



A-2

LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL SISTEMA TDPS

WATER RESOURCES IN THE TDPS SYSTEM

Jorge Molina Carpio, UMSA-IHH, jmolina_ihh@accelerate.com

Frédéric Satgé, IRD-GET

Ramiro Pillco Zola, UMSA-IHH

RESUMEN

El frágil equilibrio del sistema hídrico del Altiplano central de Sudamérica y las crecientes presiones antrópicas motivaron a los gobiernos de Perú y Bolivia a realizar estudios extensivos que culminaron en un Plan Director Binacional (1993) que definió el caudal medio anual que se podría aprovechar en todo el sistema sin poner en riesgo su sostenibilidad. Este caudal se estimó en 20 m³/s, repartidos en partes iguales entre los dos países. La Autoridad Binacional del Sistema Hídrico TDPS (ALT) fue creada por ambos gobiernos para ejecutar el Plan Director, actualizándolo continuamente en base a la información generada y proporcionada por los dos países. El presente análisis muestra una significativa reducción de los recursos hídricos superficiales en la parte media del sistema (cuenca del río Desaguadero), durante el periodo reciente 1991-08, con respecto al periodo 1965-90 usado en el Plan Director. Esta reducción del caudal del río Desaguadero se explica ante todo por la reducción de los aportes del lago Titicaca, del que el río Desaguadero es emisario. Estos resultados plantean la necesidad de actualizar el Plan Director. Sin embargo, la ALT no actualizó sus bases de datos hidroclimáticos después del año 1990. Tampoco dispone de datos de demanda y uso del agua en el sistema TDPS. Se proponen varias recomendaciones para mejorar el flujo de información y la gestión del agua en el sistema.

PALABRAS-CLAVE: RECURSOS HÍDRICOS, SISTEMA TDPS, GESTIÓN DEL AGUA

SUMMARY

The fragile equilibrium of the Altiplano water system and the growing anthropogenic pressures on it motivated the Governments of Peru and Bolivia to conduct extensive studies that culminated in a Binational Master Plan (1993), which defined the average annual flow that could be used throughout the system without jeopardizing their sustainability. This flow was estimated at 20 m³/s to be shared in equal parts by the two countries. A Binational Authority (ALT) was created by both Governments to implement the Master Plan, continuously updating it based on the information generated and supplied by the two countries. This analysis shows a significant reduction of water flow in the middle part of the system (the Desaguadero River basin) between 1991 and 2008, compared to the period 1965-90 used in the Master Plan. Flow reduction of the Desaguadero River is explained primarily by the reduction of the contributions of the Lake Titicaca, from which the Desaguadero River is the emissary. These results raise the need to update the Master Plan. However, the ALT did not update their hydrological and meteorological databases since 1990. It also lacks information on water demand and use in the TDPS system. Several recommendations are proposed with the aim of improving both the information flux and water management in the system.

KEY-WORDS: WATER RESOURCES, TDPS SYSTEM, WATER MANAGEMENT

A2.1. INTRODUCCIÓN

El Altiplano es una meseta endorreica que se extiende en los Andes Centrales de Sudamérica, entre 3.700 y 4.300 m de altitud. Está situado entre dos ramales de Los Andes, denominados Cordillera Oriental y Occidental, que lo separan de la Amazonía al Este y de la cuenca desértica del Pacífico al Oeste.

El sistema hídrico del Altiplano se caracteriza por la presencia de dos grandes lagos (Titicaca y Poopó) conectados por el río Desaguadero y dos grandes salares al sur (Figura A2-1). El río Desaguadero lleva el caudal excedente del lago Titicaca al lago Poopó, del cual es la principal fuente de agua. Esos cuerpos de agua dan origen al acrónimo TDPS (Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa) con que se conoce al sistema, cuya superficie es de 144000 km², excluyendo al Salar de Uyuni y la región altiplánica al sur de este salar. El punto más alto del sistema TDPS es el volcán Sajama (6542 m).

