



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CAMBIOS GLOBALES

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE BOLIVIA

# IV SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIOS GLOBALES

## "IMPACTOS Y PERSPECTIVAS"

30 de septiembre - 01 de octubre de 2010

### Memoria



*Academia Nacional de Ciencias de Bolivia*

La Paz - Bolivia

## Memoria

### IV Simposio Internacional sobre Cambios Globales "Impactos y Perspectivas"

Primera edición, octubre 2010

#### Editores

Sylvia Estensoro C.

Miguel Saldias B.W.

Gina Zurita V.

Impresión PS SERVICIOS GRAFICOS

Telfax 2317297 \* cels.: 70666565 - 70166565 -79637888

e-mail: ps\_graf@hotmail.com

## ESTRATEGIA TRANSVERSAL RURAL-URBANA DE ADAPTACIÓN HÍDRICA AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA PAZ-ACHACACHI

Hugo César Boero

Director del Programa de Fortalecimiento Integral (PFI)

Investigador CICG

### INTRODUCCIÓN

La necesidad de adecuar la situación del abastecimiento hídrico del altiplano oriental norte de Bolivia a efectos de la evidente reducción de los glaciares de la Cordillera Real y el aumento de la evaporación en las lagunas de abastecimiento a lo largo del año, en previsión de escenarios en los que de conservarse las actuales tendencias de esta forma de cambio climático en la región, se hacen previsibles períodos caracterizables como de mayor competencia por el recurso agua, reclama reflexionar al presente sobre el hecho de que el proceso de la adaptación hídrica al cambio climático para la población dependiente del ciclo hidrológico del Altiplano Oriental Norte (AON), más allá de constituirse en un manejo técnico de cuencas tradicional, requiere de una política hídrica, por la cual la población pueda lograr para sí nuevos patrones de uso y acceso a los recursos hídricos subterráneos depositados en la cuenca. Esto es adecuando, por una parte, tecnologías e infraestructura apropiadas que, en interacción con el ciclo hidrológico local, permitan a la población no sólo contar con un sistema sostenible de recarga para los mismos sino, por otra, y, a la vez, como un componente no menos necesario, con mecanismos de organización económica y administrativa civil y pública que combinadamente, y en uso eficiente de dicha infraestructura, la preparen para asegurar la sostenibilidad de los asentamientos humanos en la región, por medio de garantizar la sostenibilidad de un sistema integrado de manejo y conservación de tales fuentes subterráneas para fines de riego, agua potable y saneamiento básico, en sustitución de las fuentes de abastecimiento superficial en actual aprovechamiento (glaciares y lagunas) y actuando a nivel de ecosistema.

El interés del presente trabajo se centra, en este sentido, en exponer las razones que conduciéndonos a tal reflexión, derivan en una búsqueda de respuestas que, en función de alcanzar el objetivo mencionado, permitan adaptar una estrategia para hacer frente a la crisis hidrológica determinada por el cambio climático en el Altiplano Norte de Bolivia, evaluando los componentes que consideramos necesarios para alcanzar tal objetivo, sobre la base de tenerlos en cuenta como recursos y como factores de ecosistemas históricos configuradores de la situación, tanto a las características jurídicas, institucionales, organizacionales y de acumulación histórica que configuran a su vez en la región, a la población actual del área de metropolización hídrica La Paz-Viacha-Pucarani-Achacachi en su desagregación hacia la vida civil, municipal y autonómica al abrigo del Estado de Bolivia, y a las propiedades físicas de la cuenca hídrica de la cual depende ésta en su relación con el ciclo hidrológico del altiplano oriental norte (con capacidades orográficas para retener una diferencial de formas de ciclos hidrológicos variables e incluso recurrentes confinados y propios a lo largo del tiempo), como criterios guía de adaptación, para plantear desde el punto de vista operativo, un sistema o plan de acciones que la propia población dependiente del ciclo hidrológico del altiplano oriental norte,

Dadas esas características con respecto a las propiedades del medio y dado el carácter extra-ordinario de una situación de cambio climático con efectos en el ciclo hidrológico (que obliga a pensar en la necesidad de asumir medidas de complementación rural-urbanas), requeriría realizar conjuntamente, para alcanzar el objetivo de estabilizar con distribución de tareas y reconocimiento de deberes y obligaciones por parte de todos los actores tanto civiles como públicos involucrados, un sistema de abastecimiento hídrico que con efectos de ecosistema permita hacer frente a los problemas que, de no contar con uno por las razones que expondremos, puede preverse que no sólo afectarán las ciudades de La Paz, El Alto y Viacha, sino también en combinación con las demandas hídricas urbanas, sobre los municipios rurales de Achacachi (con extensión al sector este de Ancoraimes), Huarina, Puerto Pérez, Batallas, Pucarani, Laja y también de Achocalla, especialmente en las regiones con asentamientos humanos y producciones expuestas y/o ubicadas en las áreas de influencia correspondientes a los cursos de caudal superficial y/o subterráneo procedentes de la Cordillera Real, que configuran al presente para el conjunto lo que podemos denominar el área de captación hídrica Altiplano Oriental Norte-La Paz AONLP, dependiente del ciclo hidrológico del AON (Fig. 0).



Fuente: PFI sobre lámina de Montes de Oca (2004: 162) elaborada por Javier Núñez.

**Fig. 0 Área de captación hídrica AONLP**

Con la finalidad de exponer estos criterios de manera apropiada para la región de estudio, recurrimos a una metodología de evaluación de impacto ambiental de las variaciones del clima sobre los subsistemas sociales, tomando en cuenta para tal efecto, a) un primer escenario del área de captación hídrica AONLP sin cambio climático (como situación de partida), b) un segundo escenario del área de captación hídrica AONLP con cambio climático avanzado sin plan de adaptación y c) un tercer escenario de la misma, con un plan de adaptación propuesto. Finalmente, siguiendo la hipótesis de que es viable dar soporte físico a un sistema de recarga y manejo adecuado de los acuíferos de Achacachi, Peñas y Pucarani a través del plantado de una masa de bosque y humedales paralela a la Cordillera, que -como nuevo regulador hídrico por evapotranspiración-precipitación- permita dar recarga sostenible a los acuíferos para distintos aprovechamientos rurales y urbanos.

Expondremos las razones que nos conducen a pensar que el planteamiento formulado tiene factibilidad receptiva por parte del ecosistema AON a nivel físico, como para hacer posible la implementación de una política hídrica de uso adecuado de los acuíferos que sirva para resolver, en el mediano y largo plazos, los problemas potenciales de la demanda hídrica combinada con efectos también beneficiosos para la biodiversidad.

#### **ANTECEDENTES, PRINCIPALES RESERVORIOS EN EL ÁREA DE CAPTACIÓN HÍDRICA AONLP, FUNCIONES, TRANSFORMACIONES ACTUALES Y USOS ADAPTADOS.**

- Glaciares, acuíferos, lago Titicaca, lagunas de abastecimiento.

Comenzaremos por ver entonces que en el área de captación del AONLP, la función de los glaciares de la Cordillera Real es múltiple, pues intervienen no sólo en los procesos de regulación hídrica de los sistemas de abastecimiento hídrico urbano, sino también como fuentes en la formación de cursos fluviales que partiendo de las montañas desembocan

en el Titicaca nutriendo así mismo con parte de sus caudales a los depósitos de aguas subterráneas distribuidos en la cuenca altiplano oriental norte.

Para el sistema de abastecimiento urbano de La Paz y El Alto, los glaciares cumplen en cuanto reguladores hídricos, con una triple función en la actualidad: a) se constituyen en gigantescos reservorios sólidos (embalses) que conservan una gran cantidad de agua en condiciones de que no se evapore, b) compensan los efectos de la evaporación y el consumo en tiempos de estiaje, soltando lenta pero constantemente caudales de recarga para las lagunas de abastecimiento de la red de agua potable, y c) cumplen con la función de amortiguar, en épocas de lluvias, los ritmos de recarga de las mismas, congelando caudales de precipitación "excedentarios" que, al poder rebasar las capacidades de carga del sistema, podrían malograrlo, producir cortes, dañar las lagunas de tratamiento o dar lugar a que ingresen caudales mezclados con aguas de mala calidad o de rebalse. Protegen, por lo tanto, el sistema de abastecimiento, en su origen.

