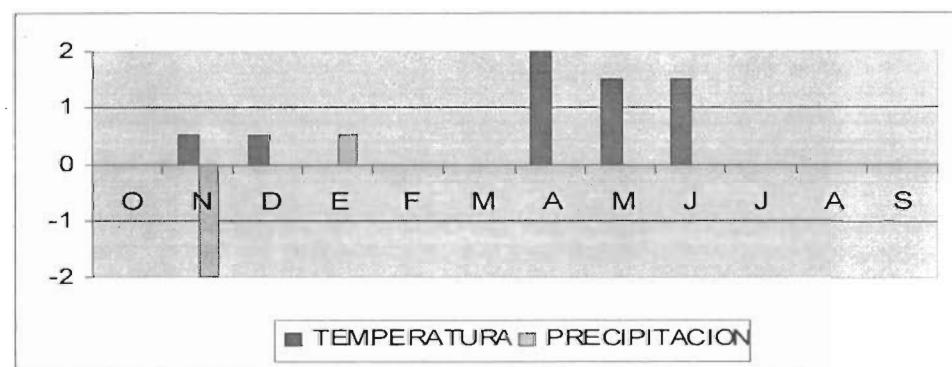
#### Zonas de Vida Actual (Generadas con datos de Isolíneas)



Elaboración y Edición:  
Horacio Lorini Rodríguez



**Figura 1:** Variación mensual de la temperatura y la precipitación debido al cambio climático, Área I (norte de Bolivia).



**Figura 2:** Variación mensual de la temperatura y la precipitación debido al cambio climático, Área II (altiplano y valles)

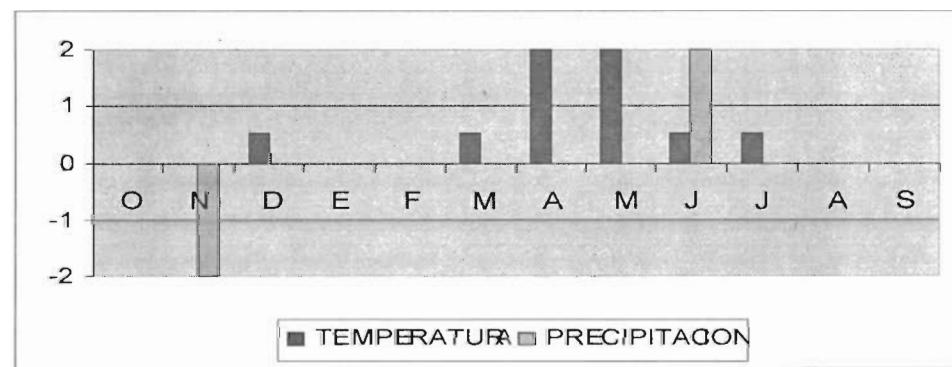


Figura 3: Variación mensual de la temperatura y la precipitación debido al cambio climático, Área IV (oriente).

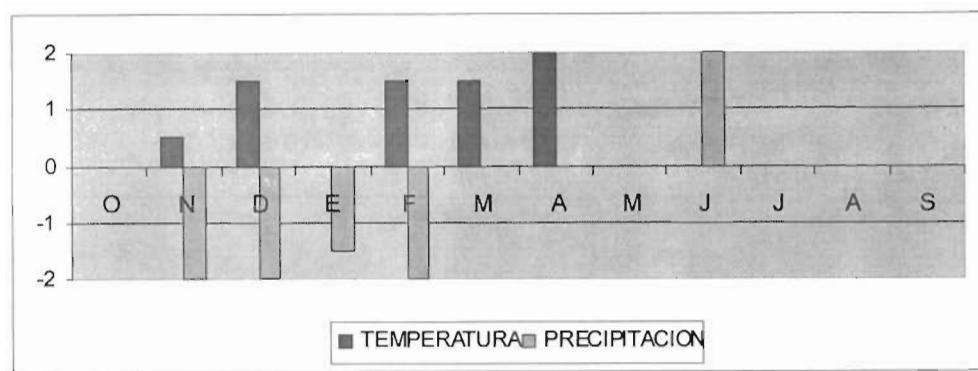


Figura 4: Variación mensual de la temperatura y la precipitación debido al cambio climático, Área V (sur de Bolivia).

- La vulnerabilidad de las zonas de vida a los cambios climáticos según los resultados de la aplicación del programa HOLDRIDGE2, se puede apreciar en los mapas, 2, 3 y 4.
- De acuerdo a los resultados que se han tenido del probable cambio climático, según los escenarios de políticas IS92 a, c y e, se tiene que los ecosistemas bosque húmedo subtropical (1) y bosque seco subtropical (7) son los que presentan mayor cambio y que la estepa espinosa templada fría (16) es el ecosistema que "desaparece" (año 2010, escenario a) y cambia de lugar en los tres escenarios. Sin embargo se considera que todos los ecosistemas de alguna forma cambian o se desplazan, mostrando de esta forma su sensibilidad ante un probable cambio climático. La ecoregión que más cambio presenta según los tres escenarios es la Estepa espinosa templada fría (16) ubicado al sur de Bolivia, en los contra fuertes de la cordillera oriental, tiene una temperatura promedio anual oscila entre 6 y 12 °C y un rango de precipitación anual de 200 - 400 mm. Llama la atención que el bosque muy húmedo tropical (9) empiece a aparecer en regiones donde antes no se encontraba (según el mapa 1994): El norte del departamento de Pando y en el flanco oriental de la Cordillera Real, no se tiene explicación al respecto por lo que se deja este punto abierto a cualquier discusión.

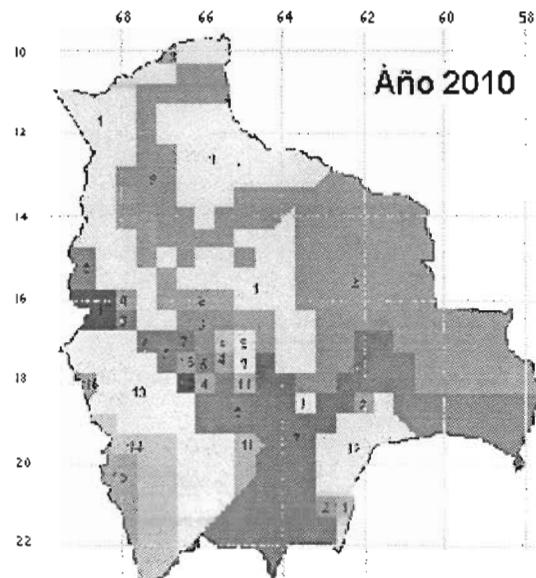
Para realizar un análisis más global de acuerdo a las 4 regiones biogeográficas que tiene Bolivia: la región andina, chaqueña, escudo brasileño y la amazonía.

#### Región andina:

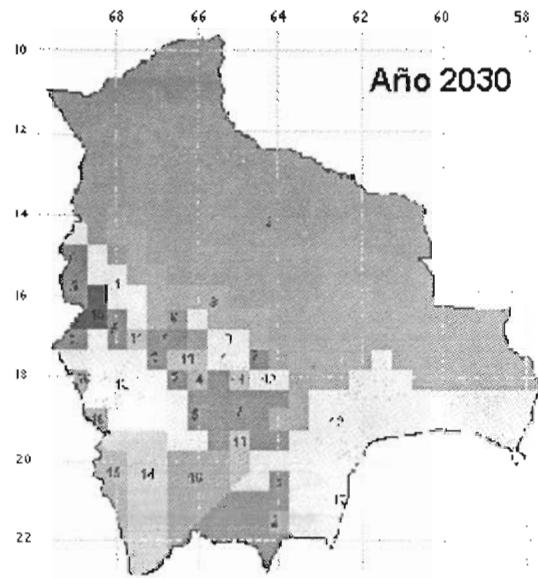
Altiplano, en esta región predomina la vegetación arbustiva con algunos relictos de bosque de queñua (*Populepis tarapacana*) y kiswara (*Buddleja coriacea*). La producción agrícola de tubérculos y cereales es para el autoabastecimiento. En el altiplano se encuentran ecosistemas muy sui generis como los bofedales, que son lugares de pastoreo extensivo de llamas y alpacas. Esta región por su condición climática y el uso excesivo de leña es susceptible a procesos de erosión hídrica y eólica; ante una variación del clima, especialmente de temperatura en el altiplano los procesos erosivos tenderán a incrementarse, especialmente el eólico, con el incremento del número de dunas.

Valles interandinos, sectores geográficos que varían su dinámica climática en función a su orientación, predomina la vegetación xerófica. La producción agrícola esta basada en la agricultura parcelaria, en sectores con canales de riego; la producción pecuaria esta en base al ganado vacuno, ovino y avícola. Los suelos presentan erosión laminar y en

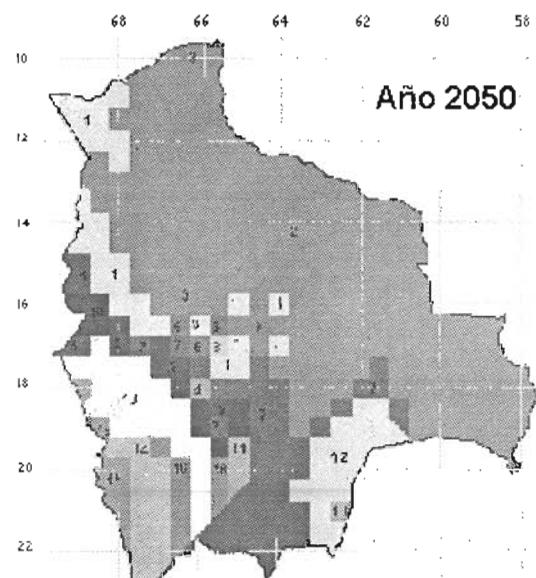
## Zonas de Vida Holdridge Modelo IS92 a



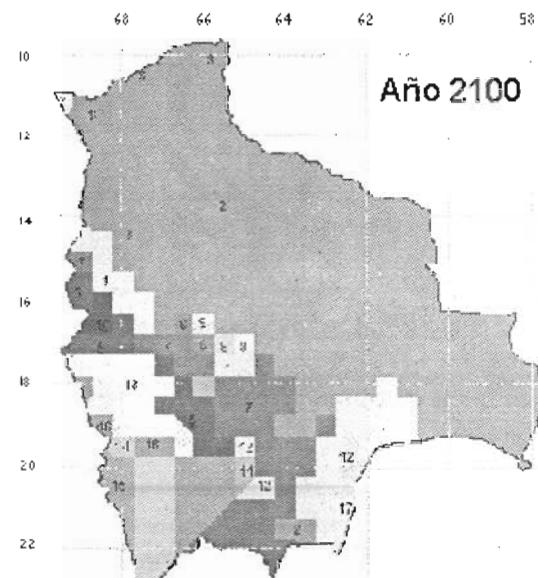
Año 2010



Año 2030



Año 2050



Año 2100

- 1 Bosque húmedo subtropical
- 2 Bosque seco tropical
- 3 Bosque húmedo tropical
- 4 Bosque húmedo templado
- 5 Bosque seco templado
- 6 Bosque muy húmedo subtropical

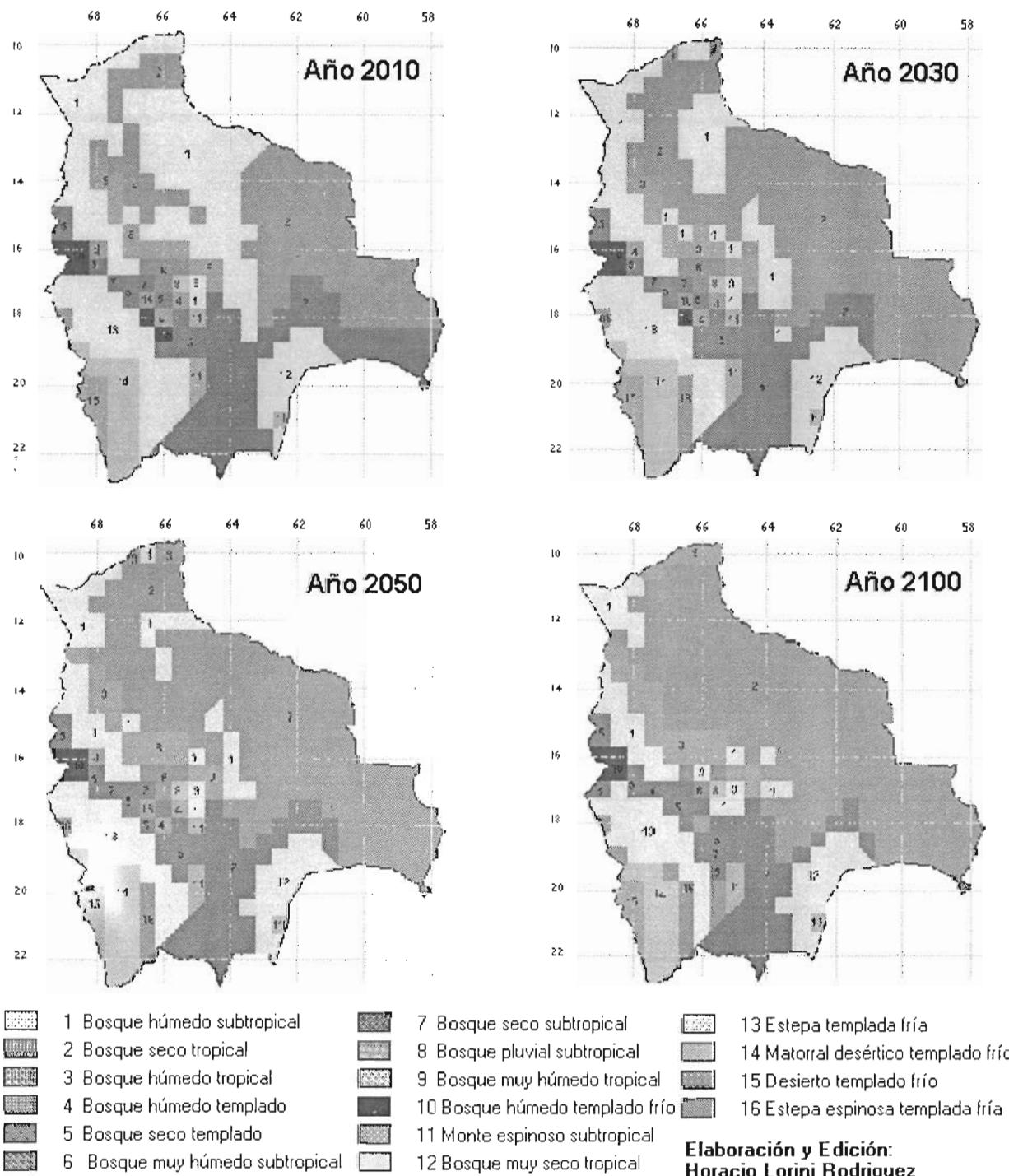
- 7 Bosque seco subtropical
- 8 Bosque pluvial subtropical
- 9 Bosque muy húmedo tropical
- 10 Bosque húmedo templado frío
- 11 Monte espinoso subtropical
- 12 Bosque muy seco tropical

- 13 Estepa templada fría
- 14 Matorral desértico templado frío
- 15 Desierto templado frío
- 16 Estepa espinosa templada fría
- 17 Monte espinoso tropical