El sistema presenta un gradiente de precipitación Norte-Sur y Este-Oeste (ver Figura A2-2). Las zonas norte y Este, que limitan con la cuenca amazónica, son las más húmedas, con valores hasta 1100 mm/año en la parte norte. En contraste, el extremo sudoeste del sistema recibe precipitaciones del orden de 200 mm/año. Se presenta otro máximo, con precipitaciones superiores a 1300 mm/año, sobre el lago Titicaca, asociado a los efectos locales de ese cuerpo de agua. Más del 70% de la precipitación anual ocurre durante el verano austral (diciembre a marzo), transportada como vapor precipitable por los vientos alisios desde el Atlántico Tropical y la extensa llanura amazónica al Este. Ese origen y las condiciones secas y estables determinadas por el Anticiclón Sudoriental del Pacífico,

son los principales factores del gradiente pluviométrico del sistema TDPS (Vuille *et al.* 2000).

La evapotranspiración potencial (ETP) ha sido estimada (Intecsa *et al.* 1993b) en un rango de 1000 a 1850 mm/año, con los valores más altos en la parte sur del sistema.

El sistema hídrico es muy sensible a las variaciones climáticas (Pillco & Bengtsson 2007). El lago Poopó, de 3000 km² de superficie a nivel de vertido, es muy poco profundo y puede secarse a veces. Rara vez tiene flujo de salida. El lago Titicaca es más grande (8400 km² de superficie en promedio) y profundo. Durante diversos periodos durante el cuaternario, el sistema ha pasado alternativamente de estar ocupado en gran parte de su superficie por uno o dos grandes lagos, hasta situaciones en que el único cuerpo de agua era el lago Titicaca, con una superficie y profundidad muy inferiores a las actuales (Clayton & Clapperton 1995, Blodgett *et al.* 1997, Fritz *et al.* 2004). Cambios relativamente modestos de las condiciones de precipitación y evaporación son suficientes para cambiar el estado hidrológico del sistema.

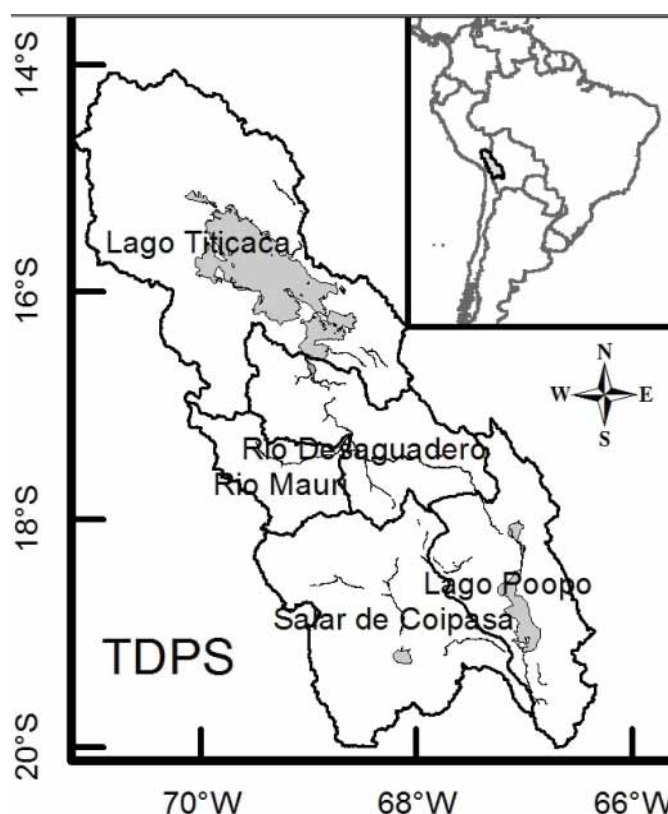


Figura A2-1: Sistema TDPS y subcuencas principales. Fuente: Intecsa *et al.* 1993c