Así mismo, la pendiente de las montañas hacia el lago Titicaca determina que los procesos de recarga de los acuíferos de Achacachi, Peñas y Pucarani, cuenten igualmente con las funciones de regulación de los glaciares sobre los caudales fluviales, para ser sostenible (Ver figura 1<sup>2</sup>). Subsiguientemente veremos una descripción de los mismos a mayor detalle:

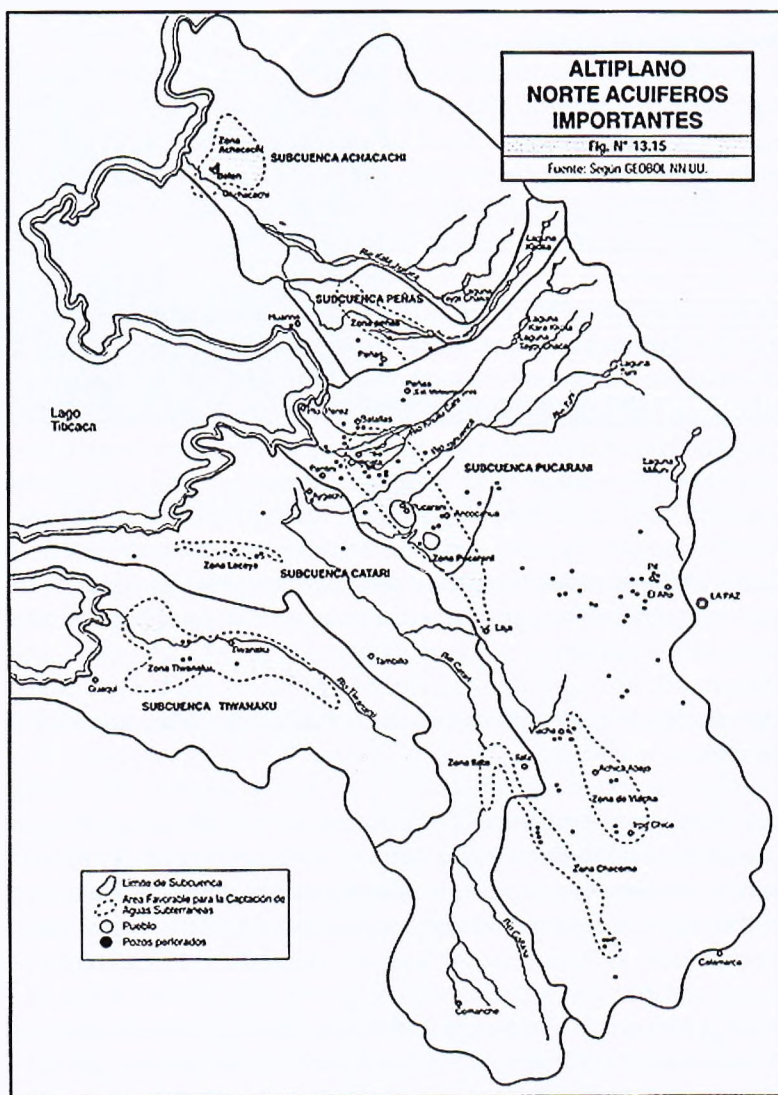


Fig. 1 Acuíferos importantes del Altiplano Norte

<sup>2</sup> El mapa data de 1974.

Subcuenca de Pucarani: Se encuentra en la mitad oriental de la subcuenca altiplánica norte, en el subsuelo de la Cordillera real. Ocupa una superficie de unos 2630 km<sup>2</sup> y se alimenta de algunas cuencas fluviales como el río Sehuenca que la sobrepasan para alcanzar la ribera del Titicaca. Tiene en su haber más de setenta pozos perforados, principalmente en las cercanías de La Paz y entre Batallas y Pantini, y tres grandes extensiones aptas para la explotación hídrica: zona Pucarani o Batallas-Laja, zona Chachacoma y zona de Viacha a Irpa Chico. Las reservas hídricas que contiene provienen de las infiltraciones pluviales, de los escurrimientos fluviales y de manantiales que brotan en afloramientos paleozoicos y terciarios. El agua se pierde básicamente por evaporación, pero también a través de manantiales situados en el valle de La Paz (y de Achocalla). La subcuenca Pucarani almacena un gran volumen de agua subterránea, aunque su altura en los acuíferos puede variar anualmente desde los 40 cm hasta los 6,30 m por debajo de la superficie. (Los paréntesis son nuestros)

Subcuenca de Peñas: La subcuenca de Peñas se interpone entre las de Achacachi y de Pucarani; sus límites prácticamente abrazan el río Jacha Jahuira (afluente del Keka Jahuira) y el área de captación de agua subterránea. Es la subcuenca más pequeña, la zona de captación es de sólo 54 km, pero cuenta con varios pozos perforados a unas profundidades de 40 y 100 m. Posee un único acuífero de significativa producción. Tiene 85 m de media de espesor.

Subcuenca de Achacachi: Está situada en el borde noroeste del altiplano, en una zona semipermeable al norte del lago menor del Titicaca. Materiales fluvioglaciales, fluviales y lacustres del Cuaternario conforman un suelo susceptible de almacenar agua. Cubre una extensión de 586 km<sup>2</sup>. La subcuenca se nutre del escurrimiento superficial y del río Keka Jahuira que, a través de su lecho, aporta el resto de agua dulce. Parece ser que las infiltraciones alcanzan una profundidad significativa, ya que en alguna perforación se llegó a los cimientos una vez traspasados los 300 m (D'angelo et al.; s.f: 88).

Por otro lado, arreglos para el aprovechamiento binacional del lago Titicaca determinan antes que una explotación del lago mismo, el que junto con las lagunas de abastecimiento, estas fuentes puedan ser así mismo aprovechables en el país sin perjuicio del ciclo hidrológico que mantiene su nivel en los estándares actuales.

Sin que contemos en la actualidad con un dato sobre los aportes de infiltración de los glaciares a las aguas subterráneas, como un dato a la vez extrapolable provisionalmente a las lagunas que así mismo abastecen a sistemas de riego en el AON, por ejemplo la laguna Kara Cota, para llenar igualmente las lagunas que abastecen las demandas urbanas, al menos el 8%, según refiere el IHH, se satisface con aguas de derretimiento procedentes de los glaciares (véase además en las Fig. 1 y 3, lagunas Tuni y Milluni); el resto procede principalmente de la precipitación. No se conocen, por otra parte, los aportes de los recursos subterráneos de altura (turberas en el páramo, depósitos en la montaña con vaciado hacia el Titicaca) en el llenado de las mismas.

- **Escenarios de transformación actual: precipitaciones, radiación solar, bonanza hídrica y efectos hídrico-parasitológicos colaterales.**

No obstante, debido a que llueve más en menos tiempo, con un estiaje anual más prolongado, las lagunas de abastecimiento urbano y de riego rural tienden a competir con mayor tiempo de radiación solar a lo largo del año dentro de un período de la historia planetaria en el que la temperatura global registra, a su vez, niveles de tendencia al aumento. En estas circunstancias, para conservar las lagunas se hace necesario contar con mayor cantidad de recursos hídricos superficiales que compensen, en este caso, las tasas de evaporación no calculada para abastecer las ciudades. La demanda rural de temporal, por otra parte, cuenta con el aporte subterráneo actual de vertientes de los acuíferos del altiplano, como fuente natural que por el momento alimenta importantes humedales, habiéndose incrementado no obstante en el último tiempo la perforación de pozos privados especialmente en el sector Achacachi, que no participa en su totalidad de los beneficios del sistema de riego Huarina.

En este contexto, a lo largo de la cordillera, actualmente a razón de 1m de espesor por año (Mendoza et al, 2000: 44) los glaciares con menor volumen, tienden a desaparecer antes que los con mayor volumen, implicando que luego de

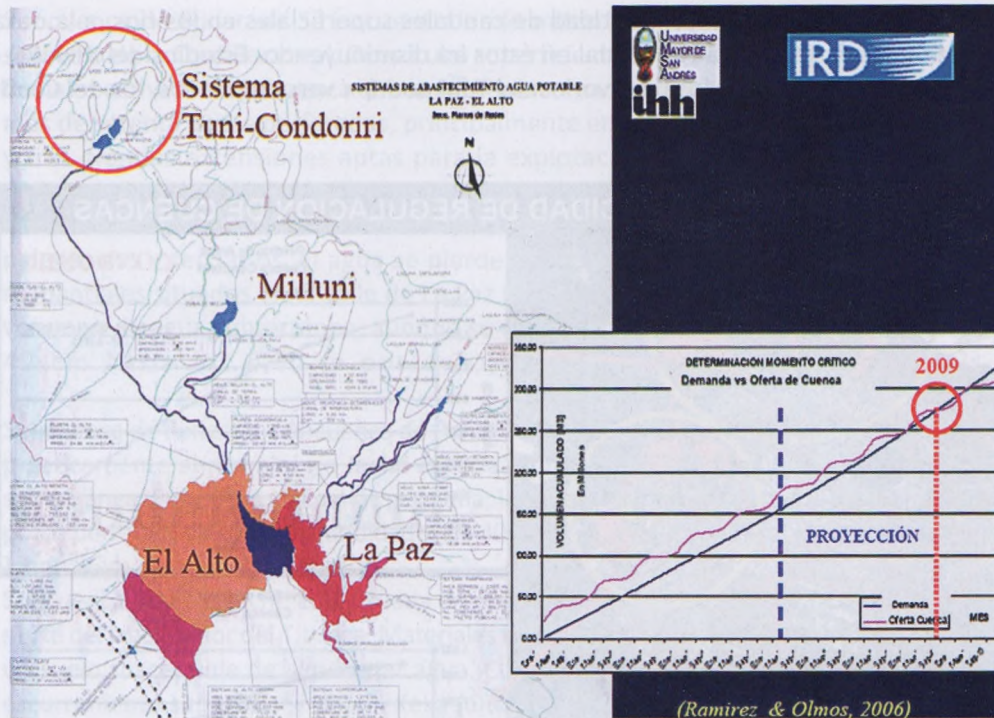


Fig. 3 Sistema de abastecimiento agua potable La Paz - El Alto

El IHH calculó para 2009 un punto de quiebre para dicha estabilidad, con la consecuencia de que dentro de un período de 50 años, la curva de caudales de oferta hídrica, aparte de hacerse negativa ella misma, siendo significativo en este contexto el dato provisional del 8% de pérdida del aporte de caudales de derretimiento a las lagunas, irá incrementando en relación inversamente proporcional, la brecha entre demanda de la población y la oferta hídrica de los glaciares. Del mismo modo, en el campo, los caudales irán disminuyendo con la consecuencia de que los desarrollos locales operados en función de la bonanza hídrica, se irán viendo disminuidos en sus niveles de productividad acostumbrados. Hasta tanto, el parásito *Fasciola hepática* entrará en períodos de menor actividad sujeta a los ciclos anuales de precipitación. Y al mismo tiempo, la recarga de los acuíferos se irá aminorando, en tanto que los modelos no predicen ausencia total de lluvias para esta región con montañas tropicales. La fotografía que ilustra la "bonanza hídrica" es de Sicart (2007).