Elaboración:  
Horacio Lorini, Guillermina Miranda

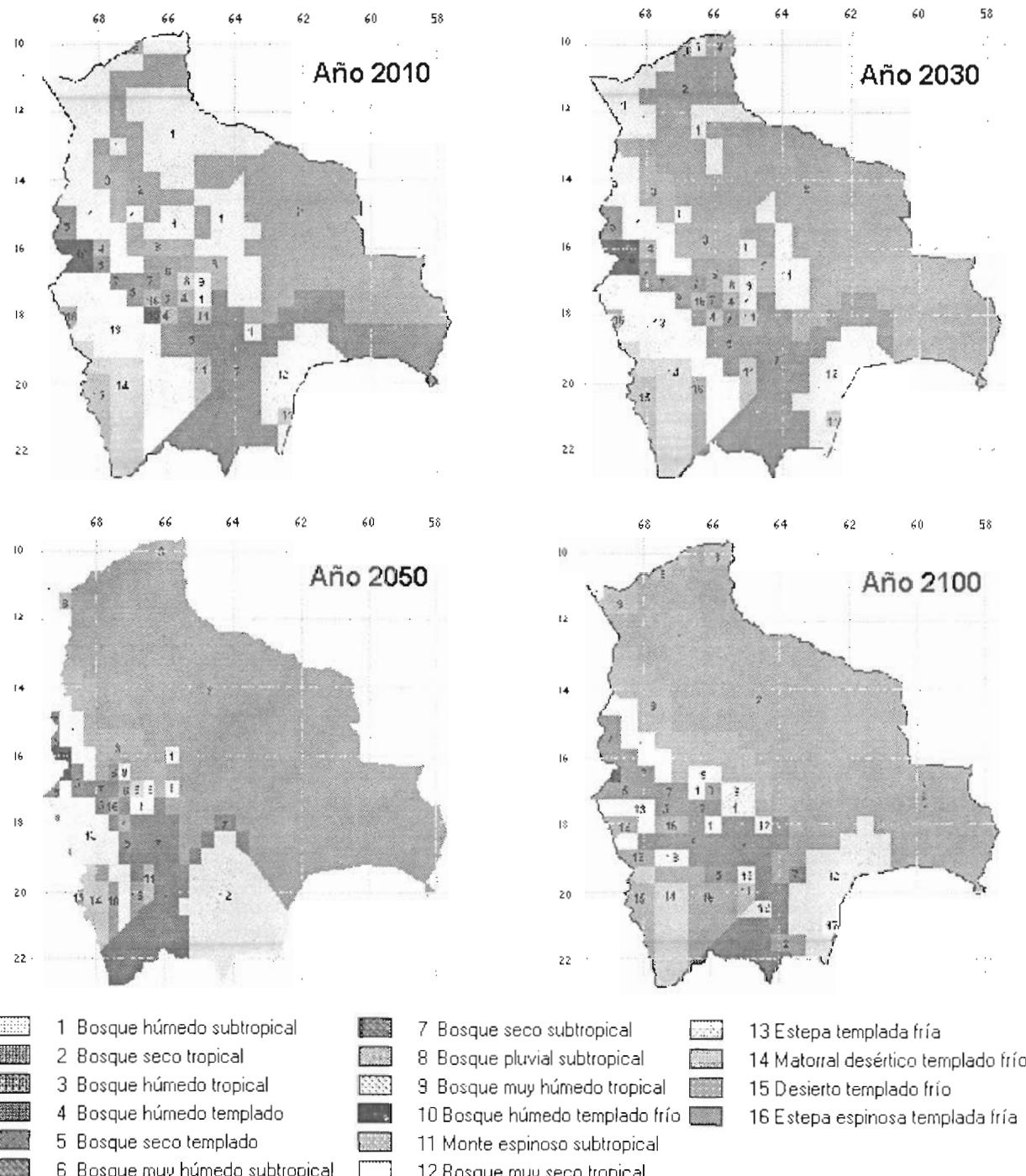
Edición:  
Horacio Lorini

### Zonas de Vida Holdridge Modelo IS92 c



Elaboración y Edición:  
Horacio Lorini Rodríguez

### Zonas de Vida Holdridge Modelo IS92 e



**Elaboración:**  
Guillermina Miranda

**Edición:**  
Horacio Lorini

cárcavas debido al mal uso que se dio (desbosque y empleo de agroquímicos) se tiene problemas de agua por la escasa precipitación que se presenta. Un probable cambio climático puede afectar significativamente la provisión de agua tanto para agua potable como para riego, lo que afectaría principalmente a la población.

Región chaqueña, en esta región predomina las especies de vegetales de tipo xerófico, en algunos sectores se práctica la agricultura extensiva de soya, y la crianza de ganado vacuno, cerca de los contrafuertes de la cordillera existe ganado caprino. también en esta región existe procesos de erosión eólica, con presencias de dunas, este proceso se dio por no contar con planes de Uso de Suelo, se sospecha que el cambio climático puede incrementar el proceso de erosivo y con tendencia muy fuerte a desertificarse. Esta afirmación se puede corroborar con el resultado de los tres escenarios, donde se observa el avance de ecosistemas más secos.

Más hacia el Sureste, cerca de la frontera con el Paraguay, se encuentran los bañados de Izozog, ecosistema considerado como humedales de acuerdo a la convención Ramsar, ante un cambio climático puede secarse y de esta manera afectar a la biodiversidad que allí se encuentra.

Región del escudo brasileño, región alterada por la agricultura mecanizada, solo en algunos sectores se puede ver relictos boscosos (riberas de los ríos) y en lugares distantes de los poblados. El crecimiento económico en esta región hace que sea atractivo para la inmigración de la población andina principalmente, tanto en el área urbana como rural (áreas de colonización). Los procesos de degradación de esta región se da en el suelo por el uso descontrolado de químicos y en el desbosque para nuevas áreas de colonización. Un eventual cambio climático llegaría a afectar al sector agrícola y por ende a la población, en lo que se refiere al abastecimiento de agua principalmente, situación que daría lugar al avance de ecosistemas más secos como el bosque seco tropical.

Región amazónica, en esta región se debe considerar a las sabanas, donde predomina la vegetación herbácea (gramíneas) con algunas islas de bosques. La producción pecuaria es la que predomina, existiendo importantes hatos de ganado vacuno. En algunos años se tiene inundaciones que dura varios meses, pero también se tienen sequías prolongadas; el cambio climático especialmente el aumento de la temperatura, puede afectar a estos lugares volviéndose más seco dando lugar de esta forma a que el bosque seco tropical avance y a incrementarse los incendios que daría paso a la implantación de especies menos palatables para el ganado y a la extinción de especies.

En lo que se refiere a los bosques de esta región, las especies que allí se encuentran son de interés económico, siendo la actividad forestal lo más importante, seguido de la recolección de frutos (castaña). Un eventual cambio climático puede llegar a afectar al bosque en lo que se refiere a la biomasa y a la calidad de esta, (resultado del programa GAP) por un lado, por otro la tendencia a convertirse en un ecosistema más seco (bosque seco tropical), como se muestran en la tendencia que se tienen con los tres escenarios IS92 a, c y e.

- Se hace notar que en los modelos proporcionados por el IPCC, no contempla :
  - Las retroacciones positivas del sistema, este factor contribuiría al calentamiento, y las retroacciones negativas podrían atenuar el calentamiento.
  - La retroacción de los vegetales: la fotosíntesis absorbe CO<sub>2</sub> de la atmósfera y la respiración lo devuelve, incrementándose la respiración por la mayor temperatura, lo que conllevaría a una aceleración del calentamiento global.

- El producto de los modelos de simulación son estimaciones de lo que podría pasar si los GEI no se reducen.

## RECOMENDACIONES

Es de suma urgencia contar con un diagnóstico sobre las estaciones meteorológicas, referente a su ubicación espacial, lugar fisiográfico, años de información y calidad de la información, a fin de que se pueda conocer los vacíos de información que se tiene e impulsar si su caso se da, la instalación de nuevas estaciones meteorológicas.

Impulsar la formación de un centro de investigación en meteorología, con todas sus ramas, climatología urbana, climatología agrícola, climatología médica, etc.

Se recomienda a las autoridades nacionales que las Leyes que se tiene sobre el Medio Ambiente deben ser socializadas a todos los niveles de la población.

## BIBLIOGRAFIA

BROCKER, W.S. (1987). Sorpresas desagradables en el invernadero? *Nature*, v. 328, pág. 123-126

COMISIÓN DEL PARLAMENTO ALEMÁN (1992): Amenaza al desarrollo global: Actuar ahora para salvaguardar el futuro, Económica Verlog, Bonn, marzo.

LORINI, H (1999). Mitigación de los efectos negativos producidos por emisiones del sector no energético – Cap. Inventarios. Instituto de Ecología, UMSA. Proyecto financiado por Holanda a través del Programa Nacional de Cambios Climáticos – MDSyP.

MIRANDA, G. (1999): Mitigación de los efectos negativos producidos por emisiones del sector no energético – Cap. Mitigación. Instituto de Ecología, UMSA. Proyecto financiado por Holanda a través del Programa Nacional de Cambios Climáticos – MDSyP.

MIRANDA, G y LORINI, H (1999): Mitigación de los efectos negativos producidos por emisiones del sector no energético – Cap. Vulnerabilidad. Instituto de Ecología, UMSA. Proyecto financiado por Holanda a través del Programa Nacional de Cambios Climáticos – MDSyP.

## AGRADECIMIENTOS

A la Cooperación Técnica Holandesa y al Programa de Cambios Globales del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, por su apoyo económico y logístico.

A los Srs. Horacio Lorini y Javier Villegas por su apoyo y colaboración en la realización de los mapas.

*Si la tierra tuviera un manual de instrucciones el capítulo sobre el clima podría comenzar con la advertencia de que el sistema ha sido ajustado en fábrica para un confort óptimo, por lo tanto, no hay que tocar los controles. Rev. Nature, 1987*

## **ESTUDIO DE CAMBIOS CLIMATICOS - BOLIVIA**

### **Inventario de Emisiones de los Sectores Energía e Industria**

Maria Eugenia Garcia  
Instituto de Investigaciones Químicas, UMSA

#### **INTRODUCCIÓN**

La comunidad científica está cada vez más convencida de la ocurrencia de cambios climáticos significativos a causa de la emisión a la atmósfera de gases contaminantes generados por diferentes actividades humanas, las mismas que podrían producir alteraciones irreversibles en los ecosistemas de la tierra y en el desarrollo normal de la vida.

Consciente del peligro de estas alteraciones, Bolivia ha ratificado en julio de 1994 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, firmada originalmente en 1992 en ocasión de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1997a), en la convicción de que los países en vías de desarrollo pueden aportar con soluciones a los problemas globales generados por el crecimiento de la industria.

Una de las acciones emprendidas por Bolivia, a través del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, fue la creación del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC), el mismo que desarrolló las primeras investigaciones sobre niveles de emisión de gases de efecto invernadero, la adaptación de los diferentes ecosistemas al posible cambio climático y estudios de opciones de mitigación.

Entre 1994 y 1996, el PNCC con apoyo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), se llevó a cabo el Proyecto "Inventariación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Origen Antropogénico e Impactos en Ecosistemas", cuyo fruto se reflejan en dos publicaciones. (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1997a, 1997b).

En el presente estudio, realizado por el Instituto de Investigaciones Químicas, con apoyo del PNCC y cooperación financiera del gobierno de Holanda, se preparó un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los sectores de energía e industria para el año 1994, en base a una revisión del inventario preparado por el PNCC para 1990.

#### **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

##### **a. Generales**

- Desarrollar para el año 1994, el inventario de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero relacionados con el sector energético e industrial, estableciendo las fuentes.
- Revisar el inventario de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero relacionados con el sector energético e industrial preparado por el PNCC para el año 1990.

##### **b. Específicos**

- Obtener información relacionada con fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, relacionadas al sector energético e industrial.

- Efectuar el inventario de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero de las actividades industriales y energéticas para el año 1994, tomando como base el inventario de 1990.
- Revisar y mejorar el inventario de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero de las actividades industriales y energéticas del año 1990,
- Permitir la transferencia del conocimiento de la temática del cambio global y de metodologías de inventariación, del PNCC al IIQ.
- Elaborar un informe en base a toda la información analizada y procesada.

## METODOLOGÍA

La búsqueda y recopilación de los datos adicionales requeridos para la verificación del inventario de 1990 y la elaboración del inventario de 1994, incluyendo consumo de energéticos (gasolina, diesel, kerosene, gas natural, leña, carbón y otros) y emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ , COV), se efectuó en diferentes instituciones estatales y privadas, entre ellas YPFB, ENDE, INE, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, Secretaría Nacional de Industrias, Cámara Nacional de Industrias y diferentes ONGs.

La información obtenida fue analizada y clasificada para su posterior uso en los cálculos de las estimaciones de las emisiones globales de gases de efecto invernadero a nivel de Bolivia, los mismos que se realizaron tomando en cuenta los coeficientes de emisiones proporcionados por el PNCC para el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), de acuerdo a la metodología del IPCC (1997a, 1997b, 1997c).

Todas las actividades fueron realizadas en coordinación con el Programa Nacional de Cambios Climáticos y con el asesoramiento de un equipo de profesionales holandeses contratados bajo el auspicio de la Universidad de Amsterdam.

## RESULTADOS

Todos los resultados del inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero de los sectores energía e industria, tanto para 1990 como para 1994, son presentados en forma de tablas. La discusión de los resultados que se desarrolla a continuación se refiere al año 1994.

### 1 Sector energético

#### 1.1 Método TOP-DOWN

De acuerdo a la Estadística Petrolera en Bolivia 1923-1994 (YPFB, 1995), la producción nacional de hidrocarburos líquidos en 1994 fue de 1.491.536 m<sup>3</sup> de petróleo (incluyendo condensado), 144.108 m<sup>3</sup> de gasolina natural y 308.325 m<sup>3</sup> de G.L.P, equivalente a 1.135.000 t de petróleo, 82.358 t de gasolina natural y 169.579 t de G.L.P, considerando las densidades respectivas (Cuadro No. 1). Este mismo año se exportaron 60.458 t de petróleo, mientras que las importaciones llegaron a 103.195 t de diesel, 11.449 t de fuel oil, 22.162 t de bitumen, 11.706 t de lubricantes, 547 t de otros aceites, 26 t de coque de petróleo y 1335 t de otros derivados del petróleo (INE, 1995).

Cuadro No. 1: **Densidades de hidrocarburos**

Producto	g/cm <sup>3</sup>	Ref.
Gasolina (Especial, Premium)	0,700	YPFB, 1996; MEH, 1993
Gasolina natural	0,5715	MEH, 1993
Gasolina de aviación	0,750	YPFB, 1996; MEH, 1993
Kerosene	0,798	YPFB, 1996; MEH, 1993
Diesel Oil	0,800	YPFB, 1996; MEH, 1993

Gasoil (diesel)	0,800	YPFB, 1996; MEH, 1993
Fuel Oil	0,849	YPFB, 1996
GLP (doméstico, automotriz,	0,550	YPFB, 1996; MEH, 1993
Avgas (gasolina de aviación)	0,750	YPFB, 1996; MEH, 1993
Jet Fuel	0,840	YPFB, 1996, MEH, 1993
Aceite (automotriz, industrial)	0,890	YPFB, 1996
Petróleo crudo (año 1994)	0,761	YPFB, 1995

El balance de la producción, importación, exportación y variación del stock (la existencia de petróleo crudo en refinerías se incrementó durante 1994 en 102.491 toneladas) nos da un consumo aparente de hidrocarburos líquidos, en unidades de energía, de 65.966 TJ, valor calculado en base a los anteriores datos y considerando el poder calorífico de los diferentes componentes que se presentan en el Cuadro No. 2.

Cuadro No. 2 Datos de poder calorífico

Producto	kcal/kg	TJ/t	Ref.
Gasolina (Especial, Premium)	11667	0,04885	YPFB, 1996; MEH, 1993
Gasolina natural	11667	0,04885	MEH, 1993
Gasolina de aviación	11667	0,04885	MEH, 1993
Kerosene	11128	0,04659	YPFB, 1996; MEH, 1993
Diesel Oil	10972	0,04594	YPFB, 1996
Diesel, gasoil	10972	0,04594	MEH, 1993
Fuel Oil	11050	0,04626	YPFB, 1996; MEH, 1993
GLP Doméstico	11833	0,04954	YPFB, 1996; MEH, 1993
Jet Fuel	11128	0,04659	YPFB, 1996; MEH, 1993
Gasnatural (kcal/m <sup>3</sup> , TJ/m <sup>3</sup> )	9300	0,0000389	YPFB, 1996
Gasnatural (kcal/PC, TJ/m <sup>3</sup> )	263,34	0,0000389	MEH, 1993
Gasnatural, valor inferior		0,0000354	Javier Hanna, com.
Leña (altiplano)	3500	0,01465	MEH, 1993
Leña (oriente)	3000	0,01256	MEH, 1993
Leña (promedio)	3250	0,01361	(calculado)
Residuos animales	2760	0,01156	MEH, 1993
Bagazo	1800	0,00754	MEH, 1993
Carbón Vegetal (Dom.)	6500	0,02721	MEH, 1993
Carbón Vegetal (Vinto)	7000	0,02931	MEH, 1993
Petróleo crudo	11507	0,04818	MEH, 1993
Otros	11507	0,04818	MEH, 1993

La producción bruta de gas natural en 1994 fue de 208.975.964 MPC (miles de pies cúbicos), de los cuales se reinyectaron en pozos 48.643.179 MPC, dando una producción neta de 160.332.785 MPC. Restando los 4.309.308 MPC que se convirtieron en líquidos, se tiene una producción de gas natural seco de 156.023.477 MPC ó 4.415.000.000 m<sup>3</sup> (YPFB, 1995).

Las exportaciones de gas natural en 1994 llegaron a 2.168.000.000 m<sup>3</sup>, por lo que se estima unos 2.250.000.000 m<sup>3</sup> de gas seco consumidos en el país (esta cantidad incluye los 43.769.588 MPC ó 1.239.000.000 m<sup>3</sup> que se quemaron o ventilaron en el proceso de producción del gas). Considerando un valor calorífico de 0,0000354 TJ/m<sup>3</sup> (Javier Hanna, com. personal) se calcula un consumo energético de gas natural de 79.584 TJ para el año 1994.

En cuanto a los hidrocarburos sólidos, no producción en Bolivia y las importaciones son reducidas,

con 5,0 t de antracita, 3,2 t de lignita y 46,7 t de coque para el año 1994 (INE, 1995), lo que equivale a solamente 1,54 TJ. Para este cálculo se han usado poderes caloríficos propuestos por el IPCC (1996b).