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

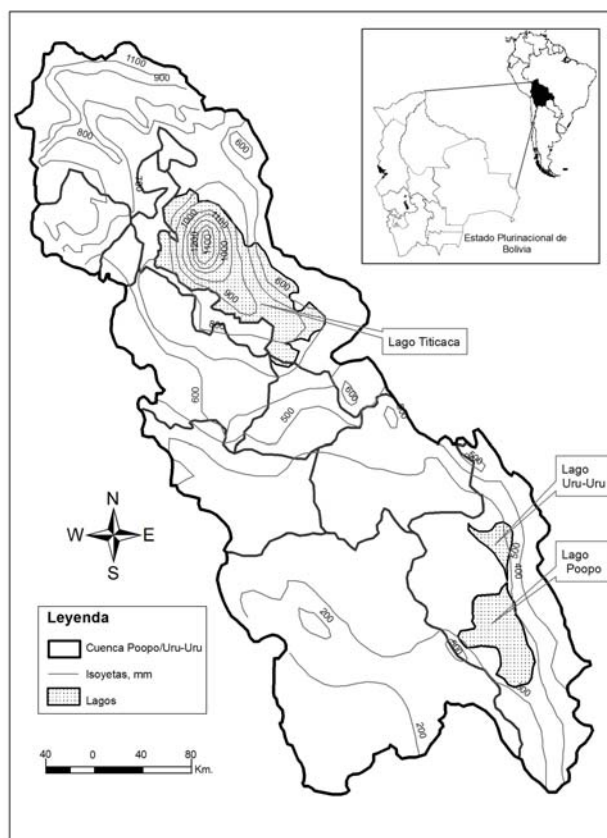


Figura A2-2: Isoyetas de precipitación media anual, 1960-90. Fuente: Intecsa et al. 1993b

Un episodio de sequía alrededor de 1100 DC fue devastador para la civilización de Tiwanaku (Binford et al 1997).

El frágil equilibrio del sistema hídrico y las crecientes presiones antrópicas motivaron a los gobiernos de Perú y Bolivia a realizar estudios extensivos que culminaron en un Plan Director Binacional (Intecsa et al. 1993a). El Plan Director definió, entre otras cosas, el caudal que se podría aprovechar en todo el sistema sin poner en riesgo su sostenibilidad. Ese caudal se estimó en 20 m³/s, repartidos en partes iguales entre los dos países. Los 10 m³/s correspondientes a Perú provendrían ante todo del aprovechamiento de las aguas de los tributarios del lago Titicaca, mientras que Bolivia aprovecharía 10 m³/s principalmente del río Desaguadero. La Autoridad Binacional del Sistema Hídrico TDPS (ALT) fue creada por ambos gobiernos para ejecutar el Plan Director, y para actualizarlo continuamente en base a la información que generaran y proporcionarán por dos países.

Este capítulo analiza los recursos hídricos del sistema TDPS y su variabilidad espacial y temporal. Debido a las diferencias en información y estudios disponibles, el análisis se realizó por subcuencas: lago Titicaca, río Desaguadero y lago Poopó.

A2.2. LA CUENCA DEL LAGO TITICACA

La cuenca del lago Titicaca ocupa la parte alta del sistema TDPS, entre 14°S y 17°S de latitud y 71°W y 68°W de longitud. Su superficie es de 56 270 km². El sector norte y oeste de la cuenca pertenece a Perú y el sector sur y este a Bolivia. La cuenca está dividida en varias sub-cuencas, cinco de las cuales contribuyen con el 66,6 % de los aportes de agua al lago. Ellas son las cuencas de los ríos Ramis (28.3%), Coata (16.4%), Ilave (12.6%), Huancané (6.5%) y Suches (2.8%) (Carmouze & Aquize 1981). El nivel medio del lago es de 3810 m, que corresponde a una superficie de 8400 km² y un volumen medio de 930.106 km³ (Intecsa *et al.* 1993d). El lago está compuesto de dos partes: el lago mayor (7131 km²) y el lago menor (1426 km²), conectados por el estrecho de Tiquina (Boulanger & Aquize 1981). La bahía de Puno se ubica en la parte noroeste del lago mayor. El emisario del lago Titicaca es el río Desaguadero, que desemboca en el lago Poopó.

Varias estimaciones del balance hídrico del lago Titicaca fueron desarrolladas previamente (Kessler & Monheim 1966, Richerson 1977, Carmouze *et al.* 1977, Carmouze & Aquize 1981, Lozada 1985, Roche *et al.* 1992a). El último balance hídrico fue desarrollado para el periodo de 1965-90 a escala de tiempo mensual por Intecsa *et al.* (1993d). Roche *et al.* (1992a) propuso la ecuación 1 de balance hídrico del lago Titicaca.

Ecuación A2-1: Balance hídrico de la cuenca del Lago Titicaca

$$P + Q_t + Q_n = E + Q_d + Q_i + Q_e + \Delta H$$

P = Precipitación en el lago; **Q_t**=Aporte de los tributarios; **Q_n** = Aporte freático; **E** = Evaporación del lago; **Q_d** = Pérdidas por exutorio Desaguadero; **Q_i** = Infiltración profunda; **Q_e**= Exportación (trasvase) artificial eventual fuera de la cuenca; **Δ_H** = Variación del almacenamiento.