Fig. 4 "Bonanza hídrica"

### III.- Escenarios rural-urbanos futuros sin plan de adaptación.

De mantenerse las tendencias mencionadas anteriormente "dentro" del plazo en este caso calculado hasta en 35 años de retiro de los glaciares del Condoriri (Figura 2) a partir del 2010, en que la reducción de los caudales procedentes de éstos vendrá acompañada por aumentos en las tasas de evaporación que en conjunto afectarán negativamente a las lagunas y embalses que no sólo abastecen a la mancha urbana de La Paz y El Alto sino a los sistemas de riego implementados con dependencia del sistema Chachacomani en el AON; con períodos de exposición solar más prolongados a lo largo del año y tendencias al aumento de la temperatura, la probabilidad de que se produzca la necesidad de una búsqueda de reacomodos en las matrices de abastecimiento de los sistemas de captación y distribución dependientes de tales lagunas, hace tendencial el hecho de que a medida que se vayan observando cambios en las regularidades del clima, a la vez que las ciudades de El Alto y La Paz, del mismo modo que lo harán las poblaciones rurales de Viacha y Laja, así como también, las áreas de socialización rural de Pucarani y Batallas (tampoco beneficiadas todas ellas con proyectos de riego), vayan ejerciendo nuevas formas de presión sobre el acuífero de Pucarani, en cuanto reservorio próximo a estos centros poblados que en todo caso podrá ofrecerles por un tiempo las condiciones requeridas para conservar sus niveles de producción rural y así mismo mantener los requerimientos de la red urbana en funcionamiento, igualmente se vayan suscitando nuevas presiones respectivamente sobre los acuíferos de Peñas por parte de las comunidades de Huarina y una sección del municipio de Batallas, y de Achacachi, por parte de los pobladores de la ciudad que lleva ese mismo nombre por una parte en la medida en que el río Keka disminuya en caudales y de la población rural que se encuentra en su entorno por otra, determinará tendencialmente en el largo plazo un período caracterizable como de mayor competencia por el recurso agua para las próximas generaciones, bajo el entendido de que la explotación de un acuífero más allá de sus capacidades de recarga natural, al registrar déficits en su balance hídrico puede determinar abatimientos del suelo con pérdida de las capacidades litológicas de carga del mismo, y conducir no sólo a su agotamiento rápido e incluso definitivo con consecuencias socioeconómicas e incluso políticas de magnitud si es que se admite la posibilidad de realizar una explotación desordenada o incluso discrecional de los mismos y más aún cuando se habla de demandas rurales y urbanas combinadas a la vez con una población que superando los 2.5 millones de habitantes al presente, tiene con inclusión de Achocalla, una porción de ellos habitando en la cuenca amazónica.

### IV.- Elementos para pensar una estrategia de adaptación hídrica al cambio climático para la población dependiente del ciclo hidrológico del AON.

Dado el hecho de que en el área existen recursos hídricos suficientes, en el punto de inicio en que la migración de una matriz de abastecimiento basada en cursos superficiales a otra basada en acuíferos no sólo que se hace igualmente probable tanto para las ciudades y el campo en el área de captación AONLP sino que en todo caso ya tiene señales importantes de haber comenzado a cubrir en pequeña escala también necesidades de La Paz y El Alto, quedando expresa la tendencia a que en un contexto de cambio climático como el que vamos viviendo, el consumo y aprovechamiento de agua para necesidades rurales y urbanas pasarán a formar parte de un mismo sistema de fuentes, el desarrollo de una estrategia de uso correcto y sostenible de los acuíferos de Pucarani, Peñas y Achacachi, debe permitir satisfacer tanto a las demandas de abastecimiento hídrico de las ciudades, así como también garantizar el que ante los cambios del ciclo hidrológico suscitados en el AON, las áreas de socialización rurales del Altiplano Oriental Norte, puedan contar con los recursos hídricos necesarios, como para no sólo adaptarse a la nueva situación, sino, para también hacer sostenible una oferta de productos, que sin verse disminuida por las demandas urbanas de agua, a su vez encuentre un complemento en éstas economías para sostenerse.

El triunfo de una estrategia que se oriente a proporcionar una solución que satisfaga y fortalezca al conjunto, considerando además que una toma de agua en un punto dado de un acuífero puede ocasionar la disminución del nivel del mismo aquí y allá en otros puntos a kilómetros de distancia (pues se trata de cuerpos de agua que conectados bajo la tierra incluso no respetan fronteras) y que la suma de las captaciones funcionan a la manera de bombillas en un vaso que pueden agotarlo rápidamente si se succiona en todas a la vez y las captaciones son muchas, dependería en todo caso de que se pueda contar no sólo con un sistema nuevo de regulación de cuencas, que en sustitución de los glaciares, asegure una recarga hídrica sostenible para los acuíferos, sino con una infraestructura integrada para su manejo y administración racional preparada para atender diversos escenarios de recarga y climas.



La hipótesis que se plantea al respecto es que es viable dar soporte físico a un sistema de recarga a los acuíferos de Achacachi, Peñas y Pucarani a través del plantado de una masa de bosque y humedales paralela a la cordillera, esto es desde los pies del Chacaltaya hasta los pies del Illampu sin interferir con la frontera agrícola. Como nuevo regulador hídrico por evapotranspiración-precipitación, dicho bosque actuando a lo largo del ecosistema, debe permitir dar recarga sostenible a los mismos a través de producir recursos de evapotranspiración que no sólo bajo la forma de lluvias, sino de condensaciones que escurran por las laderas de la Cordillera Real incrementen los caudales superficiales de recarga que a su vez permitan dar un aprovechamiento sostenible a los acuíferos de Pucarani, Peñas y Achacachi en tiempos de cambio climático y así mismo coadyuvar nuevamente en la recarga, por infiltraciones así mismo preparadas por las raíces. Con respecto a su área de aplicación a lo largo de un poco más de 80 km con un promedio inicial de 300 de ancho con centro a 4.300 msnm, considerar el ecosistema y cuenca AON completos para implementarlo y conservarlo a la vez como un nuevo reservorio hídrico puesto en las alturas, constituye un componente que, por los términos de la lógica específica del objeto y problemas específicos a resolver, a riesgo de que al actuar parceladamente a través de proyectos piloto muy pequeños en el ecosistema y cuenca no se consigan los resultados esperados que se pudieran obtener de aplicarse una acción integral sobre el mismo y su ciclo hidrológico, siguiendo la lógica de los sistemas autoportantes, en que la acción en una punta produce el efecto de sostén en la otra punta y viceversa, nos permite pensar en el hecho de que de no contar con un sistema integrado de recarga para los tres acuíferos a la vez y que actúe a nivel de todo el ecosistema, tampoco podría recargarse ninguno por separado, por falta de un soporte (u órgano) completo en el mismo.

No obstante, aún en una situación "con bosque", siguiendo a tal hipótesis, tal estrategia debe prever, no sólo escenarios de cambio climático más severos y en los que posibles requerimientos adicionales pudieran determinar la necesidad de hacer un uso más intensivo de tales recursos; sino, el hecho de que incluso en situaciones de menor dificultad, no obstante, por falta de un sistema de uso y administración adecuado de los acuíferos, inadecuadas formas de presión rural-urbana que excedan la recarga proporcionada por el bosque, pudieran sobre-explotarlos hasta hacer inviable su aprovechamiento.