Considerando los factores de emisión de carbono, fracción de carbono oxidado y carbono almacenado (solamente en bitumen: 1, y en lubricantes: 0,5) para los diferentes productos, proporcionados por el IPCC (1996c), se estiman las siguientes emisiones de dióxido de carbono: 4.571 Gg provenientes de la oxidación de hidrocarburos líquidos, 4.442 Gg generadas por la quema del gas natural y 0,084 Gg producidas por el uso de hidrocarburos sólidos, dando un total de 9.013 Gg de dióxido de carbono emitidas por los hidrocarburos en 1994.

## 1.2 Método BOTTOM-UP

Para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero por este método, se ha considerado el consumo de hidrocarburos por los diferentes sectores de actividad económica, de acuerdo a las estadísticas de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB, 1995). En el Cuadro No. 3 se indican los consumos sectoriales de gasolina, jet fuel, kerosene, diesel, fuel oil, GLP y gasolina de aviación. Para los lubricantes (incluyendo aceites automotrices, industriales, de aviación, grasas, asfaltos y parafinas) y disolventes (principalmente éter) no se tienen datos desglosados, siendo los consumos globales de 9.074 t y 2 t, respectivamente. Para producir los hidrocarburos líquidos se han utilizado 131.089 m<sup>3</sup> de combustibles de refinería (una mezcla de hidrocarburos parecida al fuel oil) que son considerados aparte

**Cuadro No. 3 Consumo de derivados del petróleo por sector de actividad económica en 1994**

Combustible	Industria Energética (t)	Ind. Manuf. y Construcción (t)	Comercial y Residencial (t)	Agricultura y Agríndustria (t)	Minería y Metalurgia (t)	Otros (t)	Transporte (t)	Total (t)
Gasolina	4.042	7 020	3 853	761	1.303	2 498	341 439	360 825
Jet Fuel	453						96 081	96 534
Kerosene	28	7 022	13 167	160	100	259	48	20 784
Diesel Oil	28 066	22 451		2 895	5 286	3 492	310 168	372 358
Fuel Oil	3,3	1.658			565	117	12	2 355
GLP	90	2 948	215 711	81	419	833	21	220 103
Gasolina							3 971	3 971
Gas natural (m <sup>3</sup> )	$6,85 \cdot 10^8$	$2,82 \cdot 10^8$	$1,52 \cdot 10^6$				$2,46 \cdot 10^6$	$9,71 \cdot 10^8$

Fuente. YPFB, 1995

Considerando los factores de emisión de carbono, fracción de carbono oxidado y carbono almacenado (IPCC, 1996c), se determinan los consumos energéticos en terajoules (TJ) y emisiones de dióxido de carbono que se muestran en el Cuadro No. 4.

La actividad que más contribuye a las emisiones de dióxido de carbono es el transporte (42%), seguido de la industria energética (30%), industria manufacturera y construcción (14%) y sector doméstico/comercial (13%); los otros sectores (agricultura, minería y actividades no clasificadas) aportan con menos del 1% cada uno.

Para producir los hidrocarburos que utilizan los diferentes sectores se requiere de una cantidad considerable de combustible. En el procesamiento del petróleo en 1994, se emplearon 111.300 toneladas de combustible de refinería (YPFB, 1995), equivalentes a 5.148 TJ, los mismos que

producían 394 Gg de dióxido de carbono.

**Cuadro No. 4 Consumo de derivados de petróleo en unidades de energía y emisiones de dióxido de carbono por sector en 1994**

SECTOR	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (TJ)	EMISIONES DE CO <sub>2</sub> (Gg)
INDUSTRIAS	25.764	1.464
INDUSTRIA Y	11.909	695
TRANSPORT	ÁEREO	4.678
	TERRESTRE	29.309
	FERROVIARIO	776
	LACUSTRE	401
OTROS SECTORES	DOMESTICO Y COMERCIAL	11.534
	AGRICULTURA Y AGROINDUSTRIA	182
MINERIA Y METALURGIA	358	26
OTROS ( NO	341	24
TOTAL	85.252	5.437

En la quema y venteo de gas se perdieron en 1994  $1.24 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ , correspondientes a 43.900 TJ (YPFB, 1995). Asumiendo que se quema un 90% de este gas (Javier Hanna, comunicación personal), se habrían producido 2.200.000 toneladas de dióxido de carbono por este proceso.

Comparando el método BOTTOM-UP con el método TOP-DOWN, se tiene el siguiente resultado:

<u>TOP-DOWN</u>	<u>BOTTOM-UP</u>
Emisión total 9.013 Gg de CO <sub>2</sub>	Sectores 5.437 Gg CO <sub>2</sub>
	Lubricantes 30 Gg CO <sub>2</sub>
	Uso refinerías 394 Gg CO <sub>2</sub>
	Quema 2.204 Gg CO <sub>2</sub>
	<hr/>
	Total 8.065 Gg CO <sub>2</sub>

La diferencia entre los dos métodos se debe a posibles pérdidas en los procesamientos y transporte de los hidrocarburos, inexactitud de los datos reportados, así como a la fracción de carbono en lubricantes, asfaltos y otros hidrocarburos pesados que no se oxida.

### 1.3 Dióxido de carbono generado por la quema de biomasa

El uso de biomasa en 1994, de acuerdo a la Secretaría Nacional de Energía (1996), fue de 1.425.400 toneladas de leña, 403.800 toneladas de residuos animales y 1.348.900 toneladas de bagazo. Todos los residuos sólidos y un 94% de la leña fueron utilizados por el sector residencial/comercial, el resto de la leña fue procesada por las carboneras. El bagazo sirvió a la industria manufacturera (90%) y la industria energética (10%).

Con estos datos se calcula un consumo total de biomasa de 34.200 TJ y una emisión de dióxido de carbono de 3.677 Gg. Asumiendo una producción sostenible de biomasa, esta cantidad de CO<sub>2</sub> se reciclaría anualmente.

### 1.4 Gases distintos del dióxido de carbono procedentes de la quema de combustibles

La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero diferentes a dióxido de carbono, dieron el siguiente resultado para 1994:

Componente	Emisión (Gg)
CO	303,2
N <sub>2</sub> O	0,1775
NMVOC	43,63
NO <sub>x</sub>	32,87
CH <sub>4</sub>	7,82

### 1.5 Emisiones de SO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible

Los hidrocarburos existentes en Bolivia solamente contienen trazas de azufre. La producción de SO<sub>2</sub> se debe a la combustión del diesel importado. No se han conseguido análisis químico del contenido de azufre, pero la Superintendencia de Hidrocarburos nos proporcionó las especificaciones técnicas, según las cuales el contenido máximo permitido en el diesel importado es de 0,015%. En este sentido, la emisión máxima esperada es de solamente 31 t de SO<sub>2</sub>.

### 1.6 Emisiones procedentes del transporte aéreo

Para el cálculo de las emisiones procedentes del transporte aéreo se ha considerado el método del nivel 2 de las guías del IPCC, que incluye el consumo de combustible nacional e internacional, el combustible usado en las actividades de despegue, carretero y aterrizaje, y las actividades de crucero, además del número de aterrizajes por tipo de avión y factores de emisión.

Las emisiones de dióxido de carbono se han calculado en 188 Gg de CO<sub>2</sub> para el transporte aéreo nacional y 72 Gg de CO<sub>2</sub> para el internacional.

Las emisiones de los gases diferentes del dióxido de carbono, como metano, óxido nitroso, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de azufre, son muy bajas.

### 1.7 Emisiones de metano procedentes de la extracción y manipulación del carbón

No se conoce la extracción de carbón de yacimientos bolivianos.

### 1.8 Emisiones de metano procedentes de las actividades de petróleo y gas

En las actividades de producción, transporte, refinación y almacenamiento de petróleo pueden producirse emisiones fugitivas. Aplicando factores de emisión generales del IPCC (IPCC, 1996c) para las cantidades producidas y procesadas en 1994 (YPFB, 1995), se estima una emisión de unos 0,38 Gg de metano. En las actividades relacionadas con el gas natural (producción, procesamiento, transmisión, distribución y consumo), la emisión es mucho más importante, llegando a 36,86 Gg en 1994. Una característica particular de la producción de gas natural es la quema y venteo. Se estima que en 1994, aplicando los factores del IPCC, se hayan emitido 45,3 Gg de metano por este mecanismo, llegando la cantidad total de metano emitido por la producción y procesamiento de hidrocarburos a unos 82,49 Gg.

### 1.9 Precursores de ozono y SO<sub>2</sub> de la refinación del petróleo

Este cálculo, considerando un volumen de petróleo crudo de 1.135.300 toneladas producido en 1994, dio el siguiente resultado:

<u>Contaminante</u>	<u>Emisión (Gg)</u>
CO	0,10
NO <sub>x</sub>	0,07
NM VOC	0,70
SO <sub>2</sub>	1,06

## 2 Sector industria

Bolivia no cuenta con una buena estadística accesible sobre la producción industrial. Fue difícil encontrar la información respectiva, la misma que a veces es parcial y en algunos casos no muy confiable.

Las emisiones provenientes del sector industrial fueron calculadas para la producción de cemento, cal, vidrio, asfalto, metales, papel, algunos químicos, alimentos y bebidas, así como para el uso de halocarburos. Bolivia es un país muy poco industrializado y no conoce la producción de amoniaco, ácido nítrico, ácido adipíco, carburo y halocarburos.

Sobre la utilización de piedra caliza y de dolomita, producción y utilización de carbonato sódico y producción de otras sustancias químicas no se encontraron datos estadísticos.

### 2.1 Producción de cemento

En la fabricación de cemento, considerando una producción total de 774041 toneladas (INE-SNIC, 1996), se emitieron en 1994 un total de 386 Gg de CO<sub>2</sub> y 0,23 Gg de SO<sub>2</sub>.

### 2.2 Producción de cal

No se cuenta con datos exactos de producción de cal. Si estimamos una producción de 10000 toneladas para el año 1994, nos daría una emisión de 7,9 Gg de CO<sub>2</sub>.

### 2.3 Producción de vidrio

Para este caso tampoco se cuentan con datos estadísticos. Con una producción anual de 33000 toneladas de vidrio, se tendría una emisión de 0,033 Gg de compuestos orgánicos volátiles (COV).

### 2.4 Producción de asfalto

Las emisiones de COV, CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> por la producción de asfalto son muy bajas (menores a 0,0001 Gg en todos los casos). El uso del asfalto en el cubrimiento de carreteras aporta con 0,72 Gg de COV.

### 2.5 Producción de metales

Solamente la producción de hierro, acero, ferroaleaciones y aluminio es considerada detalladamente en las guías del IPCC. Ninguno de los dos componentes es producido en Bolivia. (Hay una cierta exportación de minerales ferrosos al Brasil).

### 2.6 Producción de pulpa y papel

La poca cantidad de pulpa producida en el país (1494 t según INE, datos de exportación), contribuye muy poco a las emisiones de NO<sub>x</sub>, COV, CO y SO<sub>2</sub> (0,01% ó menos).

### 2.7 Producción de otros productos químicos

Se han encontrado datos para la producción de ácido sulfúrico y acetileno (INE, hoja C4010704). Se estima una emisión de 0,000026 Gg de metano proveniente del proceso de acetileno y 0,028 Gg de dióxido de azufre generado en la preparación del ácido sulfúrico.

## 2.7 Producción de alimentos y bebidas

En este caso se tienen datos de producción de vino, cerveza, singani, margarina y azúcar (para 1990 también para café tostado, carne vacuna y carne de aves (INE hoja C4010704), por lo que se ha calculado la emisión de COV, la misma que es de 0,38 Gg para bebidas y 2,81 Gg para alimentos.

## 2.8 Uso de halocarburos

Asumiendo una cantidad de 170000 refrigeradores con un promedio de 20 kg de refrigerante, se estima una emisión fugitiva de halocarburos de 0,034 Gg.

## 3 Proyecciones de las emisiones de dióxido de carbono para los años 2000, 2010, 2020 y 2030

Con el objetivo de estimar la emisión de dióxido de carbono en los próximos años, se ha realizado el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono para los años 2000, 2010, 2020 y 2030, para lo que se ha usado el método Bottom-Up de las guías del IPCC y por tanto se han determinado las emisiones según los diferentes sectores de actividad económica.

Los datos de partida, es decir, de consumo de energía para los diferentes años y los distintos sectores, han sido proporcionados por el Ing. Javier Hanna, quien los ha extraído del modelo LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning Sistem).

Los resultados que se han obtenido muestran que el sector que tiene mayor cantidad de emisiones de dióxido de carbono es el transporte, y principalmente al transporte terrestre, cuyos valores van en incremento desde el año 2000 (3098Gg de CO<sub>2</sub>) hasta el año 2030 (7378Gg de CO<sub>2</sub>). Seguidamente está el sector industrial, en el que se incluye la industria general, caminos y carreteras, construcción y otras industrias, con valores que van desde los 1137Gg de CO<sub>2</sub> hasta 6062Gg de CO<sub>2</sub> entre los mismos años.

Las industrias energéticas, en las que se incluye el consumo propio de YPFB además de la refinación de petróleo, ocupan el tercer lugar en emisiones de dióxido de carbono cuya emisión va desde los 2165Gg de CO<sub>2</sub> para el año 2000, hasta 4922Gg de CO<sub>2</sub> (2030).

Entre otros sectores está el sector doméstico y comercial, cuyas emisiones de dióxido de carbono son de 930 Gg CO<sub>2</sub>, 1285 Gg CO<sub>2</sub>, 1682 Gg CO<sub>2</sub>, 2139 Gg CO<sub>2</sub> para los años 2000, 2010, 2020 y 2030 respectivamente.

Otros con emisiones mucho mas bajas, son el sector de agricultura y agroindustria y el de minería cuyos valores más altos (correspondientes al año 2030) son 485 Gg de CO<sub>2</sub> y 198 Gg de CO<sub>2</sub> respectivamente.

## Agradecimientos:

Se agradece a todos los colaboradores del Programa Nacional de Cambios Climáticos y a los expertos holandeses de ECN por su valioso aporte al presente estudio.

## ESTRATEGIAS.... “DISMINUCIÓN DEL COSTO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES, A TRAVES DE INSTRUMENTOS ECONOMICOS: FISCALES Y DE MERCADO

Por María del Carmen Hidalgo A. Ph.D.

“Un primer muestreo de la OECD<sup>1</sup>, permitió identificar 153 clases de instrumentos económicos de intervención ambiental en vigor, 81 de los cuales eran tasas/impuestos ecológicos. En los 90, un segundo muestreo OECD<sup>2</sup>, añadió a este repertorio nuevos impuestos sobre combustibles según contenido de carbono, óxido de nitrógeno (ver cuadro Nro 1).

Cuadro Nro.1 **Instrumentos Económicos medioambientales**

<b>IMPUESTOS CÁNONES</b>	- Por vertidos o emisiones
<b>COSTOS, DERECHOS O TASAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por servicios de tratamiento de los desechos</li> <li>- Sobre fabricación de productos contaminantes</li> <li>- Sobre utilización de productos contaminantes</li> <li>- Sobre productos para los que se ha organizado un servicio de eliminación: aceites lubricantes.</li> <li>- Por autorización y/o control.</li> <li>- Para disuadir la producción y/o el consumo</li> <li>- Para estimular la producción y/o el consumo, impuestos más bajos sobre la gasolina sin plomo.</li> </ul>
<b>AYUDAS FINANCIERAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subvenciones</li> <li>- Créditos Blandos</li> <li>- Incentivos Fiscales</li> <li>- Créditos de impuestos por inversión</li> <li>- Amortización acelerada</li> <li>- Estímulos I+D</li> </ul>
<b>SISTEMA DE CONSIGNACIÓN O DEPÓSITO CREACIÓN DE MERCADOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implica un sistema de recogida y un recargo en el precio de los productos, que se devuelve cuando éstos retornan al sistema</li> <li>- Mercado de derechos de emisión limitados</li> <li>- Mercado con intervención de precios</li> <li>- Seguro de responsabilidad</li> </ul>
<b>INCENTIVOS FINANCIEROS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gravámenes de no cumplimiento</li> <li>- Depósitos de garantía.</li> </ul>
<b>ASEGURAR EL CUMPLIMIENTO</b>	

Fuente: *Instrumentos Economiques Pour la protection et L' environnement*, OCDE, 1989, a., Opschoor y Vos: *La Fiscalidad y el Medio Ambiente; Políticas Complementarias*, OCDE, 1993, a., Amorós 1994, Cuadernos de Actualidad 1995: 269<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Cfr. OECD, 1989 31

<sup>2</sup>Cfr OECD, 1993 10.

<sup>3</sup>Cfr OECD 1989, “Instruments économiques pour la protection et L'environnement, OCDE 1993, Opschoor y Vos: “La Fiscalidad y el Medio ambiente, Políticas Complementarias; Amorós Miguel Cruz (1994), Ponencia en el Curso de Verano de la universidad de Complutense: “Perspectivas Fiscales de los 90”, celebrado en San Lorenzo de El Escorial.