La Tabla A2-1 sintetiza los resultados del balance hídrico del lago según diversos autores. Por falta de información y conocimiento, los parámetros **Q_n**, **Q_i** no fueron estudiados o estimados en todos los estudios. Los autores concluyeron que **P** y **Q_t** representan cada uno alrededor del 50% del aporte total al lago. Respecto a las salidas, todos destacaron que la evaporación es predominante: 90% del total. Los autores que incluyeron infiltración (Carmouze *et al.* 1977, Carmouze & Aquize 1981, Lozada 1985)) estimaron una salida por el río Desaguadero menor (aproximadamente 2%) que los otros (Kessler & Monheim 1966, Roche *et al.* 1992a) (aproximadamente 10%).

Tabla A2-1: Componentes del balance hídrico según estudios previos. P y E (mm/año), Q (10^9 m³/año).

Autores	Periodo	P	Qt	Qn	E	Qi	Qd	Qe
Kessler & Monheim 1966	1957-1961	910	4.70		1480		8	
Carmouze <i>et al.</i> 1977	1956-1973	895	6.75		1550	0.62	0.66	
Carmouze & Aquize, 1981	1964-1978	1064	8.25		1718	8.25	0.22	
Lozada 1985	1968-1982	977	8.86		1670	1.67	0.39	
Roche <i>et al.</i> 1992 ^a	1968-1987	880	8.51		1670		1.36	

Los aportes de los tributarios y las salidas por el río Desaguadero pudieron ser medidos y evaluados con relativa precisión. Al contrario, la lluvia que cae en el lago y la evaporación desde éste solo pudieron ser estimadas a partir de una red de estaciones meteorológicas ubicadas en su mayoría fuera del lago. Solamente 2 (Isla Taquile, Isla del Sol) de las 35 estaciones pluviométricas usadas en el Plan Director (1965-90), estaban ubicadas dentro de los límites de lago. Además solamente pudieron usarse los registros de evaporación de cinco estaciones.

Los Servicios Nacionales de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Perú y Bolivia fueron la fuente de los datos utilizados en los estudios mencionados en la Tabla A2-1. Intecsa *et al* (1993b 1993c) crearon una base de datos hasta el año 1990, de paso mensual, cuya administración es responsabilidad de la Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Sistema TDPS (ALT). La ALT no actualizó esa base de datos. Por esa razón y por las dificultades de acceso a los datos peruanos, aún no es posible llevar a cabo el balance hídrico del lago para el periodo 1990–2012. Presentamos a continuación las condiciones que se requieren para realizar un balance hídrico del lago Titicaca, tomando en cuenta las incertidumbres en la evaluación del aporte por lluvia y de las salidas por evaporación en el lago.

A2.2.1. PRECIPITACIÓN EN EL LAGO

Contribuyendo con más de 50 % del aporte, las lluvias sobre el espejo de agua del lago constituyen el principal aporte de agua del sistema. Sin embargo, la lluvia se mide localmente por medio de estaciones pluviométricas cuyos datos tienen que ser extrapolados a gran escala. De manera general, los datos de la cuenca del lago Titicaca pueden agruparse en tres periodos: 1965 hasta 1990 ; 1990 hasta 2002 ; 2002 hasta la fecha.

Las 19 estaciones ubicadas en el territorio boliviano y usadas durante el periodo 1965-90 (Intecsa *et al.* 1993d) estaban bien distribuidas alrededor del lago (Figura A2-3) y disponían de registros relativamente completos. Para el periodo 1990-2002, se dispone de registros diarios en 26

estaciones de la parte boliviana, completos en más del 70%. Después de 2002 el número de estaciones bajó a 21. El Plan Director (Intecsa *et al.* 1993d) recomendó instalar estaciones pluviométricas suplementarias. Sin embargo esas estaciones debían ser ubicadas en islas del lago (Isla Suana, Isla Campanario, Isla Pulpito, etc...) para obtener información más robusta de la lluvia que cae en el lago mismo. Actualmente la situación es similar a la que existía antes de 1990. La región cuenta con 2 estaciones suplementarias, pero 2 estaciones en lugares clave (Copacati y Taraco) no funcionan y ninguna estación ha sido instalada en otra isla.