En previsión a diversos escenarios, el plantado del bosque, con el objeto de aumentar los caudales hídricos superficiales y de infiltración en el altiplano oriental norte, debe complementarse, para cumplir con el abastecimiento del sistema rural-urbano que pasará a depender progresivamente en el mediano y largo plazo de los acuíferos, con una entidad técnico administrativa y financiera, que aparte de administrar y conservar en buen estado los sistemas de recarga de los acuíferos, de manera integral se haga cargo de dar sobre la base del conocimiento de esas posibilidades de recarga y posibilidades de uso, manejo a las tareas de distribución de "agua cruda" a las Entidades de Uso y Tratamiento del Agua incluyendo EPSA's y otras Asociaciones del AONLP atendiendo a los requerimientos jurisdiccionales de éstas en sus tareas de tratamiento y distribución de aguas para los usuarios finales, tanto para el campo, como para las ciudades, sin que se produzcan conflictos, ni desabastecimiento, ni tampoco cambios de estatus jurídico de los usuarios ni de sus organizaciones matrices respecto al agua. Para un plan de adaptación sostenible para ésta y varias generaciones más, en lo técnico, dicha entidad requiere contar, por lo tanto, con los modelos de optimización hídrico-meteorológicos e hidrogeológicos necesarios que le permitan adecuar el sistema de abastecimiento a distintas circunstancias climáticas y de presión de la demanda rural-urbana de las entidades de usuarios dependientes del ciclo hidrológico del altiplano oriental norte desde Achacachi hasta La Paz, a fin de proporcionar flujos sostenibles e incluso adicionales que permitan resolver las demandas en base a la universalización del derecho al acceso al agua, también en circunstancias climáticas poco favorables, en ambos ámbitos, haciendo aprovechable en ese sentido el uso compensado de las tres fuentes subterráneas que componen al AON. Por otra parte, en lo social y público, adaptándose a las propiedades sociales del medio, dicha entidad deberá incluir, además, la introducción de mecanismos de participación tanto para la población civil beneficiaria de sus servicios a través de sus organizaciones representadas (EPSA's y Asociaciones existentes entre otras), como de las instituciones públicas que posean competencias no sólo hídricas sino también medioambientales y de salud pública en su Directorio, para garantizar la calidad de los mismos, y brindar, tanto en materias de riego, de agua potable y saneamiento básico, un manejo consensuado del agua basado en decisiones técnicas, a la vez dentro - y a través- de las políticas de Estado, utilizando en ocasión de esto, también para el sistema AONLP, dadas las similitudes culturales e históricas del conjunto de los involucrados, desde ya, en parte, la experiencia acumulada por la Empresa Público-Social Misicuni (dependiente del Ministerio del Medio Ambiente y Agua y creada por Ley N° 3470 pero con

autonomía de decisiones) que ha producido resultados de organización gerencial rural-urbanos de beneficio para Cochabamba, bajo esa misma lógica.

Por otra parte, se plantea organizar un sistema de administración del bosque, en el que las comunidades que posean jurisdicción otorgada por el INRA en las regiones más altas cercanas a la frontera agrícola, puedan junto con realizar un uso económico diversificado del bosque y de los humedales a crearse, cobrar por servicios ambientales, toda vez que a partir de su actividad forestal organizada, el sistema rural-urbano que pase a depender de los acuíferos, podrá contar con un mecanismo sostenible de recarga para los mismos.

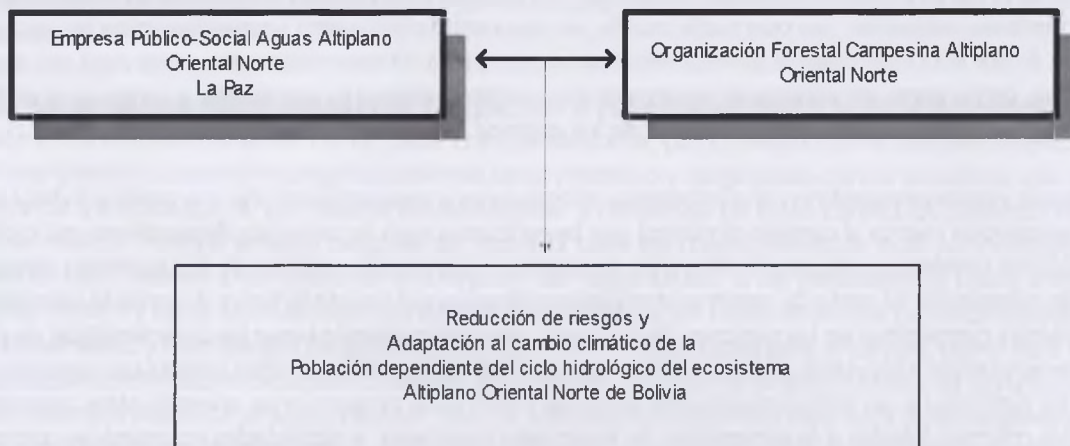
En este sentido, el programa generará a su vez, insumos de administración y protocolos para el diseño y habilitación de un sistema de pago de servicios ambientales que en el caso específico, permita atender a través de la entidad Público Social mencionada para el manejo del agua su efectivización, brindando en ese sentido los mecanismos de fomento necesarios, como para que, por intermedio de las comunidades rurales poseedoras de tierras en los sectores altos del sistema, se haga posible dar implementación, consolidación, conservación y manejo de un bosque de economía campesina, que a su vez condicione y les permita a éstas, alcanzar en aplicación de sus sistemas de saber ancestral (de organización social y de redistribución de la riqueza para producir en este caso resultados de utilidad pública), los objetivos de no sólo contar con recursos hídricos para atender demandas propias, sino, de abastecer hídricamente, aguas abajo, a todo el resto del ecosistema, brindándole, con el manejo del bosque, a su vez servicios para la recarga hídrica de los acuíferos, obteniendo por ello recursos adicionales para su economía; sin que, por otra parte, al ser justa la retribución que reciban por parte de los consumidores que pasen a depender de los acuíferos en tiempos de cambio climático, en compensación de sus costos de oportunidad al presente, existan además razones legales de impedimento a respecto de la organización de un sistema de cancelación de cuotas ambientales de tal tipo, en este caso para el plantado, tenencia y conservación de un bosque de economía campesina, ni tampoco figura de "venta del agua", toda vez que para decirlo de un modo, de manera "industrial", el bosque reforzará el ciclo hidrológico de la región, con una función estrictamente ambiental, sin que nadie pueda, en ese sentido atribuirse propiedad sobre los recursos hídricos en cuanto tales. Es por esta razón que se plantea adicionalmente que la infraestructura requerida para dar abastecimiento hídrico al bosque, como parte del sistema de recarga de los acuíferos, deba a su vez quedar a cargo de la entidad público-social que se haga cargo de administrar el manejo de los mismos.

Puesto que, según vamos pensando en una estrategia, el bosque es a requerimiento de una política hídrica de reducción de riesgos (o adaptación hídrica al cambio climático) que beneficiará a toda la población dependiente del ciclo hidrológico actual del altiplano oriental norte, su planificación al obedecer a la recarga hídrica de los acuíferos debe atender las necesidades de compensar el costo de oportunidad (por sustitución del uso de la tierra de ganado camélido a bosque) de las comunidades campesinas en las regiones de plantado, debiendo además tener las características de proporcionar una tasa de evaporación calculada a las necesidades del sistema, ser extremófilo (capaz de soportar brechas de temperatura de extremo) y ser económicamente rentable como para proporcionar además otros aprovechamientos por parte de las mismas, ligados a la generación de incentivos forestales, y actividades económicas complementarias y conexas al aprovechamiento del bosque; pero también para facilitar en los casos necesarios la coordinación con la entidad público social que brinde el manejo de los acuíferos.

En tal sentido, como un componente complementario en la estrategia de adaptación, se requiere plantear así mismo la necesidad de organizar un sistema de administración del bosque (Organización Campesina de Economía Forestal), en el que las comunidades que a la vez, como un derecho y conquista a su vez adquirido en su proceso histórico y que tampoco no se puede desdeñar, posean jurisdicción otorgada por el INRA en las regiones más altas cercanas a la frontera agrícola, puedan junto con realizar un uso económico diversificado del bosque y de los humedales a crearse, recibir tal como decimos, una compensación por las sustitución del uso de la tierra; toda vez que, a partir de su actividad forestal organizada, el sistema rural-urbano que pase a depender de los acuíferos, podrá contar así mismo con un mecanismo para hacer sostenibles las demandas agrícolas, agropecuarias y de agua potable del campo, sin que la demanda urbana compita con la rural, y viceversa, en escenarios de cambio climático que de otra manera podrían ser definibles como de mayor competencia por el recurso agua entre vecinos y entre las ciudades y el campo incluso; sin que, por otra parte, al ser justa la retribución que reciban los comunarios de las tierras altas por parte de los consumidores que pasen a depender de los acuíferos en tiempos de cambio climático, en compensación de sus costos de oportunidad al presente,

existan además razones legales de impedimento a respecto de la organización de un sistema de pago de cuotas ambientales de tal tipo, en este caso para el plantado, tenencia y conservación de un bosque de economía campesina, ni tampoco figura de "venta del agua", toda vez que para decirlo de un modo, de manera "industrial", el bosque reforzará el ciclo hidrológico de la región, con una función estrictamente ambiental, sin que nadie pueda, en ese sentido atribuirse propiedad sobre los recursos hídricos en cuanto tales. Es por esta razón, que se plantea adicionalmente que la infraestructura requerida para dar abastecimiento hídrico al bosque, como parte del sistema de recarga de los acuíferos, deba a su vez quedar a cargo de la entidad público-social que se haga cargo de administrar el manejo de los mismos.