## 1.- INSTRUMENTOS FISCALES

Los comportamientos no deseables desde un punto de vista medio ambiental, podrían ser contrarrestados por la imposición tributaria.

Los impuestos ecológicos pueden aplicarse a productos de por sí contaminantes, con el propósito de modificar sus precios y disminuir su consumo o propiciar su sustitución. La eficacia de estos impuestos depende del nivel de imposición del gravamen.

Hay ejemplos europeos de tasas ya conocidas: pesticidas, materias vírgenes, embalajes no reutilizables, pilas y baterías de cadmio y mercurio, aceites usados o, también, sobre materias primas contaminantes (fosfatos, cloro, azufre)<sup>4</sup>.

Hay proyectos en los Estados Unidos sobre materiales de embalaje, sean o no de papel, incluyendo vidrio, acero, aluminio y plásticos, basado en el peso del material y soportado por el último fabricante de embalaje. Se pretende, con ello, encarecer el uso de materias vírgenes y aumentar la demanda de materiales reciclados en el plano de la industria<sup>5</sup>.

En la conclusión de sus investigaciones Opschoor y Vos<sup>6</sup> afirman que la mayoría de las iniciativas que tienden a introducir los impuestos medioambientales se deben mucho más a la necesidad de encontrar las fuentes de ingresos que sirvan para financiar los gastos de preservación del medio ambiente, que a su valor incentivador.

No de acuerdo con el criterio de Opschoor y Vos en su totalidad, se podría afirmar que la finalidad de la aplicación de los impuestos, tasas y demás instrumentos fiscales, no solo se centra en la recaudación de ingresos, sino que cumple una función de doble dividendo, es decir que la fijación del tipo impositivo:

- a) permitiría la internalización de los costes externos medioambientales que generan los agentes económicos, los cuales se verían reflejados sobre los precios de sus productos contaminantes.
- b) Actuaría como un incentivo para la política ambiental que las empresas apliquen en la reducción de las emisiones o sustancias dañinas que vierten o emanen sobre los recursos naturales, destinando lo recaudado a la financiación de proyectos de protección al medio ambiente es decir planes de adecuación ambiental [incentivo a las industrias para la adquisición de tecnologías limpias, materia prima, materiales más sofisticados, contratación de personal y/o asesores especializados (a través de reducciones, deducciones en los impuestos, subsidios, créditos blandos, etc), o cualquier otro gasto provocado por la política de protección medioambiental], contribuyendo a que el Estado cree impuestos diferenciales (reducción de costos) como premio a los esfuerzos de las empresas para la protección ambiental (finalidad compensatoria).
- c) Para que el instrumento sea efectivo se requieren importantes controles que proporcionen la necesaria información. Una alternativa, para evitar los controles continuos de todos los focos contaminantes y el coste que ello supone, consiste en obligar a los agentes contaminadores a realizar declaraciones periódicas susceptibles de posterior inspección.

Se considera que la aplicación de cánones o tasas o impuestos diferenciales<sup>7</sup> no lograrán todos los cambios estructurales esperados en el mercado, pero si presionarán, de forma coactiva y finalista, a que funcionen todos los demás instrumentos económicos, de mercado e incentivos fiscales, brindando nuevas oportunidades a las inversiones, mayor cobertura en los mercados a productos alternativos que no contaminen el medio ambiente a corto, mediano y largo plazo.

<sup>4</sup>Cfr. OECD,1993:126, a., A.Gago y X. Labandeira, 1995 245.

<sup>5</sup> William Roberts, EDF, núm. 6, mayo, 1990.

<sup>6</sup>OECD,1993, Opschoor y Vos: "La Fiscalidad y el Medio Ambiente, Políticas Complementarias, pág.29-30.

<sup>7</sup>Cánones positivos o negativos (OCDE, 1993:25),

## 1.1.- Soluciones Fiscales para los gastos en tecnología anticontaminante

### 1.1.1.- Incentivos Fiscales

- Deducciones de la base del impuesto; (depreciación acelerada)
- Deducción fiscal a la inversión
- Deducciones de la responsabilidad del impuesto (créditos)
- Exenciones y reducciones de impuestos.

## 1.2 .- Instrumentos Fiscales sobre el Transporte

Como resultado de minuciosos análisis, se estableció que, "las emisiones producidas por los transportes incluyen los contaminantes atmosféricos siguientes :

Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), producido por la combustión de combustibles fósiles;

Monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y compuestos orgánicos volátiles (COV), resultantes de una combustión incompleta;

óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), producidos en combustiones a altas temperaturas;

plomo (Pb), así como el dibromo- y el dicloro - 1, 2 -etano, añadidos a la gasolina para obtener el índice octano deseado y garantizar una mayor volatilidad de los subproductos de la combustión;

anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), debido a la elevada concentración de azufre de los carburantes;

las finas partículas vertidas a la atmósfera por los motores diesel;

formaldehído y otros aldehídos.

El dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso son responsables directos del efecto invernadero, mientras que los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos contribuyen indirectamente al mismo.

El "Grupo Transporte 2.000 Plus" en su informe, menciona a los transportes como uno de los principales responsables de los problemas energéticos y ecológicos, dado que es uno de los mayores consumidores de combustibles fósiles y que provoca daños y perjuicios importantes al medio ambiente<sup>8</sup>.

A nivel Internacional se ha adoptado normas destinadas a reducir las emisiones gaseosas de los vehículos de motor y a fomentar el uso de gasolina sin plomo, como las siguientes:

### 1.2.1.-Impuestos sobre el Transporte

En el Congreso que se realizó en Florencia en 1993<sup>9</sup>, se clasificó a los Impuestos y Costes Medio ambientales de la siguiente manera (Ver Cuadro Nro. 2):

<sup>8</sup>Grupo Transporte 2.000 plus, COM (92) 46 Bruselas, 9 de abril de 1992, "Libro Verde", "Los Transportes en una Europa en evolución", diciembre de 1990

<sup>9</sup>Congress IFA, 1993. "Impuestos y Costes Medioambientales" (Traducción propia del inglés al español):7-11.

Cuadro Nro. 2. - Impuestos y Costes Medioambientales sobre el transporte

	Corto / medio plazo		Largo plazo	
	Carretera	Otros modos de transporte	Carretera	Otros modos de transporte
<b>Costes de la infraestructura y saturación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor diferenciación, en función de la utilización y el deterioro, en los sistemas de tarificación existentes</li> <li>- impuesto kilométrico para los vehículos pesados (en función de los ejes)</li> <li>- peajes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tarificación por el uso de la infraestructura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- telepeaje en concepto de costes de infraestructura y saturación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tarificación por el uso de las vías y otras infraestructuras</li> </ul>
<b>Accidentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- orientación de los sistemas de seguros hacia la estructura prevista a largo plazo.</li> <li>- etiquetado</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>sistemas de seguros que cubran la totalidad de los costes sociales con una diferencia en función del riesgo ( bonus / malus )</li> </ul>
<b>Contaminación atmosférica y ruido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- automóviles: impuestos anuales en función de las emisiones (y quizá del kilometraje)</li> <li>- vehículos pesados: sobretasa kilométrica</li> <li>- impuestos diferenciados en función de las características ecológicas del combustible</li> <li>- Impuesto sobre el CO<sub>2</sub> a efectos del calentamiento del planeta – idéntico para todos los modos de transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- introducción de una tarificación basada en las emisiones por ejemplo, tasas de aterrizaje en la aviación basadas en las emisiones sonoras.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- cuotas basadas en las emisiones / ruidos reales con diferenciación de los costes en función de las condiciones geográficas (y, quizá, de la hora del día).</li> </ul>

Fuente: COM (95) 691 final, Libro verde.: 53.

### 1.3.- Régimen Fiscal de los Biocombustibles

El régimen fiscal de los biocombustibles viene actualmente determinado por la estructura del impuesto especial sobre los hidrocarburos:

Cuadro Nro. 3.- Régimen Fiscal Actual de los Biocombustibles

<b>1.- Objetivo:</b>	Régimen fiscal aplicable a los biocombustibles en la fase de explotación industrial. Se establece que el tipo del impuesto especial aplicado a los biocombustibles no podrá exceder, en ningún Estado miembro, del 10% del tipo aplicado en el mismo estado al combustible que sustituyan (gasolina o gasóleo).
<b>2.-Ámbito de aplicación:</b>	Abarca todos los combustibles de origen agrícola, sin hacer distinciones en función de su origen. - Etanol de origen agrícola (bioetanol) o, de otra forma más general, de origen vegetal, ya se utilice directamente o en la fabricación de ETBE. - Metanol de origen agrícola o, de otra forma más general, de origen vegetal, ya se utilice directamente o en la fabricación de MTBE, - Los aceites vegetales puros, - Los aceites vegetales químicamente modificados, entre los cuales figuran los esteres de aceite vegetal, conocidos también como "diester". El incentivo fiscal se refiere a todos los usos a los que puedan destinarse los biocombustibles, sin restricciones, tanto por coches particulares, como por vehículos comerciales, flotas especializadas, vehículos de transporte colectivo, etc.
<b>3.- Tipo impositivo:</b>	1.- El tipo del impuesto especial aplicable al bioetanol no superará el 10% del tipo del impuesto especial aplicable a la gasolina sin plomo en el Estado miembro considerado. 2.- El tipo del impuesto especial aplicable al metanol no superará el 10% del tipo del impuesto especial aplicable a la gasolina sin plomo en el estado Miembro considerado. 3.-El tipo del impuesto especial aplicable a los aceites vegetales, hayan sido o no sometidos a modificación química, no superará el 10% del tipo del impuesto especial aplicable al gasóleo de automoción en el Estado Miembro considerado.
<b>4.- Observaciones:</b>	La característica de este impuesto, es que cada Estado Miembro pueda fijar libremente el tipo impositivo entre un 0 y un 10 % de la referencia correspondiente <sup>10</sup> .

Fuente: COM (90) 434 final – Propuesta de Directiva del Consejo relativa a la armonización de las estructuras del impuesto especial sobre los hidrocarburos, COM (89) 551 final –"Nuevo enfoque de la Comisión en materia de tipos impositivos de los impuestos especiales", COM (92) 36 final :11.

<sup>10</sup>COM (89) 526 final - Propuesta de Directiva del Consejo relativa a la aproximación de los tipos del impuesto especial sobre los hidrocarburos  
COM (91) 43 final - propuesta de Directiva del Consejo por la que se fijan determinados tipos del impuesto especial y determinados tipos objetivo del impuesto especial sobre los hidrocarburos

#### 1.4.-Exenciones y Reducciones para la energía renovable

Los Países Desarrollados podrán aplicar las exenciones o reducciones para proyectos de energía renovable a partir del 2.000, mediante la devolución total o parcial del impuesto, con la finalidad de reducir los costos de nuevos proyectos y diversificar su utilización en los países en vías de desarrollo:

- a) Los productos energéticos utilizados bajo control fiscal en el ámbito de proyectos piloto para el desarrollo tecnológico de productos menos contaminantes o por lo que respecta a los combustibles obtenidos a partir de recursos renovables.
- b) las formas de energía de origen solar, eólico, maremotriz o geotérmico o que procedan de la conversión de la biomasa o de residuos;
- c) las formas de energía de origen hidráulico producidas en instalaciones hidroeléctricas con una capacidad inferior a 10 megavatios;
- d) el calor generado durante la producción de electricidad;
- e) los productos energéticos utilizados para el transporte de personas y mercancías por ferrocarril;
- f) el gas natural en los Estados miembros cuyo mercado de gas esté en proceso de desarrollo, siempre que la cuota del gas en el mercado nacional e industrial sea inferior al 10%, y por un periodo no superior a 10 años.

El consumo de energía en los sectores domésticos y de servicios puede reducirse significativamente mediante la mejora general de la intensidad energética y una mayor utilización (tanto modernizando los edificios existentes como equipando los nuevos) de fuentes renovables como la energía solar.

Para promover la utilización de la fuentes de energía renovables en el sector de la construcción (tanto en el envoltorio del edificio como en la calefacción, el alumbrado, la ventilación, el acondicionamiento de aire, productos de construcción, nuevos materiales de construcción, etc.), se proponen las siguientes medidas específicas<sup>11</sup>:

- Incluir las exigencias relativas a la utilización de la energía solar para la calefacción y el acondicionamiento de aire en el procedimiento de aprobación de los edificios según las disposiciones legales, administrativas y otras vigentes en materia de urbanismo y de ordenación del territorio.
- Fomentar la utilización de ventanas altamente aislantes, fachadas solares, sistemas de ventilación natural y persianas en los edificios nuevos y renovados;
- Fomentar para la calefacción, el acondicionamiento de aire y la producción de agua caliente, sistemas solares activos como los captadores solares, la calefacción geotérmica o las bombas de calor;
- Fomentar la energía solar pasiva para la calefacción y el acondicionamiento de aire;
- Incentivar la integración de los sistemas fotovoltaicos en los edificios (tejados y fachadas) y en los lugares públicos;

Tarifar la venta de electricidad fotovoltaica a los distribuidores de electricidad por parte de clientes privados de forma que permita la utilización de un sistema de recuento directo reversible.

#### 2.- ENFOQUE INTERVENCIONISTA Y DE MERCADO

Estos enfoques, se han desarrollado con el propósito de alcanzar el nivel óptimo de externalidad negativa, los cuales son:

- a)Fijación de normas ambientales (environmental standards),
- b)Fijación de subsidios para reducir la contaminación, y
- c)Emisión de permisos de contaminación (marketable permits).

<sup>11</sup> COM(97) 599 final Bruselas 26.11.1997 "Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables". 20.

- d) las "burbujas"
- e) el sistema de emisiones netas o redes de control ("netting").
- f) el sistema de compensaciones,
- g) los depósitos de emisión y los "bancos de polución".

a) El primer procedimiento consiste en fijar una norma que establece la cantidad máxima de contaminación que se permite emitir al correspondiente agente contaminante (OECD, 1991:15). Dentro de nuestro esquema de análisis, la fijación de una norma ambiental consistirá en fijar la máxima cantidad de output que se le permite producir al correspondiente agente contaminante. Uno de los problemas que conduce a la aplicación de este tipo de enfoque reside en la enorme dificultad de que la fijación de la norma conduzca a una solución eficiente.

b) El segundo, la fijación de subsidios pretendiendo estimular al agente contaminante a que invierta en equipos que permitan eliminar, o al menos reducir, la contaminación. En la práctica (países del Este de Europa), se asigna el subsidio a aquellas empresas que contaminan por debajo de un determinado nivel. Pearce & Turner (1990, págs. 107-109) han apuntado que este tipo de sistema puede alterar las condiciones de entrada y salida de empresas en una determinada industria, generando a medio plazo un incremento de la cantidad total de contaminación emitida, y,

c) El tercer procedimiento, el concepto de permisos de contaminación fue introducido por Dales (1968) a., Baumol & Oates (1988) a., y Pearce & Turner (1990, caps. 7-8) a., la idea de este enfoque consiste en emitir un número de permisos igual al nivel óptimo de producción. Estos permisos se pueden comprar o vender en un mercado establecido. La curva de oferta de ese mercado es perfectamente inelástica y coincide con el nivel socialmente óptimo de producción  $x$ . La idea teórica de Dales se ha desarrollado considerablemente, existiendo hoy en día - principalmente en Estados Unidos, algunas experiencias en las que se aplica este procedimiento.

El indudable atractivo de este sistema debe tomarse con ciertas precauciones. Así, para que una emisión de permisos comercializables funcione eficientemente, es necesario que exista una diversidad en la estructura de costes de reducción de las emisiones entre las diferentes empresas que forman la industria. Resulta obvio que conforme los costes de reducción sean más homogéneos, las ventajas potenciales que se consiguen a través del intercambio se disipan. También debe de apuntarse que si las empresas con costes de reducción más altos se encuentran ubicadas en una misma zona geográfica, el sistema de permisos puede generar elevadas concentraciones geográficas de contaminación, lo cual no parece que sea en absoluto deseable.

d) Las burbujas; consiste en colocar una "burbuja" figurada (OECD, 1991<sup>12</sup>), sobre la planta de una empresa o sobre un área geográfica, tratándola como si fuera una única fuente de emisiones, aunque contenga varias fuentes contaminadoras (varias chimeneas). La Administración fija un límite a las emisiones en conjunto de la planta o del área contenida en la "burbuja", permitiendo a los agentes contaminadores que libremente asignen la reducción de la polución entre las diversas fuentes existentes. (o lográndola en cualquier punto de su proceso de producción), con la sola condición que se respete el límite global establecido). Los programas de "burbujas" pueden considerar una planta, varias plantas de una empresa o varias plantas de diferentes empresas.

e) Los sistemas de emisiones netas ("netting")

Es similar a la "burbuja", pero relativo a los focos contaminadores existentes que van a ser modificados y que desean evitar la normativa más rigurosa que tendrían que cumplir si se les

<sup>12</sup>OECD, 1991, Environmental Policy: How to Apply Economic Instruments pág.18-19

calificara como nuevas fuentes<sup>13</sup> y, quedar sujetas a estándares más estrictos.(Pearce y Turner,1990; pág.118).

f) Los sistemas de compensación, Se autoriza nuevas fuentes de emisión (bien sean de plantas existentes o bien de nueva creación), en áreas donde no se cumplen los estándares de calidad ambiental, siempre que la contaminación que ocasionan sea compensada, mediante reducciones en las emisiones de los focos contaminadores que ya venían emitiendo<sup>14</sup>.

g) Los depósitos de emisión y los bancos de polución ("banking"); mediante este instrumento un contaminador puede reducir sus emisiones por debajo de los niveles fijados por la Administración, y luego depositar esas reducciones, o una parte de las mismas, en una cámara de compensación. los depósitos actúan como "créditos" cuyo titular puede utilizar en el futuro o transferirlos a otros agentes. Si sólo una fracción de la reducción de las emisiones es depositable, como suele aplicarse normalmente, se consigue una mejora de la calidad ambiental (Franco Sala, 1995:145).