Estimar la lluvia sobre el lago a partir de estaciones ubicadas en las riberas no lleva a resultados sólidos. En medios tropicales la precipitación presenta una gran variación temporal y espacial, por lo que la extrapolación de datos de lluvia (Thiessen, Krigging, etc...) a gran escala es una aproximación sujeta a errores. Además por la humedad atmosférica asociada al lago, la precipitación es mayor dentro del espejo de agua que en las estaciones fuera de éste que se usarían para estimar esa precipitación. Este fenómeno fue observado localmente en las estaciones ubicadas en las islas Taquile (norte) e Isla del Sol (sur) (Roche *et al.* 1992a).

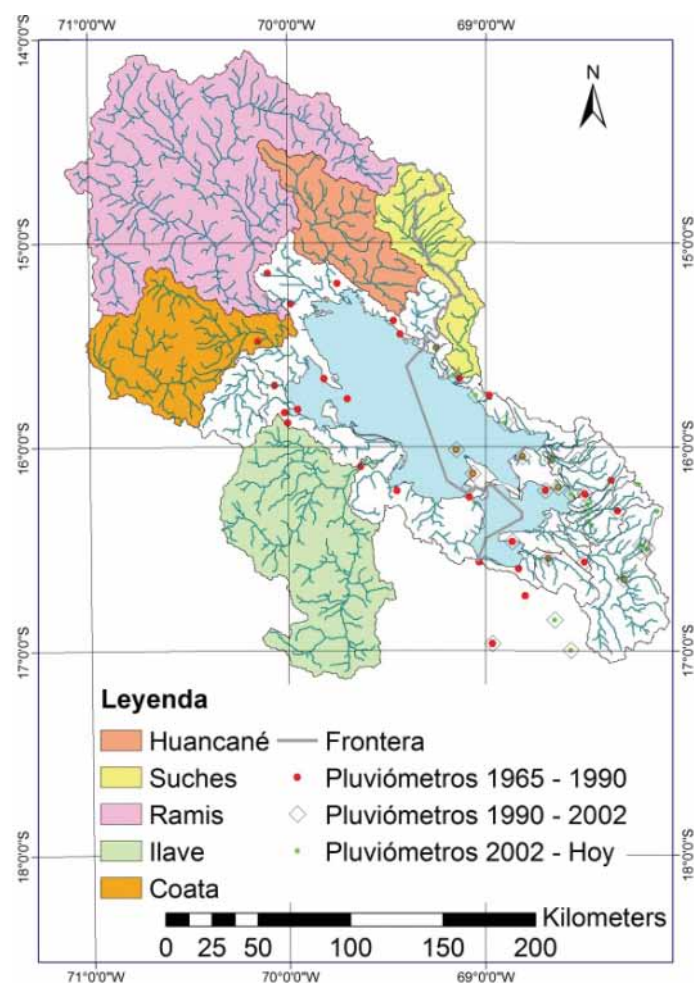


Figura A2-3: Cuenca del Lago Titicaca y localización de las estaciones pluviométricas