La habilitación de un sistema de pago de cuotas ambientales que en el caso específico, permita incluir de manera autonomizada (a nivel de ecosistema en el tiempo) a la propia población rural y urbana dependiente del ciclo hidrológico del ecosistema a través de sus organizaciones públicas y civiles involucradas en la solución de los problemas que se le avecinan a efectos del calentamiento global; al dar lugar recíprocamente a la creación sostenible de un bosque de economía campesina que para suplir sus necesidades hídricas, les permita a su vez los pobladores de la región, asumir responsabilidades de utilidad pública conservando las estructuras socio-económicas que los caracterizan, con la garantía de que sus saberes de organización comunitaria y de redistribución de la riqueza, serán suficientes para producir tales resultados, permite cerrar la sostenibilidad del sistema, yendo más allá de la retórica del mero rescate aislado de los saberes indígenas para la conservación del medio ambiente, facilitando una participación plena de los mismos en la vida nacional, a través de su economía y conocimientos. Esto es la unidad complementaria de ambos organigramas, que como posibilidad de adaptación brinda finalmente una imagen de la posibilidad de una política hídrica de reducción de riesgos frente a las causas y efectos asociados al retiro de los glaciares en su fase de funcionamiento a primera hipótesis, que podría proponerse como estrategia transversal rural-urbana de adaptación hídrica al cambio climático, para la población dependiente del ciclo hidrológico del Altiplano Oriental Norte de Bolivia.



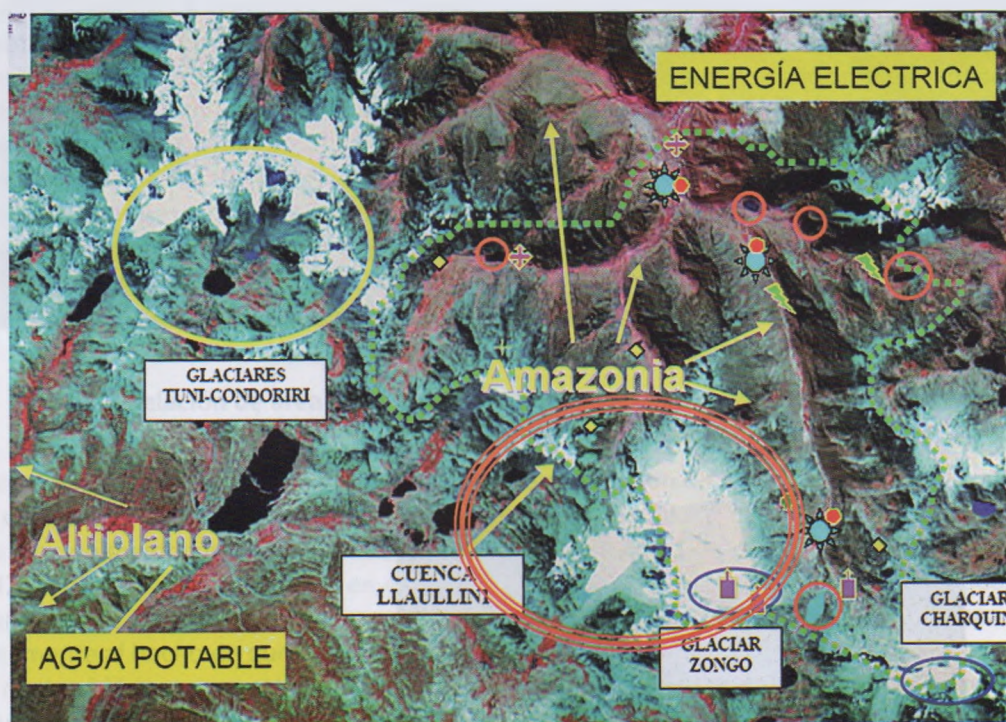
Sin que se pierda, por último, de vista el que el aumento de la cantidad de recursos de agua dulce en la superficie a partir de la siembra del bosque y en complemento con una administración de los acuíferos ligada a también abastecer sistemas de riego u otros en el área rural, pueda determinar por diversas vías, una mayor actividad de la Fasciola hepática, en cumplimiento con la legislación boliviana, una política hídrica integral que plantee desarrollar en tal sentido un tal tipo de estrategia, debería proveer así mismo un sistema de control del parásito, para la mitigación de los impactos ambientales que potencial y probablemente, pudiera generar éste en contra de la salud humana y animal, a partir de que se produzcan aumentos en los caudales del agua dulce en las áreas endémicas con la consiguiente proliferación del organismo hospedador de la misma *Lymnea truncatula*.

#### V.- Escenarios rural-urbanos con plan de adaptación.

La creación de una nueva masa boscosa a lo largo de más de 80 kilómetros de largo no necesariamente visible en todo su trayecto desde la carretera La Paz-Achacachi, puesto que estaría colocada entre dos cotas altitudinales comprendidas

alrededor de los 4.300 metros sobre el nivel del mar entre las montañas Chacaltaya e Illampu, de tener sentido de oportunidad y factibilidad técnica las hipótesis que se han venido manejando en la presente investigación (y que agradece a muchos investigadores en distintas disciplinas sus aportes y opiniones), o lo que es lo mismo decir, en la medida en que las hubiera producido y evaluado en función de la observación de las condiciones de su entorno a través de su comunidad científica y sus agentes de tomas de decisión, habrá dado pie a que la población dependiente del ciclo hidrológico del AON, habiendo logrado reforzar en este caso el ciclo hidrológico del Altiplano Oriental Norte para dotarse a sí misma con un sistema de recarga, que de manera no perjudicial para la economía original de las comunidades que a su vez se habrían hecho cargo de sostener y plantar en primer lugar el bosque, esto es en un plazo razonable en el que para su consolidación al mismo tiempo, y desde el principio -a perpetuidad- éste hubiera tenido cubiertas sus cuotas de sostenibilidad como parte de las modificaciones de sus usos y costumbres de acceso al agua ante escenarios extraordinarios en los que tuvo que transformarse como población a sí misma en compañía de su aparato de instituciones para hacer frente a los efectos de las variaciones de la temperatura en su área de integración eco-sociológica en el medio, habrá contado con un sistema técnico y de ingeniería que posibilitándole un manejo adecuado de los acuíferos de Achacachi, Peñas y Pucarani, a través de la habilitación de un sistema de abastecimiento público-social transversal rural y urbano que habiendo sido capaz de crear y acompañarla en base a sus municipios en mancomunidad regional, con una cultura hídrica propia de una población que tiende a sobrevivir a las incertidumbres climáticas, le estuviera brindando en base a un sistema de prorrato y cálculo para el manejo combinado de las ofertas hídricas procedentes de los acuíferos, un servicio capaz de aportarle para diversos escenarios de variaciones de temperatura y niveles de recarga de los cuerpos subterráneos, soluciones capaces de apoyar el sistema de abastecimiento público de las ciudades y para hacer sostenibles las demandas agrícolas, agropecuarias y de agua potable del campo, sin que la demanda urbana compita con la rural, y viceversa, sin notar, se esperarían, importantes cambios en el acceso a los recursos hídricos con respecto a los momentos anteriores en los que, para hacer valer y cumplir sus decisiones público-sociales hubiera contado así mismo con sus autoridades ejecutivas departamentales y nacionales en cuanto elementos de imparcialidad para tal efecto, y en que tuvo que comenzar a transformar sus matrices de abastecimiento hídrico a fin de poder acceder al agua conservándola bajo tierra.

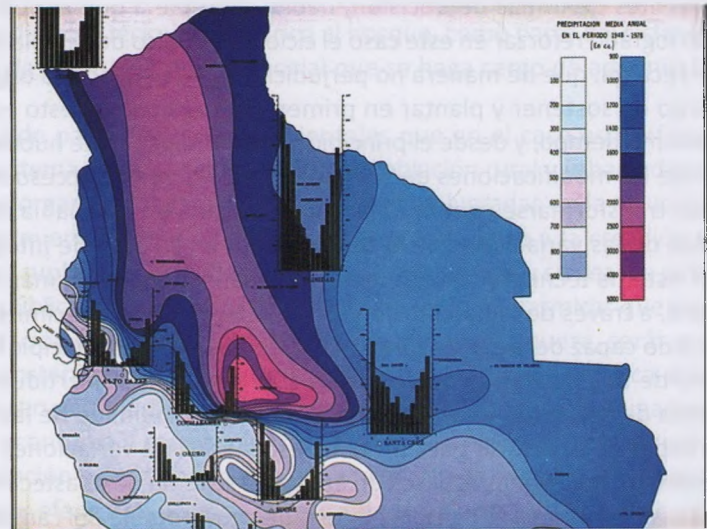
#### VI.- Elementos para evaluar la factibilidad operativa de la estrategia de adaptación y reducción de riesgos propuesta en esta investigación.



Fuente: Elab. PFI en base a imagen del IHH-UMSA.

**Fig. 4** Relación de tamaño de glaciares con exposición hacia la Amazonia respecto a glaciares con vertiente hacia el Altiplano Norte

La Fig. 4 nos pone en contacto con una realidad que de hecho puede hacerse evidente para cualquier viajero que pasea por los Yungas. Los glaciares con dirección hacia la selva amazónica, actualmente son más grandes que los con vista hacia el altiplano. Aquí, la evapotranspiración, o transpiración de las plantas, que produce nubes, juega un papel crucial para explicar este hecho.



Fuente: SENAMHI 1978.