En síntesis se aprecia que la herramienta fiscal se convierte en el instrumento más prometedor a coactivo, finalista y de doble dividendo, el que presionará para el funcionamiento de los demás instrumentos económicos y de mercado, permitiendo en un futuro la reducción de las emisiones a nivel global, la introducción de tecnologías limpias al mercado y la creación de certificados de emisión negociables - este último permite una reducción en los costos a través de la comercialización de la contaminación -, así mismo permite la creación de impuestos diferenciales para los productos no contaminantes, situación que favorece en la obtención de precios diferenciales para los productos ecológicos.

Con el tiempo se ha visto que, las políticas de imposición deben ser apoyadas con otro tipo de instrumentos como las políticas de acuerdos, negociación, compensación y disuasión, como sucede en países más desarrollados.

### 3.- APPLICACIÓN IMPOSITIVA AMBIENTAL Y DE MERCADO, EN BOLIVIA

Según Klaus Vogel<sup>15</sup>: "Hace ya algún tiempo que, tanto el legislador como la Administración, han aprendido a aplicar, métodos de imposición tributaria más sutiles a través de los cuales, ejercer su influencia sobre los ciudadanos. Si en lugar de mandatos y órdenes se ofrecen ventajas garantizadas o desventajas previstas (como, por ejemplo, el otorgamiento de incentivos, subvenciones, etc., o el establecimiento de tributos sobre determinados negocios o productos) la posición del ciudadano tiene una apariencia de "Libertad", esto hace que los instrumentos a aplicar, sean versátiles e intercambiables".

Para apoyar la definición de aplicar una imposición tributaria más sutil, que garantice una posición de libertad en el ciudadano, se deberá pensar que la protección de los recursos naturales, es beneficioso tanto para el ciudadano, como las futuras generaciones, las que podrían gozar de los mismos o mejores beneficios sociales y naturales en el futuro.

De acuerdo a Gago Rodríguez y Labandeira<sup>16</sup> y Guervos Maíllo<sup>17</sup>, los actuales sistemas fiscales fueron definidos en una época en la que los problemas medioambientales no eran percibidos ni evaluados en toda su intensidad.

<sup>13</sup>A los nuevos focos de contaminación se les impone la aplicación de la mejor tecnología de control disponible, que permita reducir la tasa de emisiones y llegar a la más baja posible. Ello implica una normativa más rigurosa para las nuevas fuentes que para las antiguas

<sup>14</sup>Franco Sala Luis (1995), Política Económica del medio Ambiente pág 144

<sup>15</sup>Klaus Vogel "La Hacienda Pública y el Derecho Constitucional", HPE núm 59, 1979, p.19 se cita en los Impuestos autonómicos de carácter extrafiscal, Luis Manuel Adolfo Gonzales,1995 45.

<sup>16</sup>cit pos , Alberto Gago Rodríguez y Xavier Labandeira Villot, 1995, Palau 14 Nro 23, "Instrumentos Tributarios, para las políticas de medio ambiente" 246

<sup>17</sup>cit. pos , María Angeles Guervos Mailllo, 1996, Revista Impuestos Nro.9,"Los Recargos Tributarios Autonómicos, como instrumentos de protección ambiental": 124

En Bolivia, antes de introducir nuevos impuestos indirectos medioambientales (cánones, tasas, etc.) en los sectores de energía, transportes, agricultura, industria, hay que introducir al Sistema fiscal existente, medidas que ejerzan un efecto de impacto sobre el medio ambiente<sup>18</sup>.

Veamos algunos ejemplos de medidas que conviene examinar:

- Gravaciones fiscales agrícolas<sup>19</sup>. Aplicación de gravámenes sobre las empresas madereras por la explotación de zonas humedas y boscosas, sobre su no conservación y excesivo aprovechamiento para que su recaudación pueda ser destinada quizá a la financiación de medidas de mitigación, fomentando la extensión de las zonas forestadas a través de un aprovechamiento más racional de los bosques;

-Incentivos fiscales a las industrias que fomenten el empleo de autobuses para uso del personal al ingreso y salida del trabajo en una industria, disminuyendo los atascos en horas punta.

-Gravaciones fiscales en zonas mineras : hectáreas de escombrera, por explotaciones mineras abandonadas, que tienen una incidencia negativa sobre los recursos en zonas que puedan ser rehabilitadas a húmedas, para plantar árboles y rehabilitar la zona como bosques y pastizales<sup>20</sup>.

La incorporación ecológica en el Sistema Fiscal, sirve como solución que actúan sobre las emisiones como lo afirma la OCDE<sup>21</sup>, y plantea procesos de integración y compatibilidad de las políticas fiscales actuales y procedimientos administrativos, permitiendo una asimilación rápida, para la realización de los propósitos medioambientales. A su vez permite que los costos administrativos estatales no se vean incrementados, al utilizar los mismos procedimientos fiscales de recaudación.

La elección de un instrumento fiscal depende de la importancia, en cada caso particular, de toda una serie de consideraciones.

Resulta mucho más lógico, y técnicamente más correcto, a través de una nueva ley de Reforma Fiscal., proceder a la modificación de la legislación en la cual se regula el tributo, que mantener intacta su estructura o establecer sobre el mismo un recargo.

Así mismo se propone en el presente trabajo que, los niveles tolerables de contaminación deberían ser autorizados por el Ministerio de Desarrollo Sostenible/ Viceministerio de Medio Ambiente Recursos Naturales y Desarrollo Forestal en coordinación con otros sectores como Industria, Energía, Minería, Transporte, Agricultura, etc., Prefecturas y Gobiernos Municipales y sus Unidades o Departamentos de Medio Ambiente (Laboratorios de Medición y Control de la Contaminación), a través de informes extendidos por técnicos especializados o peritos en análisis de sustancias contaminantes y nocivas que afectan a la salud de la población, con la finalidad de establecer cánones, tasas y demás instrumentos fiscales o de mercado

Informes que deberían adjuntar los contribuyentes a los Modelos de declaración del impuesto que corresponda pagar en las fechas establecidas incluyendo impuestos, cánones o tasas medioambientales, con el objeto de solicitar impuestos diferenciales o justificar las deducciones realizadas en su base imponible o en sus cuotas, en los casos en los que rebasen el límite del nivel tolerable de contaminación, deberían reflejar en sus declaraciones el pago de las multas, sanciones o penalidades. Para obtener un coordinado control y evaluación de los datos técnicos de las emisiones y los pagos de las ecotasas recaudados por los Municipios, estos deberán estar conectados a la red del Servicio Nacional de Impuestos Internos con el propósito de actualizar y comparar las declaraciones y liquidaciones correspondientes.

<sup>18</sup>Robert U Ayres, Cronología. 1994, "Necesidad de Una Reforma Fiscal" 86.

<sup>19</sup>David W Pearce, R. Kerry Turner, Traductores - Carlos Abad Balboa y Pablo Campos Palacín, 1995, "Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente" 415.

<sup>20</sup>Revista Europa Minera,1993, "Restauración Minas a Cielo Abierto", Edición EMS/Publicaciones, Madrid 25

<sup>21</sup>Cfr. OCDE,1993:35.

Otras gravaciones a considerar serían :

### **Protección del Medio Ambiente**

Como novedad, deberá establecerse un incentivo fiscal destinado a las inversiones que tienen por objeto la protección del medio ambiente

#### **Precisiones .-**

1) Los bienes de activo material pueden ser nuevos o usados. Deben consistir en instalaciones que eviten la contaminación atmosférica procedente de instalaciones industriales, o bien, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas así como la reducción, recuperación o tratamiento de residuos industriales para el cumplimiento o mejora de la normativa vigente en estas materias.

2) Las inversiones deben estar incluidas en programas, convenios o acuerdos con la Administración competente en materia de medio ambiente quién deberá expedir la certificación de la convalidación de la inversión.

### **Los Gastos en I&D**

Para que un gasto pueda considerarse como aplicado a una actividad de I+D deberá cumplir una serie de requisitos establecidos por la norma, los cuales son:

a) La actividad de i+D deberá efectuarse en Bolivia, sin perjuicio de que para la misma se adquieran elementos o equipos extranjeros o bien se utilice personal investigador no residente en Bolivia

b) Los gastos han de pertenecer a alguna de estas categorías:

- los de amortización del inmovilizado material e inmaterial aplicado a la actividad de i+D,
- los de personal devengado por los investigadores, auxiliares técnicos y personal cualificado adscritos a un proyecto de investigación;
- los de materias primas y aprovisionamientos;
- los de servicios exteriores y suministros utilizados.

También tendrán la consideración de gastos de i+D las cantidades pagadas a un tercero que realiza la actividad por encargo del sujeto pasivo, bien de forma individual o conjuntamente con otras entidades, siempre que la actividad de i+D se desarrolle en Bolivia.

#### **Presisiones<sup>22</sup>:**

- La conclusión con o sin éxito del programa de i+D no deberá influir en la deducción, como tampoco en el resultado del mismo que sea o no susceptible de protección jurídica.
- Los activos fijos que se afecten a la actividad del i+D pueden ser tanto nuevos como usados. No obstante, los activos usados no pueden haberse acogido en otra entidad a ninguna otra deducción por inversiones sobre el mismo activo.
- Los donativos efectuados por una empresa a una fundación que cuenta con fondos públicos y privados con la finalidad de promocionar y potenciar la investigación, deberán acogerse a la deducción por inversiones en i+D, siendo esta la deducción aplicable la que corresponde por tal donativo.

### **Certificados de Comercialización del CO2**

Los certificados de emisión son cuotas asignadas a cada contaminador por la autoridad competente, creándose un mercado donde tanto los oferentes como los demandantes negocian la comercialización de la contaminación en este caso el CO2, los oferentes tienen el potencial de capturar el dióxido de carbono a través de la creación de sumideros de carbono en los bosques

<sup>22</sup> Memento Práctico Fiscal - 449/ 3190, 1997

y obtener su certificación por el Organismo ambiental competente y los demandantes tienen la necesidad de comprar los certificados del CO<sub>2</sub>, con la finalidad de reducir sus niveles de emisión de CO<sub>2</sub>, reducción comprometida ante Naciones Unidas y el Protocolo de Kioto.

El protocolo de Kioto funciona a través de dos mecanismos de Flexibilidad uno el de Implementación Conjunta (instrumento que permite la comercialización de la Contaminación (CO<sub>2</sub>) entre países Desarrollados del Anexo II ) y el otro Mecanismo de Desarrollo Limpio (permite financiar proyectos de tecnología limpia -generar sumideros de carbón que incrementan la masa boscosa por la tecnología utilizad- para capturar CO<sub>2</sub>), en el que tienen actuación los Países en vías de Desarrollo.

Los proyectos para capturar CO<sub>2</sub> del bosque se realizan de dos maneras ; sumideros de regeneración natural de los bosques (menor inversión) y sumideros que generan formación de masa boscosa de forma más rápida, ayudados por tecnología (mayor inversión).

Para los empresarios madereros el aprovechamiento de los recursos madereros y no madereros es una fuente de ingresos segura. Al incorporar en sus planes de comercialización la venta de certificados de CO<sub>2</sub> capturado, más la venta de los productos maderables y no maderables, las empresas pueden incrementar notablemente sus ingresos y al mismo tiempo generar ingreso de divisas al país, por invertir y conseguir financiamiento para actividades de aprovechamiento forestal.

El llevar adelante este instrumento de comercialización, ayudaría a mitigar el efecto que tienen los GEI en el cambio climático que viene afrontando el planeta y lograría controlar el problema de la quema y chaqueo descontrolado en los países en Vías de Desarrollo.

**INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL HIDROSISTEMA AMAZÓNICO  
Y SUS IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA  
CASO DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN BOLIVIA :  
CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS Y RECOMENDACIONES**

Laurence MAURICE BOURGOIN <sup>1</sup>, Lucia ALANOCA <sup>2</sup>, Irma QUIROGA <sup>2</sup> Jaime CHINCHEROS  
<sup>3</sup> y Pascal FRAIZY <sup>4</sup>

<sup>1</sup>. IRD-Bolivia CP 9214 La Paz E-mail : [lmaurice@mail.megalink.com](mailto:lmaurice@mail.megalink.com)

<sup>2</sup>, UMSA-IIQ Campus Universitario Calle 27 Cota Cota, CP 330, La Paz

<sup>3</sup>, UMSA-IE Laboratorio de Calidad Ambiental , CP 10077, La Paz

<sup>4</sup>, IRD-Bolivie CP 9214 La Paz

**Resumen**

Las actividades de origen antrópica y específicamente la actividad minera en Bolivia, tienen graves consecuencias en el hidrosistema Amazónico y en su cadena trófica. Esas actividades influyen los procesos naturales de erosión de varios tipos de suelos tropicales caracterizados por altas concentraciones en metales pesados causando la contaminación de numerosos ríos amazónicos.

Las concentraciones de mercurio analizado en los peces piscívoros colectados en los ríos Beni, Mamore y Madeira mostraron que el 70% están altamente contaminados, sobrepasando el valor límite de la OMS (1976) de  $0.5 \mu\text{g Hg g}^{-1}$  hasta cinco veces. Nuestros resultados muestran también que el mayor impacto del mercurio se manifiesta sobre la salud de las poblaciones que no trabajan directamente en actividades auríferas, pero que se alimentan regularmente de pescado.

Para enfrentar este problema, las principales recomendaciones que podemos formular son :

1. Informar y sensibilizar a los gobernadores
2. Educar y sensibilizar a las poblaciones ribereñas del río Beni
3. Recomendar el consumo regular de peces omnívoros y excepcional de peces carnívoros
4. Proponer técnicas alternativas de extracción del oro con un uso controlado del mercurio
5. Sensibilizar las poblaciones al hecho de que las actividades humanas como la minería, la deforestación, la construcción de carreteras o de embalse favorecen el proceso de erosión de los Andes y obviamente la contaminación de las aguas por mercurio y otros metales pesados

**INTRODUCCIÓN**

El rol histórico de Bolivia como un importante productor de estaño y plata ha sido debilitado en los últimos años debido a la crisis de los precios en el mercado mundial. Por consiguiente, la demanda de producción de oro fue expandida desde hace unos 30 años. Esta actividad en Bolivia está distribuida en tres áreas geográficas: 1) la cuenca amazónica del río Beni desde sus cabeceras andinas, donde la actividad comenzó en el periodo colonial y continúa hasta ahora. 2) el escudo Precámbrico al NE de Bolivia donde la actividad sigue el mismo modelo histórico. Y 3) la frontera con Brasil sobre el río Madera donde la actividad comenzó hace 20 años.

Ahora, la mayor parte de las actividades de explotación aurífera forman parte de lo que se llama la "pequeña minería". En los países en desarrollo, la pequeña minería juega un papel nada despreciable en la economía. Por su mecanización quasi-inexistente, la simplicidad de la técnicas, el bajo nivel técnico del personal, la pequeña minería está muy desarrollada en Bolivia y se ha convertido en una importante fuente de ingresos y de divisas. Pero los costos ambientales de una pequeña mina generalmente son mayores que los de una explotación mediana e industrial en relación a la producción (Wotruba et al., 1998). Un ejemplo bien estudiado en la Amazonía es la contaminación por mercurio (Hg) desechado al medio ambiente durante las operaciones de explotación aurífera.

La contaminación por mercurio en el medio ambiente es un problema creciente que concierne particularmente a las regiones tropicales como la Cuenca Amazónica. Se estima que en los años 1550 a 1880, cerca de 200,000 toneladas de mercurio fueron usadas en toda Sud América para separar el oro por amalgamación y desechadas al medio ambiente. En Bolivia, hemos estimado que durante las operaciones de extracción de oro, más de 330 toneladas de mercurio han sido desechadas al medio ambiente desde 1952. En las cuencas andinas del río Beni, en los ríos Tipuani, Mapiri y Kaka, se puede suponer que entre 250 hasta 500 kg de mercurio son utilizados cada año en Bolivia del cual 50 a 70% es desechado directamente en los ríos, los suelos y la atmósfera y puede viajar sobre centenas de kilómetros antes de contaminar otras cuencas por medio de las precipitaciones (Maurice-Bourgoin et al., 2000a).