**Fig. 5 Mapa de isoyetas de la parte norte y centro de Bolivia**

El mapa de isoyetas (Fig. 5) nos muestra que la mayor parte del agua que se produce en la región amazónica de Bolivia, se precipita en las regiones boscosas influenciadas por el pie de monte y últimas estribaciones de las formaciones andinas, véanse por ejemplo Chimoré, Villa Tunari y Rurrenabaque entre 250 a 300 m.s.n.m. Por otro lado, sólo una pequeña parte de las nubes que se producen en la Amazonia, logra tocar los picos nevados y precipitarse allí, o tramontar la cordillera por las abras, para mezclarse en el sistema de regulación hídrica del ecosistema Altiplano Norte. Las nubes afectan de abajo hacia arriba, y cuando están próximas al macizo andino, por la influencia de los vientos Alisios tienden a remontarlo en su avance, a través de sus cuencas y quebradas, humedeciéndolo en su recorrido. Pero, dentro de este mismo proceso, las bandas de precipitación que describe el mapa, son producidas a su vez por sistemas de producción de nubes locales, que con tendencia a subir hacia los niveles de los ecosistemas de las cotas superiores, al entrar en contacto con las laderas, precipitan gran parte de su carga en las regiones altitudinales elevadas relativamente más próximas, antes de poder llegar con su carga total original a las cotas superiores más altas; es decir, en base a bandas de precipitación de afectación altitudinal de influencia próxima, con curvas decrecientes de precipitación en su recorrido hacia las alturas. Durante este proceso, la vegetación de las cotas superiores se nutre del agua exhalada en forma de nubes por las plantas de los ecosistemas más bajos, y a su vez, la evapotranspiración a suscitarse en éstos, tenderá a nutrir la vegetación propia de los ecosistemas aún más altos, si es que los hay, sucesivamente, antes de refluir por las cuencas, cuando no sea absorbida por la biomasa.



Línea de ascenso de nubes

Fuente: PFI sobre fotografía de Carolina García, Stephan Beck, Stephan Halloy (2007)

**Fig. 6 Paisaje en el que se muestre el ascenso de nubes entre las montañas**

Así por ejemplo, en la medida de que la mayor parte de la evapotranspiración producida en las regiones amazónicas más bajas del pie de monte andino ya se ha precipitado en la propia cuenca, mucho más arriba, la evapotranspiración de la región yungueña producirá a su vez las neblinas húmedas que se ven recorrer pegadas a las laderas cuando se va hacia las cumbres. Parte de esta agua, nutrirá nuevamente a su misma vegetación de origen en su reflujó hacia las cuencas, a la vez que ésta, todavía estará conservando también reservas procedentes de las nubes de las cotas inferiores, dentro de su metabolismo, para subsistir. Fenómenos parecidos de llegada masiva de nubes desde cotas inferiores, se han observado, con una semana de lluvia fina, a los 1.500 m.s.n.m. en la cuenca y quebradas aledañas al río Cotacajes (mientras que en las alturas de Cocapata y ArcoPongo -misma cuenca a 3.300 m.s.n.m- se tenían noticias de que había sol radiante), y en cotas próximas a la ELA, camino a la Laguna Glaciar del Illampu, donde ya con poca, y luego con ninguna vegetación, las densas y húmedas neblinas también comienzan a precipitarse bajo la forma de nieve, con sol radiante en Sorata. Estas precisiones sobre la multilocalidad del ciclo hidrológico amazónico por cotas, en el macizo andino, nos permiten ver que el tamaño de los glaciares de la Cordillera Real no depende tanto del hecho de que toda la Amazonia junta esté a sus pies, sino que, en todo caso, su formación depende más bien principalmente, de la evapotranspiración procedente de alguna banda altitudinal relativamente próxima que abarque los Yungas, que sería necesario precisar.



Elab. PFI. sobre Google Earth

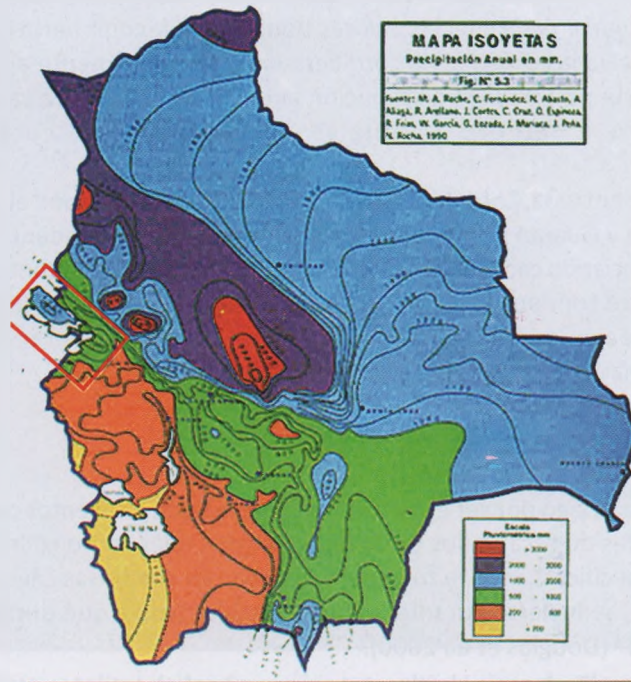
**Fig. 7 Relación de área de la Cordillera Real con respecto al bosque precordillerano del pie de monte y yungas**

A partir de este punto, se podría contar también, con una explicación de por qué los glaciares que tienen vista hacia el Amazonas son más grandes que los glaciares con vertientes expuestas hacia el Altiplano: Del mismo modo como sucede en la sección mejor conocida como el "Bosque nublado en ceja de yungas", la cual, a decir de Beck citado por Montes de Oca (1997: 446), se presenta en el flanco oriental cordillerano entre los 3600 y 2800 m.s.n.m. como un cinturón con crestas, laderas abruptas y profundos valles paralelos a la cordillera, con una topografía donde concomitantemente al hecho de que "las neblinas son constantes y la condensación sobre la vegetación es frecuente aportando montos hídricos por goteo interior", las serranías estorban el paso de las nubes húmedas, descargándose la lluvia en un solo lado, dejando el otro lado seco o con "lluvia vestigial"; también las cargas de evapotranspiración procedentes de las cotas inferiores relativamente próximas a los glaciares, por ejemplo del "Bosque nublado en ceja de yungas" que acabamos de ver, y que bien podría constituir por ejemplo la principal fuente de regulación hídrica de

los glaciares andinos de la Cordillera de La Paz en su vertiente amazónica, tienden a depositarse preferentemente en las caras nevadas correspondientes a la vertiente amazónica de los mismos, porque los cuerpos montañosos, no sólo que actúan como factores precipitantes en los puntos donde las nubes, en su paso hacia las alturas, hacen desde ya contacto con ellos, sino porque también las cumbres las retienen a manera de obstáculos, impidiéndoles el paso al otro lado, como parte de un fenómeno común a todo el macizo, que evidentemente se hace más pronunciado a medida que aumenta la altura y el relieve se va tornando cada vez más escarpado. Existe un resto de las masas nubosas, que en su ascenso hacia las alturas, o bien sobrepasa las montañas, o bien no alcanza a toparse con ellas, y que en ocasión de ésto, teniendo acceso a y por las abras, pasa sin obstáculos al ecosistema Altiplano Norte. La diferencia de tamaño de los glaciares se debe entonces, a que una vez que las nubes procedentes del sector amazónico ya han cedido porciones de su carga en las cotas más bajas de las caras orientales de la cordillera, recién al coronar las cumbres -fenómeno que se da solamente en las partes más altas-, tienden a soltar también caudales a lo largo de las áreas en donde rodean los picos. Este hecho permite obtener dos conclusiones importantes:

Primero, que el aporte hídrico correspondiente a las cotas más bajas de los glaciares con vista hacia el altiplano y que se encuentran en actual retroceso por debajo de la línea de coronación y convergencia con las nubes yungueñas, era y es, pero ahora en menor escala, todavía brindado por este otro ecosistema para dar lugar al proceso de formación de los heleros; y segundo, que del mismo modo como en las circunstancias actuales, el mantenimiento de los glaciares con vista hacia la región amazónica depende de una faja altitudinal de vegetación delimitable con radio en los Yungas, y a cuyo respecto es necesario tomar en cuenta, que para su potencial delimitación "Germán Poveda, de la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín, ha construido desde ya un modelo sobre la cantidad de vegetación amazónica y páramo requeridos para alimentar permanentemente los glaciares" (com. pers. Dr. E. Palenque, Instituto de Física de la Atmósfera-UMSA), también aquí, otra faja quizás más angosta, pero más próxima, y con exposición directa a las montañas, también podría brindar condiciones como para que incluso en circunstancias en las que los glaciares por el lado amazónico tienden a retirarse igualmente a efectos de la elevación de la temperatura del planeta, tanto las ciudades de La Paz y El Alto, así como también las áreas de socialización que integran a las comunidades y otros centros poblados concentrados del Altiplano Oriental Norte, indistintamente, puedan compartir una oferta alternativa de recursos hídricos proporcionada por la evapotranspiración de esta nueva faja de vegetación renovada, que dispuesta para sustituir las funciones de regulación de la recarga hídrica para los glaciares ahora en pérdida por el lado occidental, y que actuaban a la manera de gigantescos embalses sólidos con la función de ser a su vez reguladores hídricos para la recarga de los sistemas de abastecimiento de las ciudades y para la descarga regulada directa de recursos hídricos para resolver las demandas del campo, les permita a éstas (a las ciudades y el campo) ir cubriendo, en función de sus requerimientos e incluso demandas anteriores, los déficits de suministro que progresivamente el cambio climático vaya a ir provocando sobre sus procesos de socialización y economía.

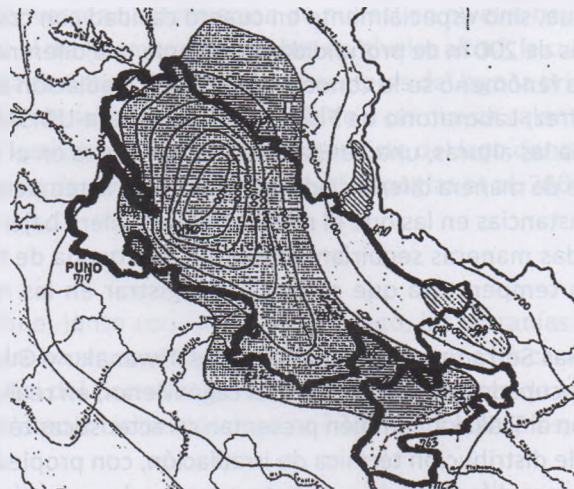
¿Qué puede entonces asegurarnos, que en este caso, los efectos climáticos a ser producidos por una nueva banda de vegetación a ser sembrada al pie de la cordillera, deban verse a su vez manifiestos en el Altiplano Norte, no sólo bajo la forma de lluvias que se precipiten dentro del área de la cuenca, sino, también, por otra parte, que la propia evapotranspiración producida por este nuevo macro-biotopo en el lado occidental, tienda a conservar, dentro del ecosistema del Altiplano Oriental Norte, un movimiento por el cual, de modo parecido al que hemos visto para la vertiente amazónica de las montañas, fuera precipitando además su carga hídrica en las cuencas a su contacto con las cumbres, para producir caudales de recarga en los ríos, en vez de irse empujada por ejemplo hacia la costa, al influjo de los vientos amazónicos que penetran por las abras u otros, y termine saliéndose por lo tanto, del ecosistema que nos interesa beneficiar?



Fuente: Montes de Oca (2004: 118)

**Fig. 8 Mapa de isoyetas de Bolivia**

- Según muestra el mapa de isoyetas que presenta Montes de Oca, (Fig. 8), el ecosistema Altiplano Oriental Norte posee un sistema de precipitaciones hídrico propio y distinto del sistema de precipitaciones del Altiplano Centro y Sur, con "procesos de la climatología anómala de la lluvia en los alrededores del lago", según (Douglas et al. 2000).
- Con un promedio de precipitaciones de 1200 m.m. para el centro del lago y de 1000 m.m. en la Cordillera Real; se generaliza un juego de isoyetas que apenas sí se sale del territorio boliviano. Convolucionando dentro de un corredor que se puede ubicar entre la Cordillera Real y el Lago Titikaca), éste se prolonga además hacia la ciudad de El Alto antes de rodear las Serranías Interaltiplánicas de Tiwanaku y Guaqui (véase la fig. 6), formando una banda de precipitaciones de entre 700 y 1000 m.m., con mayor abundancia de lluvias, siempre hacia el centro del lago (Fig. 9).



Fuente: Douglas et al. (2000).

**Fig. 9 Distribución Espacio Temporal de la Precipitación en la Cuenca del Lago Titicaca (período: 1968-1987)**



- "De acuerdo a Roche et al (1992) las isólinas de precipitación son concéntricas hacia el centro del lago con valores superiores a los 1000 m.m, a partir de la cual los valores tienden a disminuir hacia las orillas y tierra adentro, con lluvias de 500 a 600 m.m". Hacia las cimas de la cordillera oriental nuevamente aumentan, ocurriendo también ésto hacia el oeste, sin que este patrón de la distribución anual de la lluvia sufra variaciones significativas para el mes de diciembre, enero y febrero" (Douglas et al., 2000. *la cursiva negrita es nuestra*).
- En el corredor comprendido entre la Cordillera Real en su flanco Oeste, y por el Lago Titikaka + las Serranías Interaltiplánicas de Tiwanaku y Guaqui por el lado Oeste, a medida que nos adentramos hacia las montañas, las pendientes, que se van pronunciando cada vez más, actúan como factores precipitantes. En las regiones montañosas altas existe mayor actividad de condensación hídrica que en las regiones bajas del corredor. Punto a favor para asumir que la evapotranspiración que a través de un bosque se pueda generar al pie de la cordillera refluirá condensada por las cuencas hacia las regiones bajas.

#### Además:

- "La geomorfología circundante al lago por ser escarpada, determina que los vientos de superficie sean mayormente el resultado de patrones locales de escape (los obstáculos grandes tales como colinas y valles tienden a canalizar los vientos en direcciones específicas), y en la zona del lago se producen brisas Lago-Tierra. Durante el día, el aire se desplaza hacia las pampas, se invierte durante la noche, esto debido a que durante el día la tierra se calienta más que la superficie del lago" (Douglas et al. 2000).
- Ahora bien, para equilibrar sus metabolismos, las plantas transpiran cuando hay un máximo de temperatura y el aire se vuelve seco. Los máximos de temperatura en la región donde se propone colocar la masa de bosque señalada, se dan entre las 12.00 del medio día y las 15.00 de la tarde. A esa misma hora, también llegan las masas de aire procedentes de Los Yungas cargadas de humedad, confluyendo y mezclándose con esta otra evapotranspiración que es empujada hacia las montañas por las brisas Lago-Tierra desde la mañana; por lo tanto, a partir del medio día existen precipitaciones en las montañas. (Com. pers. Lic. Msc. Guillermina Miranda, Centro de Análisis Espacial-UMSA).
- Dentro de la regulación del clima local, la península de Achacachi tiene un papel muy importante (de tapón puede decirse), para definir, junto con el Lago Titikaka y las Serranías Interaltiplánicas, las formas de la circulación del aire dentro del corredor que se halla entre la Línea Lago-Serranías y la Cordillera, y al cual, en base a los fines de economizar el lenguaje, lo denominaremos "Corredor Achacachi-El Alto".

Como parte de los elementos que dan configuración a este corredor y a sus circulaciones de aire, el Lago Titikaka, no sólo en cuanto cuerpo de agua, sino especialmente en cuanto cavidad con cotas que se hallan por debajo del nivel del Altiplano (hasta con más de 200 m de profundidad), presenta una diferencia de temperatura con respecto a la temperatura exterior. A este fenómeno se lo conoce mejor como "radiación de cuerpo negro". Debido a este hecho, (com. pers. Lic. René Tórrez, Laboratorio de Física de la Atmósfera-UMSA), se puede inferir, que desde el Lago Titikaka se desprende hacia las alturas, una banda térmica que afecta en el ecosistema, a la manera de una pared vertical que calienta el aire de manera diferenciada con respecto a la temperatura exterior en los alrededores del lago, y que incluso en circunstancias en las que el nivel del lago pudiera bajar a efectos del cambio climático, su cuenca y este mismo, de todas maneras seguirían emitiendo una banda de temperatura de tal tipo, que se diferenciaría de cualquier otra temperatura que se pudiera registrar en las regiones externas a la cavidad.

- Por otra parte, con respecto a las Serranías Interaltiplánicas de Tiwanaku y Guaqui, con sus 4870 m de altura máxima y una importante área ocupada asemejable a la del Lago Menor, en realidad constituyen dos ramales de un mismo accidente con dirección al Titikaka. También presentan características térmicas diferenciadas que tienden a producir otra banda o forma de distribución térmica de irradiación, con propiedades de calentar verticalmente el aire que las circunda, de manera diferenciada y distinta a los modos con cómo éste -incluso en tiempos de cambio climático- vaya a calentarse en las regiones de la llanura ubicadas a sus pies.



**Fig. 10 Vista satelital de las Serranías Interaltiplánicas de Tiwanaku y Guaqui**

- Sumados ambos fenómenos térmicos, es decir, el del lago y el de las serranías en línea, más el hecho de que éstas últimas, además, en cuanto obstáculos tienen la propiedad de desviar el viento hacia arriba debido al hecho de que tienen la forma de un morro -más bien parejo- en su exposición hacia la cordillera, configuran en conjunto propiedades importantes que desde el flanco oriental del Corredor Achacachi-El Alto. A la llegada de los vientos anticiclónicos (todo el año), por las diferencias de temperatura que presentan las masas de aire con densidad diferente a su choque, se producen corrientes convectivas que vuelven a internar el aire amazónico dentro del corredor, formando un gran bucle o rodillo (con tapón en la península de Achacachi).
- Estas corrientes convectivas tienden a conservar la humedad en la cuenca, dando lugar a la formación de nubes y precipitaciones tanto en el lago como en sus alrededores, siguiendo el patrón de lluvias que se presenta en el mapa de isoyetas publicado por Montes de Oca (fig. 6).
- "Sobre la gran extensión del lago Titicaca se generan brisas hacia la tierra durante el día y hacia el lago durante la noche. Estas producen convergencia [formación de nubes] en niveles bajos sobre el centro del lago durante la noche y divergencia durante el día [formación de nubes en niveles altos], la cual puede estar estimulada o debilitada por la componente de escala sinóptica. Sobre algunos sectores del lago la brisa se ve intensificada por la presencia de las montañas, las cuales intensifican el viento debido a un mayor calentamiento diferencial y favorecen a la formación de convección. Durante el día sobre la margen Este del lago donde las montañas presentan una mayor altura se observa la formación de nubosidad convectiva" (Douglas et al, 2000).