Pero, las actividades mineras contaminan más el hidrosistema por la desviación del lecho de los ríos, por el relargage a los ríos de toneladas de aluviones manipulados durante las operaciones de extracción de oro, que durante el desecho directo de mercurio al medio ambiente.

No obstante, además de esa fuente humana, se han observado concentraciones de Hg muy elevadas en algunos suelos de la cuenca Amazónica, que sobrepasan hasta 10 veces las concentraciones medidas en los suelos de las regiones temperadas del hemisferio norte (Roulet et al., 1999). Se explica por la edad muy antigua de los suelos tropicales durante el cual acumularon el Hg emitido por la degasificación natural de la corteza terrestre y por las emisiones oceánicas. Este Hg es transportado en la atmósfera y al final se deposita por las precipitaciones en las cuencas de la amazonía.

## MATERIAL Y MÉTODO

Fueron realizadas varias campañas de colecta de agua, sedimentos, peces y cabellos humanos en la Cuenca Amazónica Boliviana, desde 1997. Los puntos de colecta están representados en la figura 1.

Se colectaron muestras de agua en toda la cuenca Amazónica Boliviana utilizando técnicas "Ultra-limpias" (Ahlers et al., 1990; Gaudet et al., 1995). Las muestras de agua se filtraron entre 1 y 6 horas después del muestreo bajo campana para evitar todo tipo de contaminación. La fracción disuelta estabilizada con HCl al 5% se conservó en frascos de Teflón.

Ochenta muestras de peces de origen, género, especie y hábitat conocidos fueron obtenidos por pescadores y algunos comprados en el mercado local de Rurrenabaque. Los peces fueron colectados desde noviembre 1997 hasta octubre 1999. Se separó una porción de la carne, en el filete, y se conservó congelado en nitrógeno líquido hasta el análisis químico.

Ciento treinta muestras de cabellos humanos fueron colectados de miembros de las comunidades indígenas, pescadores, mineros y personas que viven en la ribera del río Beni.

En aguas, los análisis se hicieron en triplicado por espectrometría de fluorescencia atómica, en Francia (Maurice-Bourgoin et al., 1997). La reproducibilidad fué de 0.1 a 2% y la exactitud fué de 5 pg. Los blancos de reactivo estuvieron en el mismo rango del límite de detección, fijados por el blanco de argón (5 pg Hg). Los blancos de ácido promediados de 8 pg l<sup>-1</sup> representan una contribución de 0.1% de las alícuotas de 10 ml analizados. La exactitud del análisis del

mercurio en la fracción particular estaba limitada por la desviación estandar de los blancos de membrana, tocados con 25 pg Hg.

Los análisis de Hg en las muestras de peces y cabellos humanos fueron realizados por espectrometría de Absorción Atómica acoplado a un generador de vapor frío CV-AAS (Perkin Elmer 3110) en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA, en La Paz. Los equipos fueron calibrados diariamente. La reproducibilidad (0.5 a 10%) fué controlado en triplicado e intercalibrado con muestras estandar proporcionados por the Swedish Food Administration y el IAEA. Los límites de detección para peces y cabello fueron de 10 y 35 ng g<sup>-1</sup> respectivamente.

## RESULTADOS

Los tres principales resultados científicos obtenidos en Bolivia (Maurice-Bourgoin et al., 1999 y 2000a) son:

1. Debido al régimen hidrológico, no son las aguas de los ríos andinos caracterizados por importantes actividades auríferas las más contaminadas, pero si son las aguas río abajo, en la llanura amazónica, desde el piedemonte (Rurrenabaque). Durante la época de lluvia, el proceso de erosión de los suelos es uno de los orígenes más importantes del enriquecimiento de las aguas de los ríos andinos con varios metales pesados, y en particular el mercurio (Maurice-Bourgoin et al., 2000b). Las partículas contaminadas que forman parte de los sólidos suspendidos de las aguas de superficie están transportadas desde las cabeceras andinas hasta la llanura Amazónica donde una parte esta depositada.
2. Aún cuando las concentraciones de mercurio en las partículas de las aguas estudiadas están en el rango de los valores naturales difundidas en la literatura, el 70% de los peces piscívoros colectados en la cuenca amazónica Boliviana exceden el límite permisible, mientras tanto las especies omnívoras no presentan concentraciones en mercurio superiores al límite de 0.5 µg Hg g<sup>-1</sup>. La distribución del mercurio en los peces depende de sus hábitos alimentarios. Las concentraciones de mercurio analizadas en especies omnívoras varían de 0.009 µg g<sup>-1</sup> en muestras de Jatara (*Mylossoma duriventre*) y de Tambaqui (*Colossoma macropomum*) hasta 0.193 µg g<sup>-1</sup> en una muestra de Giro (*Oxydoras* sp.). Las concentraciones encontradas en especies piscívoras varían de 0.327 µg g<sup>-1</sup> en un Pintado (*Pseudoplatystoma fasciatum*) hasta 2.304 µg Hg g<sup>-1</sup> en un Surubi (*Pseudoplatystoma tigrinum*) con un promedio de 1.1 µg Hg g<sup>-1</sup>. Los últimos resultados indican que las altas concentraciones de mercurio exceden los límites permisibles de la OMS (1976) hasta 5 veces (Fig. 2). No se observó, para una misma especie, correlación entre los pesos de los peces piscívoros y sus contenidos en mercurio, debido a la variabilidad de la disponibilidad de los recursos alimentarios, y también al proceso de migración de los peces durante las épocas de reproducción, bien conocida para los *Pseudoplatystoma tigrinum* y *fasciatum*.
3. No son las personas en contacto directo con el mercurio las que tienen daños irreversibles en la salud pero si son las poblaciones ribereñas, indígenas, aguas abajo, que consumen regularmente los peces contaminados. De los datos, resulta que las comunidades Indígenas Essejas alrededor de Rurrenabaque, presentan las mayores concentraciones de mercurio (6.34 - 24.50 µg g<sup>-1</sup>; promedio : 10.50). Esta población cuya dieta está en base a pescado es la que está expuesta a mayor riesgo de contaminación por mercurio. Hemos podido constatar que la última generación estudiada presenta concentraciones de mercurio 2 veces más altas que las de sus abuelos. Los resultados en niños de 3 y 5 años presentan valores de 15.65 y 14.68 µg g<sup>-1</sup> respectivamente. Eso confirma la contaminación de los niños ya *in*

utero. Excepcionalmente, en una familia ribereña del río Beni, se detectó altas concentraciones de mercurio debido a un consumo excesivo de peces de la zona de Rurrenabaque. En lo que concierne a los mineros que trabajan en las minas auriferas en las riberas del río Kaka, el rango de concentraciones en mercurio total varía de 0.40 a 0.70  $\mu\text{g g}^{-1}$ . El mercurio vapor inhalado durante la quema del amalgama es muy rápidamente eliminado del organismo por medio de la vía urinaria, lo cual explica los valores bajos analizados en sus cabellos.

## CONCLUSIONES

Los resultados revelan que la contaminación por mercurio afecta a zonas 150 km aguas más abajo de las zonas auriferas y no concierne directamente a las poblaciones que extraen oro pero si a las poblaciones ribereñas del río Beni que consumen regularmente peces piscívoros de la zona.

Eso plantea un importante problema. Como las actividades mineras en la región de Tipuani y K'aka están declinando, muchos mineros han optado por la pesca como recurso económico. Los peces constituyen una parte importante de la dieta de las poblaciones locales, especialmente en época de lluvias cuando los caminos son inundados y las poblaciones aisladas. Nuestros resultados muestran además la acumulación de mercurio en la cadena trófica.

Las actividades de origen antrópica como las actividades agrícolas o mineras en Bolivia, tienen graves consecuencias en el hidrosistema Amazónico y en su cadena trófica. Esas actividades favorecen y amplifican de manera considerable los procesos naturales de erosión de varios tipos de suelos tropicales caracterizados por altas concentraciones en metales pesados causando la contaminación de numerosos ríos amazónicos. La práctica más negativa es la deforestación de áreas naturales para preparar un área de explotación minera ó agrícola.

## RECOMENDACIONES

Para enfrentar este problema, las principales recomendaciones que podemos formular son :

1. Informar y sensibilizar a los gobernadores
2. Educar y sensibilizar a las poblaciones ribereñas del río Beni
3. Recomendar el consumo regular de peces omnívoros y excepcional de peces carnívoros
4. Proponer técnicas alternativas de extracción del oro con un uso controlado del mercurio
5. Sensibilizar a los mineros respecto al uso masivo de mercurio sobre los efectos sobre su salud y las consecuencias ocasionadas río abajo
6. Sensibilizar a las poblaciones al hecho de que la deforestación y la construcción de carreteras favorecen el proceso de erosión de los Andes y obviamente la contaminación de las aguas por mercurio y otros metales pesados
7. Evitar la construcción en la zona de Rurrenabaque de embalses que retienen el mercurio y contaminan toda la cadena trófica
8. Prever un monitoreo a mediano plazo de esta contaminación en la cuenca Amazónica Boliviana

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhers, W.W., Reid, M.R., Kim, J.P. & Hunter, K.A., 1990. Contamination-free sample collection and handling protocols for trace elements in natural freshwaters. Austr. J. Mar. Freshwater Res. 41, 713-720.

- Gaudet, C., Lingard, S., Cureton, P., Keenleyside, K., Smith, S. & Raju, G., 1995. Canadian environmental quality guidelines for mercury. *Water, Air and Soil Pollution* 80, 1149-1159.
- Maurice-Bourgoin L., Courau P., and Quintanilla J., 1997. Análisis del mercurio por Fluorescencia Atomica en los principales ríos de la cuenca amazónica boliviana. *Revista Boliviana de Química*, Vol.14 (1):42-51
- Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Guyot J.L. and Malm O., 1999. Mercury pollution in the upper Beni River basin, Bolivia. *AMBIO*, Vol. 28(4) :302-306.
- Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Chincherros J. and Courau P., 2000a. Mercury distribution in waters and fishes of the Upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *The Science of Total Environment*, in press.
- Maurice-Bourgoin L., Fraizy P., Alanoca L., Seyler P., and Guyot J.L., 2000b. Hydrological control on the temporal variability of mercury in surface waters of the Upper Madeira basin rivers, Bolivia. *25<sup>th</sup> Int. Conference on Heavy Metals, Michigan, 6 –8 of August, 2000*.
- Roulet M., Lucotte M., Farella N., Serique G., Coelho H., Sousa Passos C. J., Da Silva A de Jesus., Escabone De Andrade P., Mergler D., Guimaraes J.-R.D., Amorin M., 1999. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water Air, and Soil Pollution* 112: 297-313.
- Wotruba H., Hruschka F., Hentschel T. and Priester M., 1998. Manejo ambiental en la pequeña minería. Eds MEDMIN y COSUDE, La Paz, Bolivia, 302 p.

### Agradecimientos

En 1995, investigadores del IRD (ex-ORSTOM), el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo, en cooperación con universidades Bolivianas (UMSA-La Paz) y Brasileñas (UFRJ-Rio), han iniciado un estudio global de la hidrogeoquímica de la cuenca amazónica (Programas HiBAm y BIOCAB). Agradecemos a la Universidad Mayor de San Andres (La Paz) y la Universidad Federal do Rio de Janeiro por su ayuda y cooperación en la realización de este programa, y al FONAMA por el financiamiento del proyecto de estudio de la contaminación por Hg en la cuenca del río Beni. Quisieramos además agradecer a todas las personas ribereñas de los ríos K'aka, Tuichi, Quiquibey, Beni, Mamore y Madeira por su gentil colaboración al estudio y a Veterinarios Sin Fronteras que nos ha auspiciado el primer diagnóstico en la zona.

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo de agua, peces y cabellos en la cuenca Amazónica Boliviana.

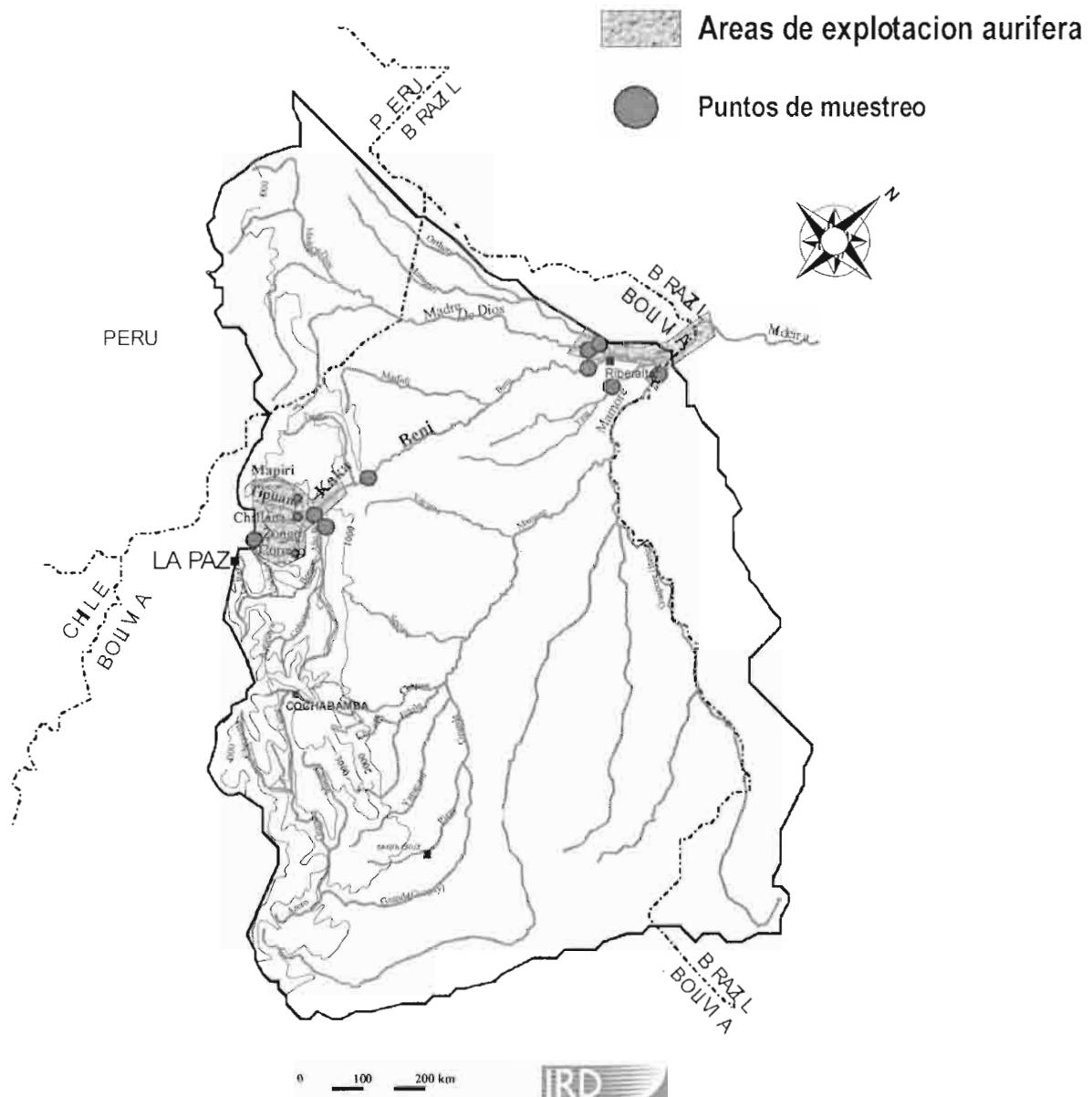


Figura 2. Concentraciones en mercurio obtenidos en especies de peces ictiófagos colectados en la cuenca del río Beni.

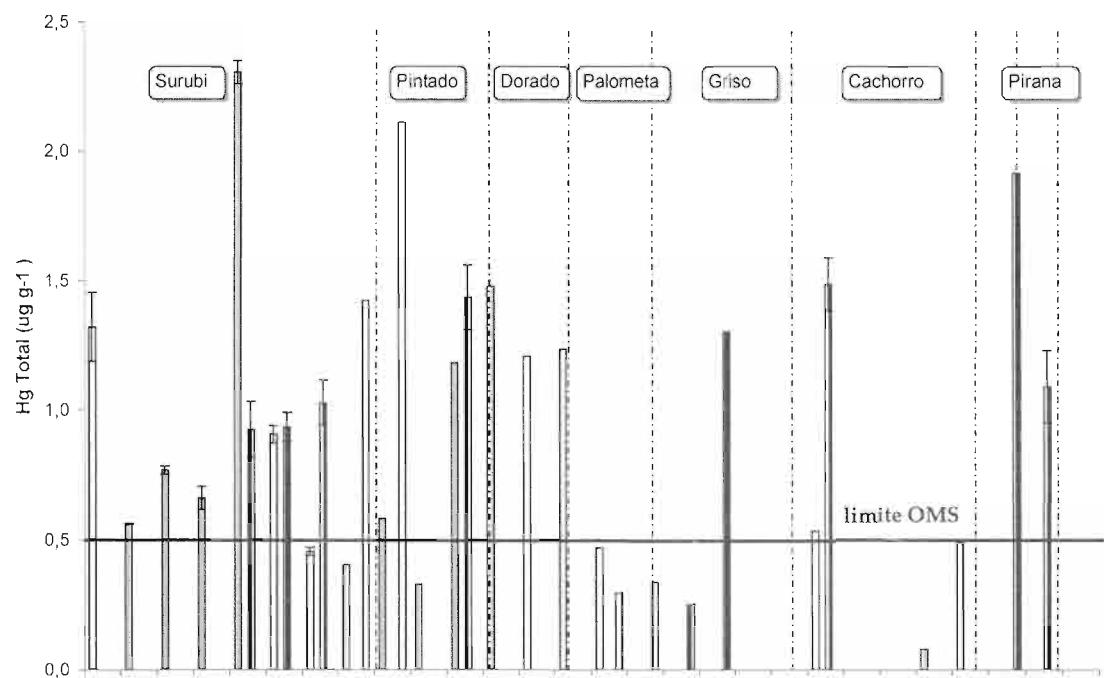
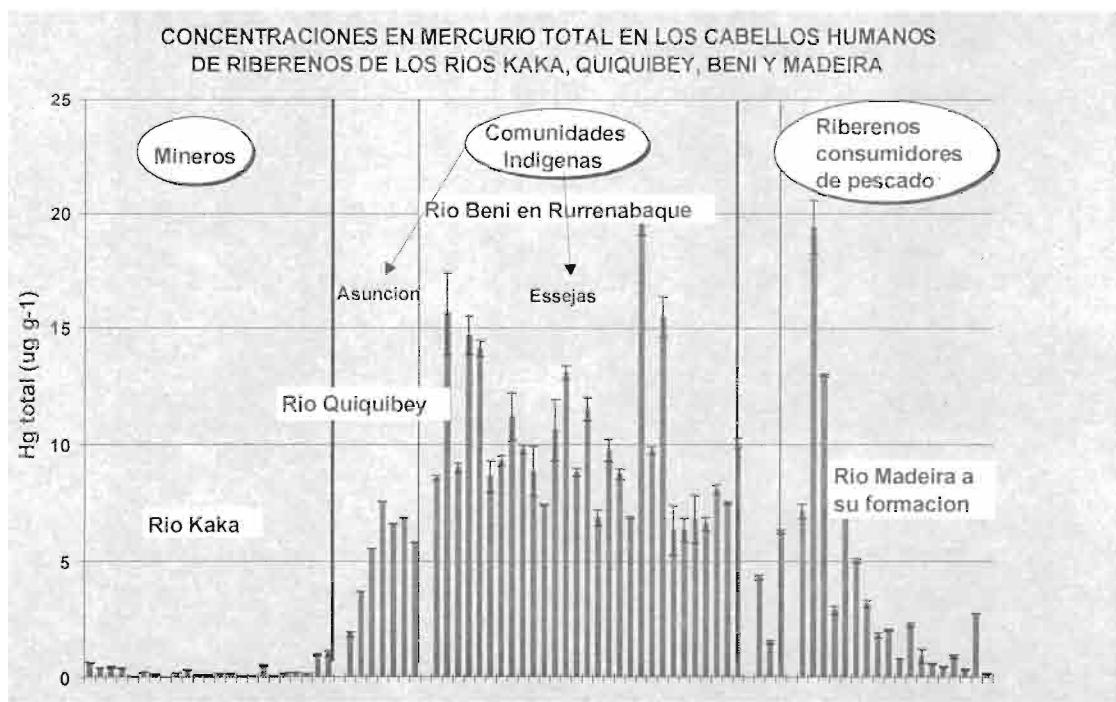


Figura 3. Concentraciones en mercurio analizados en cabellos humanos en la cuenca Amazonica Boliviana, desde las cabeceras andinas hasta el río Madeira.



## **Directrices de teoría social para el análisis de impacto ambiental ante cambios en la infraestructura vial de transportes**

Hugo Cesar Boero

Centro de Investigaciones en Cambios Globales – E-mail: cicg @yupimail com , Casilla 11152, La Paz-Bolivia

### **PRESENTACIÓN**

Considerando que la actividad prognóstica de evaluar los probables impactos sobre los subsistemas sociales que a partir de la construcción de un camino carretero por un área determinada por donde antes ningún camino principal pasaba, viene a ser muy distinta a la de evaluar predictivamente los impactos sociales que se generarían por las modificaciones a realizarse sobre un camino carretero preexistente en cuyas inmediaciones asentamientos poblacionales a concentraciones variables son registrables, el presente trabajo, a la luz de las necesidades determinadas por el “Estudio de Prefactibilidad de la Mejora y Construcción del Camino Potosí-Tarija”, recopila el cúmulo de reflexiones teóricas que internamente nos tocó realizar, a fin de poder establecer un sesgo apropiado de abordaje para encarar la evaluación de impacto ambiental que las modificaciones a realizarse sobre este camino antiguo determinarían sobre los subsistemas sociales dispuestos en su área de influencia.

En ese sentido, cabe anotar que en esta oportunidad, no recuperamos las conclusiones de la evaluación realizada, ni se incorpora información diagnóstica relativa al área de influencia social directa de dicho camino, sino que sólo nos abocamos a considerar y recuperar las reflexiones previas tal cual fueron planteadas en nuestro documento interno que, antes bien, desde el punto de vista de su estructura, responde a las necesidades de un típico cuerpo teórico en donde a más de responderse a la pregunta de hacia dónde dirigir la evaluación, se elabora un marco conceptual general para deducir datos, en este caso predictivos de situaciones resultantes singulares concretas que, en función de respetar la lógica específica del objeto específico, faculten realizar enjuiciamientos prognósticos ajustados al objeto de evaluar efectos expectables sobre los subsistemas sociales, a ser determinados, por la introducción de modificaciones sobre caminos carreteros preexistentes, y caracterizables por poseer asentamientos poblacionales consolidados a concentraciones variables en su entorno.

Por otra parte, la secuencia expositiva del texto es la siguiente: elevando a generalización algunos elementos importantes de la información empírica obtenida en el área por donde pasa el camino Potosí-Tarija, el trabajo comienza por proponer una solución teórica que “sin faltar a la verdad”, permita abordar el análisis de impacto desde la perspectiva de la teoría del equilibrio sistémico, estableciendo una conexión con la teoría propensivista que habilita pensar la programación física del espacio social, en base a leyes de probabilidad mutables sólo aplicables a casos singulares, y que varían en función del modo como varían las condiciones del medio. Enseguida, a través de un proceso de delimitación dirigido a decidir cuál es el ámbito fenoménico que circunscribe el área de interés al cual el análisis de impacto debe apuntar, la pregunta más general que guía el resto del enjuiciamiento prognóstico también surge. A partir de aquí se pregunta cuáles son los objetos que deben ser observados en específico a fin de responderla. La introducción de algunos elementos de teoría social vinculados a los conceptos de edificio y nivel de complejidad social, de vocación económica básica, de procesos de

aprovechamiento y/o apropiación de recursos estratégicos de cimentación social, de molécula de intercambio, de programación física del espacio social por el camino en vinculación con la concepción todavía cualitativa de espacios fisiográficos de programación propensivista, y de desplazamientos poblacionales racionales con arreglo a fines sobre la base de estímulos (taxias), deriva entonces en la identificación de los componentes estructurales y estructurantes que constituyen cimientos clave para el sostenimiento de los edificios sociales consolidados, y en la posibilidad de poder evaluar eficazmente y no de un modo superficial las capacidades de adaptación de los subsistemas sociales consolidados ante posibles cambios en la infraestructura vial de transportes.

### **1. Ingreso a la formulación crítica del sesgo teórico apropiado para el análisis de impacto**

Empíricamente visto el camino Potosí-Tarija, constituye un camino cuya antigüedad es por el momento desconocida al tenerse indicios importantes que inducen a afirmar que data de tiempos preincaicos. La ruta fue utilizada durante la colonia para proveer de alimentos y madera a las minas de Potosí. La presencia de un puente fechado de 1933 en las inmediaciones de Camargo hacia el norte, nos da una indicación de que el tránsito de automotores por la ruta no es menor a 67 años. Esto involucra que la reacomodación de los sistemas sociales a las nuevas circunstancias de transporte y flujos de viajantes durante el período que va desde esa fecha hasta nuestros días, ha tenido tiempo suficiente para asumir quizás más de una vez, configuraciones tendentes a ser estables con respecto al uso y vida en torno y relación al camino.

Esto último tiene implicaciones importantes para el modo cómo debe ser encarado el análisis de impacto que la puesta en ejecución del Proyecto de Construcción y Mejora del Camino Potosí-Tarija tendería a determinar sobre los sistemas sociales existentes en el marco de su área de influencia directa, puesto que permite posicionar el ojo teórico bajo la perspectiva de la teoría del equilibrio como punto de partida referencial respecto al cual poder deducir predictivamente la reacción de los sistemas sociales constituidos ante los cambios introducidos por las actividades y resultados de las obras de ingeniería a realizarse en el área de estudio.

Sin embargo, el supuesto del equilibrio sistémico como supuesto analítico de base para comprender la dinámica y estructuración de los objetos sociales, ha sido puesto más de una vez en tela de juicio dentro del ámbito de las ciencias sociales, al ser objeto de debate constante entre aquellos que conciben el abordaje de la realidad social a través de la focalización de los fenómenos de la mutación social y el equilibrio transitorios entre crisis de los sistemas, y aquellos que se inclinan más bien por la teoría del puro equilibrio pensando su objeto a través de sistemas cerrados y permanentes. Por otra parte, a partir de las observaciones de terreno realizadas en el área de estudio, preguntarnos si pensar las condiciones iniciales del medio como una sumatoria y/o combinación de estados de cosas en proceso de permanencia no nos conduce más bien a obtener una visión ficticia de las condiciones del medio, exige de nosotros una solución teórica apropiada, que nos habilite para realizar análisis de impacto pensando una situación inicial "sin proyecto" y una situación final "con proyecto".

### **2. Elementos para concebir el equilibrio sistémico-estructural en procesos dinámicos**

El hecho de que sin duda partamos del postulado de que las relaciones y procesos poblacionales, sociales y económicos que se realizan en relación al uso y presencia del camino Potosí-Tarija son relaciones y procesos consolidados bajo formas estructuradas de equilibrio

actual, nos obliga a explicitar brevemente las condiciones teóricas bajo las cuales se concibe dicho equilibrio, a fin de que tal postulado en el presente contexto no aparezca como un producto voluntarista que se impone *a priori*, y que quedemos más bien en el entendido de que su asunción constituye no más que el resultado del ejercicio de conectar la reflexión con los principios universales que gobiernan la dinámica del universo.

De este modo, teniendo en cuenta que por "sistema" se entiende una estructura activa y en movimiento produciendo resultados específicos dentro del esquema de un rango de variabilidad que a ese respecto le es propio, y que "ambiente" o "medio" es el conjunto interconectado de los sistemas concomitados activos manifestando resultados, está dado expresar lo siguiente:

Sea que los procesos sociales y poblacionales que se vienen dando en el área de estudio constituyan actualmente expresiones de fenómenos de estructuración, conservación o de desestructuración de actuales estados de cosas hacia nuevos estados de cosas, de sus particulares tendencias evolutivas se puede decir, que éstas no son sino resultado de las particulares propensiones determinadas por las estructuras vigentes que programan el medio. Si se entiende que la manifestación de un tipo de sucesos (migración, sustitución de unas poblaciones por otras, actividad agrícola intensiva y/o extensiva, asentamiento sobre unos u otros espacios, compra-venta, crisis de industrias locales tradicionales u otro tipo de eventos) sólo puede darse a condición de que exista la configuración estructural histórica específica apropiada para manifestar y/o sostener tal tipo de sucesos y no otro, esto es, independientemente de todo aquello que el observador pueda o no desear, podemos decir entonces que a cada configuración estructural productora de un tipo de sucesos dado, biyectivamente le corresponde un estado de equilibrio respecto del cual, los sucesos así resultantes, son sólo la consecuencia necesaria.

Al lapso temporal que caracteriza la manifestación regular de un tipo específico de sucesos observables dados, se le conoce bajo el nombre de "actualidad estructural", y del "equilibrio estructural" que lo permite y/o determina, se dice que su vigencia dura lo que mide "esa" actualidad prolongada en el tiempo. A toda "actualidad estructural" ha de sucederle necesariamente otra "actualidad estructural" toda vez que el proceso regular de manifestación de un tipo de sucesos sea sustituida por el proceso regular de manifestación de otro tipo de sucesos. Así vistas las cosas, y al no poder nada suceder sin bastante razón o sin que sea posible (Leibnitz), todo desequilibrio tiene por base a un equilibrio, y todo caos queda confinado a límites. Las consecuencias de esta última noción nos remiten a la teoría de la probabilidad, y conducen al entendido de que toda distribución de probabilidad referida a fenómenos, constituye una ley histórica transitoria que rige sobre el modo tendencial de suceder ciertos sucesos en condiciones estructurantes históricas particulares dadas y actuales.

La posibilidad de emprender una analítica de impacto ambiental en la faceta referida a los subsistemas sociales y a la luz de los cambios a producirse sobre la carretera Potosí-Tarija, queda entonces habilitada para ser realizada tomando como punto de partida el supuesto del equilibrio sistémico-estructural sin faltar a la verdad, o lo que es mejor decir, sin darnos pie a caer en el error de ilusionarnos con el hecho de que vistos desde la perspectiva de la forma de su movimiento, todos los procesos que se estuvieran realizando en el área de estudio estuvieran obedeciendo a una única modalidad tendencial, o bien de puro cambio, o bien de puro no-cambio. Lo único que debemos recordar entonces, es que para todo cambio y para todo no-cambio, un equilibrio estructural que permita y determine las formas tendenciales particulares actuales de realizarse estos movimientos, es necesario.

### **3. Criterios aplicados para abordar la evaluación de impacto ambiental en la faceta social.**

Para el análisis de impacto ambiental en la faceta social sobre el área de estudio partimos de la siguiente proposición:

Determinados por la concomitancia de la multiplicidad de factores que intervienen en la configuración de los ambientes específicos que hacen al área de estudio incluyendo al camino Potosí-Tarija en tanto que factor programador del espacio social, los procesos y relaciones sociales, poblacionales y económicos que se realizan en relación al uso y presencia del camino Potosí-Tarija dentro del marco del área de estudio, son relaciones y procesos consolidados bajo formas de equilibrio tendencialmente proyectadas a la profundización de sus propias tendencias evolutivas en el largo plazo.

Esta otra proposición, por su parte, nos habilita para delimitar el ámbito fenoménico sobre el cual la actividad de evaluación de impacto recae:

De estos procesos, a) algunos están vinculados a tendencias de disolución de ciertas estructuras con la consiguiente propensión a que los estados de cosas que éstas estuvieran favoreciendo suceder tiendan a ir desapareciendo; b) otros se caracterizan por la tendencia a conservar la configuración de ciertas estructuras, y por lo tanto al mantenimiento del vigor estructural favorecedor de la conservación y/o replicación actual de ciertos estados de cosas y los tipos de sucesos que los caracterizan; y finalmente c) otros se vinculan a la generación de nuevas condiciones estructurales y estructurantes que favorecen la emergencia y consolidación de formas novedosas de suceder y hacerse las cosas.

La proposición que sigue nos permite a su vez decidir cuáles de estos tres tipos de procesos son de especial interés desde el punto de vista de evaluar el impacto de las obras de ingeniería a realizarse en el área de estudio sobre los subsistemas sociales:

Debido a que el camino Potosí-Tarija es un camino cuya presencia en el área de estudio data de más de medio siglo, lo que actualmente desde el punto de vista de la dinámica social se pudiera estar desestructurando en su entorno, lo viene haciendo con independencia de la presencia del camino toda vez que éste constituye un factor constante interviniendo programador del medio social. De los fenómenos vinculados a movimientos de conservación y/o de emergencia de actuales estados de cosas no está dado decir lo mismo, pudiéndose afirmar que al menos algunos de ellos tienen a la presencia del camino como un factor determinante para su modo de suceder y su acaecencia.

De esta forma, tomando en cuenta que junto con sus resultados, las actividades de construcción y mejora del camino Potosí-Tarija a realizarse sobre la base de un camino que desde ya existe, no han de tener consecuencias sobre aquellos procesos que se realizan con independencia de la presencia del camino, para el análisis de impacto ambiental en la faceta social, sólo cabe interesarse por los fenómenos vinculados a movimientos de conservación y/o de emergencia de actuales estados de cosas condicionados por la presencia del camino tal como lo conocemos ahora, puesto que en relación a ellos se encuentran los aspectos socialmente sensibles del medio que serán especialmente reactivos a cambios en la infraestructura vial de transportes.