#### De este modo:

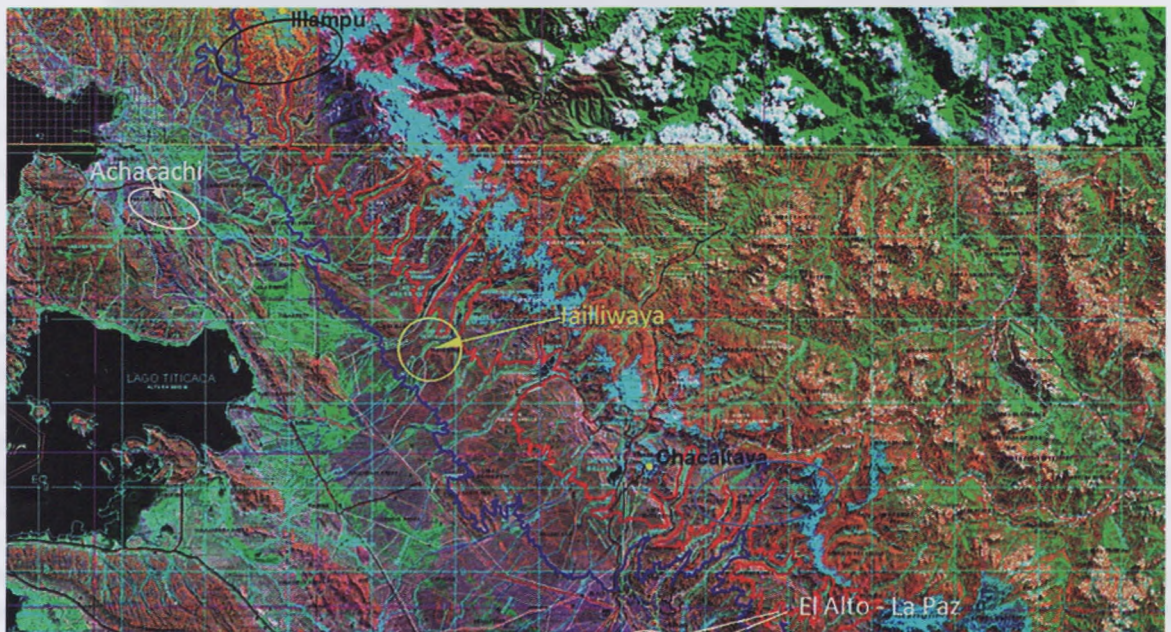
- Las condiciones térmicas que, junto con la cuenca del lago, las serranías proporcionan, al estar vinculadas a accidentes orográficos que las hacen especialmente independientes a los cambios climáticos, hacen del ecosistema Altiplano Norte, y en especial del Corredor Achacachi-El Alto, un área de integración ecológica privilegiada con capacidades para poseer y retener ciclos hidrológicos y confinados propios, una y otra vez, a lo largo del tiempo.

#### En conclusión:

Los caudales correspondientes a la evapotranspiración a ser producida por una banda de vegetación a ser colocada a

los pies del flanco occidental de la Cordillera Real en el Altiplano, y que sin llegar a precipitarse a su contacto con las montañas, más bien pasasen a la atmósfera, tenderían a conservarse igualmente en la cuenca; dicha evapotranspiración, no sólo que tenderá a precipitarse por la influencia de las montañas escurriendo hacia las cuencas para dar recarga a los acuíferos, sino que también lo hará bajo el formato de lluvias dentro del propio ecosistema Altiplano Oriental Norte, produciendo en consecuencia, (sin la promesa de restituir los glaciares, sino sólo contar con mayor cantidad de caudales hídricos disponibles en la cuenca) el resto de los efectos que este programa espera obtener. Es decir un mesoclima que proporcionará condiciones como para que los pobladores que aquí habitan, puedan integrar sus procesos útiles de vida en la región, con muchas menos dificultades de las que tendrían, si no se emprendiese desde ya dicho plantado. Debe tomarse en cuenta por último, que los procesos de la fotosíntesis, se producen en función de la absorción de las bandas infrarrojas del espectro, por lo cual, además, una banda de vegetación como la mencionada, contribuirá a bajar la temperatura en el corredor Achacachi-El Alto.

#### VII.- Un ejemplo de receptividad potencial en el ecosistema a ser forestado, área de Jailliwaya, prov. Los Andes.



Elab: PFI. 2009: Área comprendida a una altura de 4300 msnm, con radio de 200 m. Escala 1: 250.000.

Fig. 11 Diagrama preliminar del área a ser forestada

#### REFERENCIAS

Boero Rojo, H. (1991). "Comportamiento del lago Titicaca en los últimos 10.000 años y su relación con las altas culturas andinas"; en: La civilización andina; Alcegraf Editora; La Paz.

Blacutt, Luis A. (2007). "El paso de El Niño por Bolivia"; ponencia presentada en el Taller de Cambio Climático 21-22 de agosto de 2007, Academia Nacional de Ciencias; La Paz.

D'Angelo et al. "Sistemas hídricos subterráneos; el sistema hidrogeológico de los Andes y del Altiplano", en: Enciclopedia de Bolivia; Océano; Madrid; S.F.

Dejoux, C., Iltis A. et al. (1991). El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual; ORSTOM-HISBOL; La Paz-Bolivia.

Douglas, M. et al (200). "Una investigación sobre las circulaciones de las brisas de lago en el lago Titicaca y su relación

con la climatología de la lluvia en el área del lago: el experimento de campo del lago Titicaca, Diciembre 8-11 2000"; Laboratorio Nacional de Tormentas Severas-NOAA; Norman Oklahoma.

ESTADO DE BOLIVIA; Ley N° 2066: Ley modificatoria a la ley N° 2029 de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario; Ley de 11 de abril de 2000.

Esteban J.G., Flores A., Angles R., Strauss W., Aguirre C., y Mas-Coma S. (1997). "A population based coprological study of human fascioliasis in a hyperendemic area of the bolivian Altiplano"; Tropical medicine and international health 2, 295-699.

FAO (1999). Plan estratégico forestal de la FAO; Departamento de Montes FAO; Roma.

Fuentes M.V, Malone J.B, y MAS-COMA, S. (2001). "Validation of a mapping and predicting model for human fascioliasis transmission in the northern bolivian altiplano using remote sensing data". ACTATRÓPICA 79, 87-95 2001.

García,C., BECK, Stephan., Halloy, S. (2007) "La red GLORIA-ALARM: impactos de cambio climático en ecosistemas y sistemas productivos de altas montañas"; ponencia presentada en el Taller de Cambio Climático 21-22 de agosto de 2007, Academia Nacional de Ciencias; La Paz.

Jemio, M. "Deshielos: del exceso a la escasez de agua en La Paz"; La Prensa, Domingo; N°30 año 2; La Prensa; Mayo de 2007.

Mendoza, J., Francou, B., Ramirez, E., Pouyard, B.; "Chacaltaya, evolución de un pequeño glaciar en los andes de Bolivia, 16° "; En ARGOLLO, Jaime y MIRANDA, Guillermina; Simposio Nacional de Cambios Globales; ANCB-UMSA IIG-IE-CICG; La Paz; 2000.

Montes De Oca, I. (1997). Geografía y recursos naturales de Bolivia; EDOBOL; La Paz.

Montes De Oca, I. (2004). Enciclopedia geográfica de Bolivia; Editora Atenea; La Paz.

EPSAS; "Presentación de EPSAS"; en: Taller de presentación de los estudios, proyectos y demás emprendimientos técnico-científicos para encarar la problemática de la escasez de agua en el área metropolitana de La Paz; Plataforma Técnica Permanente; Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico; FPS; 14 de abril 2009.

Palenque, E.; "Actividades del LFA-UMSA sobre cambios climáticos"; ponencia presentada en el Taller de Cambio Climático 21-22 de agosto de 2007, Academia Nacional de Ciencias; La Paz, 2007.

Ramírez, E., Ginot P., Mendoza, J. y Rojas, F.; "El programa glaciológico en Bolivia"; Grupo de trabajo de nieves y deshielos para América Latina PHI-UNESCO; ponencia presentada en el Taller de Cambio Climático 21-22 de agosto de 2007, Academia Nacional de Ciencias; La Paz, 2007.

Roche, M.A. et al; "Climatología e hidrología de la cuenca del lago Titicaca"; en: Dejoux e Iltis et al (1991).

Sicart, J. E. (2007). "Glaciers an altitude water resources, climate and environmental indicators"; ponencia presentada en el Taller de Cambio Climático 21-22 de agosto de 2007, Academia Nacional de Ciencias; La Paz.

Con el auspicio de:



PROGRAMA NACIONAL  
DE CAMBIOS CLIMÁTICOS



EMBAJADA REAL  
DE DINAMARCA