Así vistas las cosas, queda claro que los factores cuya sensibilidad constituye objeto de evaluación, no son los fenómenos mirados desde la perspectiva de sus manifestaciones

accidentales o de superficie, sino más bien las estructuras de base que determinan los modos de realizarse éstos desde la perspectiva de su actividad actual.

Sin embargo, el grado de complejidad en estructuras sociales (del cual no es posible decir que ningún cuerpo social pueda sustraerse de tener uno mayor o menor) y que en este caso queda implícito en la expresión general “interesarse por los fenómenos vinculados a movimientos de conservación y/o de emergencia de actuales estados de cosas condicionados por la presencia del camino en su formato de presentación actual”, puede hacerse más manejable en función de nuestros fines, toda vez que quedando en el entendido de que en la sociedad existen estructuras sociales dependientes de la existencia de otras estructuras sociales y materiales, reducimos la anterior expresión a esta otra: “atacar sólo los aspectos que afectados por la intervención estructurante del camino, atañen a las condiciones necesarias que en el área de estudio dan con la posibilidad de que los procesos sociales allí encontrados existan según los niveles de complejidad hallados”.

La pregunta para realizar la evaluación de impacto se vincula entonces a *responder si los elementos estructurantes que sobre la base del uso y presencia del camino se encuentran en el fundamento sostenedor del resto del edificio social, tienden a la homeostasis o no toda vez que cambios en la infraestructura de transportes que afecta al medio puedan verse registrados en el área de estudio.*

De donde la metodología de evaluación de impacto sobre los subsistemas sociales viene regulada a través del siguiente criterio general:

Dada una población dispuesta y orientada a permanecer en un área de estudio también dada que se encuentra influenciada por la presencia de un camino transitado por viajantes tanto extraños al medio como pertenecientes a él, la sensibilidad a cambios en la infraestructura de transportes se mide en función de las capacidades de dicha población para adaptarse a las nuevas condiciones, sin perder complejidad o sufrir tendencias a la desintegración.

#### **4. Fase de identificación de los factores a ser considerados para realizar la evaluación de impacto sobre los subsistemas sociales**

La observación de la distribución de la población según actividades, sirve para obtener por un lado una idea del grado de complejidad en estructuras sociales y económicas alcanzado por los poblados asentados en el área de estudio, y por el otro lado, permite tener una idea de la *vocación económica básica* de los mismos. Esta vocación económica básica que siempre está vinculada a la explotación o aprovechamiento de ciertos tipos de recursos clave brindados por el medio y que pueden ser materiales, simbólicos, o configuradores del espacio o resultantes combinados de estos tres, toda vez que al explotarlos relaciona con ellos, y determina a partir de aquí condiciones favorables para la reproducción y sostenimiento material de una parte importante de la población, se constituye a su vez en un pilar fundamental que facilita que la sociedad pueda alcanzar mayores grados de complejidad estructural, al facultar y determinar incrementos en la gama de actividades laborales que en ella se realizan. Ello se explica, toda vez que favorece la existencia de una demanda consolidada con capacidades de compra o intercambio, como complemento necesario requerido, para que agentes versados en otros oficios, puedan realizar sus actividades en las áreas en donde esa vocación económica básica se desarrolla primero en referencia a la población que directamente se sostiene a partir de ella, y luego con respecto a la sociedad toda, en la medida en que crece el intercambio junto con el grado de complejidad que la compone. Este tipo de fenómenos son observables en el área de estudio, tanto a nivel rural como a nivel urbano.

Sin embargo las áreas poblacionales rurales son menos complejas que las urbanas desde el punto de vista de la estructuración del edificio social, y su patrón de ocupación del espacio, tiende a ser menos concentrado. Las áreas urbanas en cambio, involucran mayor concentración poblacional y mayor complejidad en estructuras sociales activas, implicando que los edificios sociales correspondientes a estas áreas puedan estar sostenidos a partir del desarrollo de más de una vocación económica básica conectada cada cual al aprovechamiento y/o apropiación de al menos un tipo de recursos estratégicos de cimentación social dispuestos material, simbólica y/o como factores estructuradores del espacio en el medio.

De aquí que un paso anterior a poder evaluar la sensibilidad de las estructuras de base en donde el camino bajo su formato de presentación actual participa como un factor determinante configurador de la posibilidad de que la vida social concurrente que denominaremos "de grupo" exista repartida en el área de estudio bajo las modalidades tanto urbanas como rurales con que se presenta, consiste en responder primero a la pregunta de ¿cuáles son los recursos cuya explotación o aprovechamiento constituyen en cada caso los estratégicos para dar cimiento al resto del edificio social en tanto que elementos configuradores de la o de las vocaciones económicas básicas que dinamizan la economía del medio? Este paso es necesario para recién poder realizar una selección de las vocaciones económicas básicas directamente conectadas con el camino, y poder con esto pasar a trabajar sólo sobre ellas, toda vez que éstas y sólo éstas en el caso que nos ocupa, en cuanto pilares de al menos una parte de la complejidad, constituyen los elementos sensibles principales de los subsistemas sociales, cuya reacción ante a cambios en la infraestructura vial de transportes debe ser objeto de enjuiciamiento prognóstico.

Ahora bien, ¿cuáles son los factores que deben ser considerados para prever y evaluar las capacidades de adaptación de las partes sensibles de los edificios sociales ante cambios a registrarse en la infraestructura vial de transportes de tal modo que éstos no pierdan complejidad o sufran tendencias a la desintegración?

El primer elemento que debemos considerar, es estrictamente teórico, y viene mejor explicado por Karl Popper, que con referencia a la teoría de la probabilidad aplicada a fenómenos que la física estudia, había escrito lo siguiente: "si tenemos un gran dado que contenga un trozo de plomo cuya posición sea ajustable, podemos *conjeturar* (por razones de simetría) que los pesos (es decir, las propensiones) de las seis posibilidades son *iguales* siempre que el centro de gravedad se mantenga equidistante a los seis lados, y que se hacen *desiguales* si cambiamos el centro de gravedad de esa posición. Por ejemplo, podemos aumentar el peso de la *posibilidad* de que salga 6 alejando el centro de gravedad del lado que tiene el número "6". Y podemos interpretar que la palabra "peso" significa "una medida de la propensión o tendencia a quedar arriba [el "6"] al repetirse el experimento" (Popper 1989: 90). Popper continúa: "Primero la distribución de la probabilidad se considera una propiedad del *experimento singular* y una ley probabilista (o un enunciado de probabilidad) se considera relativa a una regla específica que especifique las condiciones para aceptar una situación o un experimento como *repetición de otros*. Por ejemplo, al echar los dados, el tiempo mínimo que se tarda en sacudir el cubilete puede o no formar parte de esa regla o de esas combinaciones. En segundo lugar, podemos considerar la probabilidad como *una propiedad física real de cualquier situación física única concreta y, por lo tanto, también del experimento físico singular* o, más exactamente, de las condiciones *experimentales* establecidas por la regla que define las condiciones para la *repetición (virtual)* del experimento. Una propensión es, pues, un tipo algo abstracto de propiedad física; no obstante es una propiedad física real. Usando la terminología de Landé, *puede recibir patadas y puede devolverlas* (Ibid.: 91). Ahora bien, aquí viene el punto que nos

interesa y que por analogía nos conduce a poder pensar los efectos de los cambios en la infraestructura de transportes en nuestro área de estudio. Popper, citando a Dirac, nos conduce a una conclusión: “‘Algún tiempo antes de la mecánica cuántica, la gente [Einstein, von Laue] se dio cuenta de que la relación entre las ondas luminosas y los fotones debían tener un carácter estadístico. De lo que no se dieron cuenta realmente, sin embargo, fue de que la función de ondas proporciona información sobre la probabilidad de que *un* fotón esté en un lugar determinado y no del número probable de fotones en ese lugar.’ Y continúa con un ejemplo muy parecido al de la interacción de *un* fotón con un espejo semitransparente” (Ibid.: 98). De este modo, la conclusión a la que Popper nos iba conduciendo es la siguiente: “esta aplicación de la teoría a casos singulares es precisamente lo que consigue la interpretación propensivista. Pero no lo hace hablando de partículas o de fotones. *Las propensiones no son propiedades ni de las partículas ni de los fotones ni de los electrones ni de los peniques.* Los enunciados de propensiones en física describen propiedades de la situación...” (Ibid: 99).

Sin embargo, a diferencia de los objetos inanimados que la física considera, los “fotones” que las ciencias sociales observan, a más de constituir “unidades autoperceptivas” están dotados entre otras cosas de voluntad, arbitrio y discernimiento, y en todo caso son “agentes de acción”, sea que se los considere de modo individual o colectivo. De sus acciones, en tanto que constituyen “eventos” incluso cuantificables, nuevamente no son sino el resultado de particulares estados estructurales de cosas vigentes que determinan su acaecencia, y que en este caso vienen dados por la combinación de las estructuras que configuran sus medios cognitivos mentales internos relacionados con las estructuras vigentes que programan el medio físico que les es exterior, y el social que los interpenetra, no estando permitido decir de las primeras, que éstas constituyan elementos exteriores al medio total, toda vez que suceden en y junto con toda la naturaleza. Lo propio puede ser dicho de paso, como caso especial, de los elementos que configuran la cognitividad y las acciones de los agentes de diseño y/o de evaluación de impacto de caminos u otras obras, toda vez que la emisión de sus juicios técnicos o incluso encubiertamente éticos a momentos, primero que suceden en el universo, segundo que dependen de las propensiones cognitivas de la especie maduradas en sus respectivos medios socio-físicos, y tercero que toda vez que determinan modos de obrar, se convierten en elementos estructurantes de los ambientes en donde actúan, lo cual, no es ni bueno ni malo.

Pero volviendo a lo nuestro, tenemos que el primer elemento a ser considerado para establecer el enjuiciamiento prognóstico de las capacidades de adaptación de las partes sensibles de los edificios sociales ante cambios a registrarse en la infraestructura vial de transportes, viene dado por el hecho de que los efectos esperados no pueden ser deducidos sino sólo a partir de enunciados propensivistas, que a través del análisis (virtual) de las propiedades expectables de las nuevas condiciones que vayan a configurar la programación del espacio por el camino, deben permitir dar pronóstico sobre los modos y los límites del “accionar adaptativo” que ante tales cambios las “partículas subjetivas elementales” más sensibles a ellos tenderían a realizar. En ese sentido, por ejemplo, preguntas relativas a la probabilidad de que un camionero pase por delante de una tienda, la probabilidad de que un tendero pueda trasladar su tienda a otro espacio, o de que un sujeto pueda disponer su vivienda en otra área cerca del camino si es que éste va a sufrir modificaciones en su trazo, son las que deben ser respondidas.

En segundo término, debemos responder a la pregunta de cuáles son los factores que deben ser considerados para dar cuenta de las propiedades de la situación y del tipo de propensiones expectables que desde el punto de vista social constituyen objeto de observación en los análisis de impacto.

Comencemos por ver que básicamente, dos tipos de cambios pueden darse sobre caminos carreteros preexistentes: a) ensanchamiento de la plataforma y cambios en la cobertura de su superficie (el asfaltado por ejemplo), y b) cambios en el trazo de la vía. De los primeros, es posible afirmar que si bien pueden determinar perjuicios individuales que por lo general son indemnizados, estos no tienden a determinar grandes transformaciones en la dinámica de los cuerpos sociales constituidos en su entorno y que más bien –diremos *a priori*– tienden a mejorar las condiciones para su realización. De los segundos en cambio, es posible ver que en ciertas circunstancias (no en todas) cambios en el trazo de la vía, pueden en función de la combinación específica de los factores, determinar efectos no homeostáticos en las estructuras de sostenimiento de los sistemas sociales constituidos. De aquí que por lo general sólo debamos interesarnos en analizar los efectos de estos últimos, no siendo sin embargo esto, una regla inamovible.

“Molécula de intercambio”, es la estructura de flujos, reflujo y ciclos regulares de salidas y llegadas que muestra el modo cómo los poblados locales, bajo la condición de poseer conexiones camineras de cualquier tipo, interrelacionan y se conectan entre sí p., una parte, a través de viajes individuales o colectivos realizados por sus miembros de unos puntos a otros dentro del sistema con fines de intercambio social y económico principalmente, y con miembros provenientes de otros medios poblados extraños al sistema, a través de salidas propias con esos mismos fines, o a través de la espera de viajeros que acuden y se detienen temporalmente a fin de realizar transacciones, actividades simbólicas o incluso quedarse, por otra parte

Veamos entonces que el concepto de “taxia” toda vez que fue definido por la biología como “reacción obligatoria de locomoción orientada en los animales móviles, y desencadenada por agentes físicos o químicos externos, donde a menudo el estímulo desempeña un rol de trampa (caso de la luz)” (Thinès y L’ Empereur 1976: 873), nos es muy útil en el presente contexto para considerar el camino como un factor de estimulación externo que, si es movido de su lugar, es capaz de determinar desplazamientos poblacionales racionales con arreglo a fines en pos de él. A este tipo de desplazamientos también los podemos conocer bajo el nombre de “propensiones transhumanentes”, las cuales constituyen objeto de observación en los análisis de impacto, en tanto que constituyen efectos expectables ante cambios en el diseño de la ruta, toda vez que el camino en cuanto factor programador del espacio social determina no sólo sobre el patrón de asentamientos desde el punto de vista en que especialmente el grueso de la población rural tiende a radicar cerca a él con un promedio de distancia de 3 km tal como lo mostraban los Cuadros estadísticos de la Encuesta de los Valles del Sur de Bolivia (AID/MACA 1977) a fin de acceder a los beneficios que la molécula de intercambio brinda o facilita alcanzar, sino, también, sobre la configuración de los espacios probabilísticos urbanos y proto-urbanos, desde el momento en que interviene en la programación del espacio transaccional de circulación e intercambio de bienes en áreas fijas, cumpliendo nuevamente el rol de “trampa” y convirtiéndose en ese sentido en un recurso atractor de recursos.

Sin embargo, dado que la pregunta de fondo que debe guiar el análisis de impacto apunta a identificar las capacidades reales de adaptación de las partes sensibles de los edificios sociales ante cambios en la infraestructura vial de transportes de tal modo que éstos no pierdan complejidad o sufran tendencias a la desintegración, no sólo las propensiones transhumanentes deben ser consideradas, sino también las capacidades de la población para establecer *otro* *propio* medidas sustitutivas al desplazamiento por una parte, y por la otra, los factores que constituyen limitantes para que la adaptación pueda realizarse con éxito, sea que esta vaya a ser realizada por la vía de taxias o por cualesquiera otros mecanismos que la población pueda disponer a través de acciones propias.

El análisis de estos factores limitantes, comprende entonces la observación de los nichos ecológicos aledaños a las áreas por donde los diseñadores del camino a ser mejorado proponen realizar variantes, teniendo en cuenta que la posibilidad del establecimiento de nuevos asentamientos en esas inmediaciones disminuirá a medida que la pendiente de los terrenos vaya aumentando, o en la medida en que aparezcan accidentes naturales difícilmente habitables como ser ríos con caudal considerable y lagos, o cuando existan factores contaminantes, o cuando aparezcan áreas intervenidas con construcciones y/o explotaciones sometidas a regímenes de propiedad. Por otra parte, no debe ser soslayada la observación de la retícula vial de transportes existente entre los límites de las variantes consideradas y los poblados respecto de los cuales el camino ha de ser alejado, toda vez que dicha retícula en algunos casos sobre todo rurales con poblaciones muy poco concentradas, y según la configuración del relieve, puede constituir de suyo, un elemento mitigador de impactos. Finalmente, estar atentos a las condiciones de transladabilidad de los recursos estratégicos de cimentación social toda vez que una taxia deba producirse propensivamente, y la consideración de las posibilidades objetivas de acceso a la explotación o aprovechamiento de tales recursos cuando estos no puedan ser trasladados luego de efectuada una taxia, constituyen objetos de conocimiento que facultan evaluar el poder adaptativo de los potenciales desplazamientos que obligatoriamente debieranemerger luego de haberse establecido modificaciones de importancia en la infraestructura vial de transportes.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AID-MACA; *Cuadros estadísticos de la Encuesta de los Valles del Sur de Bolivia, 1977– Chuquisaca*; La Paz; 1983; 173 pp.
- AID-MACA; *Cuadros estadísticos de la Encuesta de los Valles del Sur de Bolivia, 1977– Tarija* ; La Paz; 1983; 173 pp.
- POPPER, Karl; *Teoría cuántica y el cisma en física*; Tecnos; Madrid; 1989.



Esta obra se terminó de imprimir en Enero de 2001  
en los Talleres Gráficos "Perez"

Bajo Depósito legal: 4-1-176-01  
La Paz - Bolivia



CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CAMBIOS GLOBALES (CICG)

AUSPICIADORES:



Aguas del Illimani