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

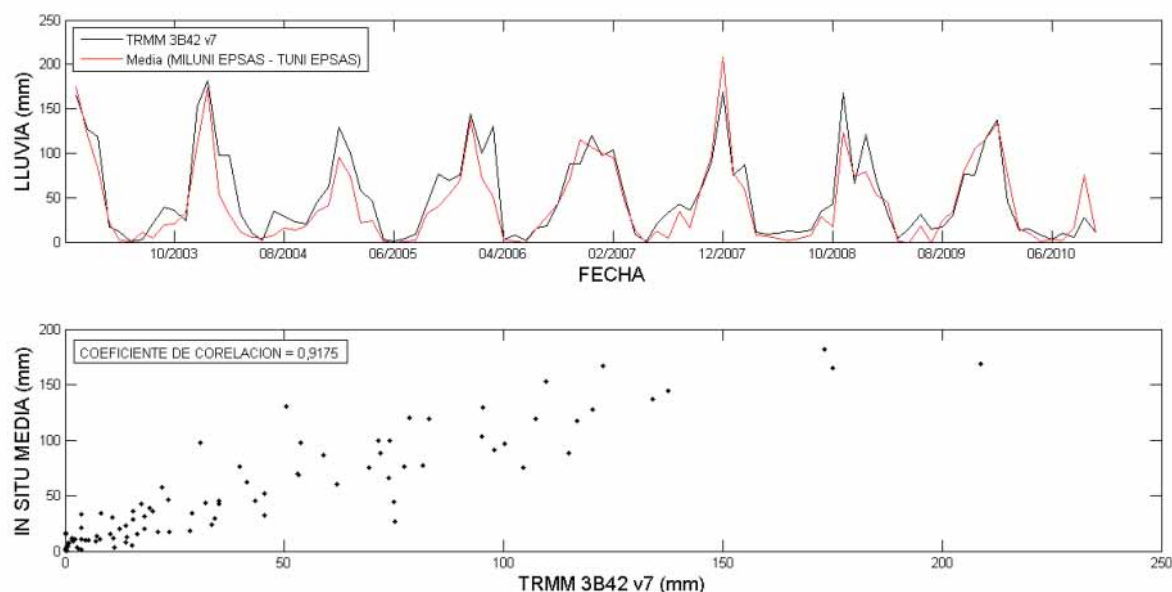


Figura A2-4: Series temporales de lluvia mensuales (arriba) y correlación (abajo) de datos TRMM y pluviómetros

Desde 1998 se dispone de datos de lluvia a escala global estimados a partir de satélite. De los diferentes productos disponibles, el Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y el del Climate Prediction Center MORPHing (CMORPH) ya fueron evaluados y usados a gran escala con buenos resultados (Gao & Liu 2013, Thiemig *et al.* 2012, Collischonn *et al.* 2008, entre otros).

Con una resolución espacial de 0.25° y temporal diaria, este tipo de datos puede ser una alternativa complementaria a la red terrestre. La Figura A2-4 muestra una comparación entre datos de la última versión TRMM (TRMM 3B42 v7) y pluviómetros, para el periodo 2003-2010. Como los registros satelitales representan una lluvia media del área del píxel, la comparación se realizó con el promedio de dos estaciones terrestres por píxel (Figura A2-4).

A2.2.2. EVAPORACIÓN DEL LAGO

Representando aproximadamente 90 % de las salidas de agua, la evaporación es el componente más importante del balance hídrico del Lago Titicaca. Varios estudios han intentado estimar la evaporación del lago. Los resultados se presentan en la Tabla A2-2. El rango de valores estimados de evaporación, de 1480 a 1990 mm/año, es atribuible a las diferencias en periodo, metodología y registros, pero también a la variabilidad temporal del comportamiento del lago.

Tabla A2-2: Estimación de la evaporación del lago Titicaca (mm/año)

Referencias	Evaporación	Periodo	Metodología
Kessler & Monheim 1966	1480	1957-1961	Balance hídrico
Richerson 1977	1334-1990	1973	Balance hídrico – Balance térmico
Carmouze <i>et al.</i> 1977	1550	1956-1973	Balance hídrico
Carmouze & Aquize 1981	1718	1964-1978	Balance hídrico
Carmouze <i>et al.</i> 1983	1720	1954-1978	Balance energético
Lozada 1985	1670	1968-1983	Tanque clase A

Algunos autores calcularon las pérdidas por infiltración profunda (Carmouze *et al.* 1977, Carmouze & Aquize 1981, Lozada 1985), aplicando el método de balance de cloro. Tomando en cuenta la falta de información sobre la hidrogeología de la región (Gumiel 1988, Guyot & Gumiel 1990, Roche *et al.* 1992a) calcularon una pérdida “total” de 1630 mm/año, que incluye evaporación, pérdidas por infiltración profunda y aporte del acuífero superficial (freático).

En el ámbito del estudio del Plan Director, la evaporación fue determinada a partir de datos de cinco tanques de clase A ubicados en las márgenes de lago. Tomando en cuenta que una disminución de la temperatura del lago corresponde a un incremento de la evaporación y, al contrario, un incremento de la temperatura del lago corresponde a una disminución de la evaporación, se llevó a cabo una campaña de medición de temperatura del agua del lago en 38 puntos (Figura A2-5) para mejorar la estimación de la evaporación. En el estudio se recomendó continuar con campañas de mediciones de temperatura del lago 4 veces al año en 12 puntos: 10 en el lago mayor, 1 en el lago menor y 1 en la bahía de Puno. Tal seguimiento permitiría una mejor evaluación de la evaporación del lago, pero no se llevó a cabo.

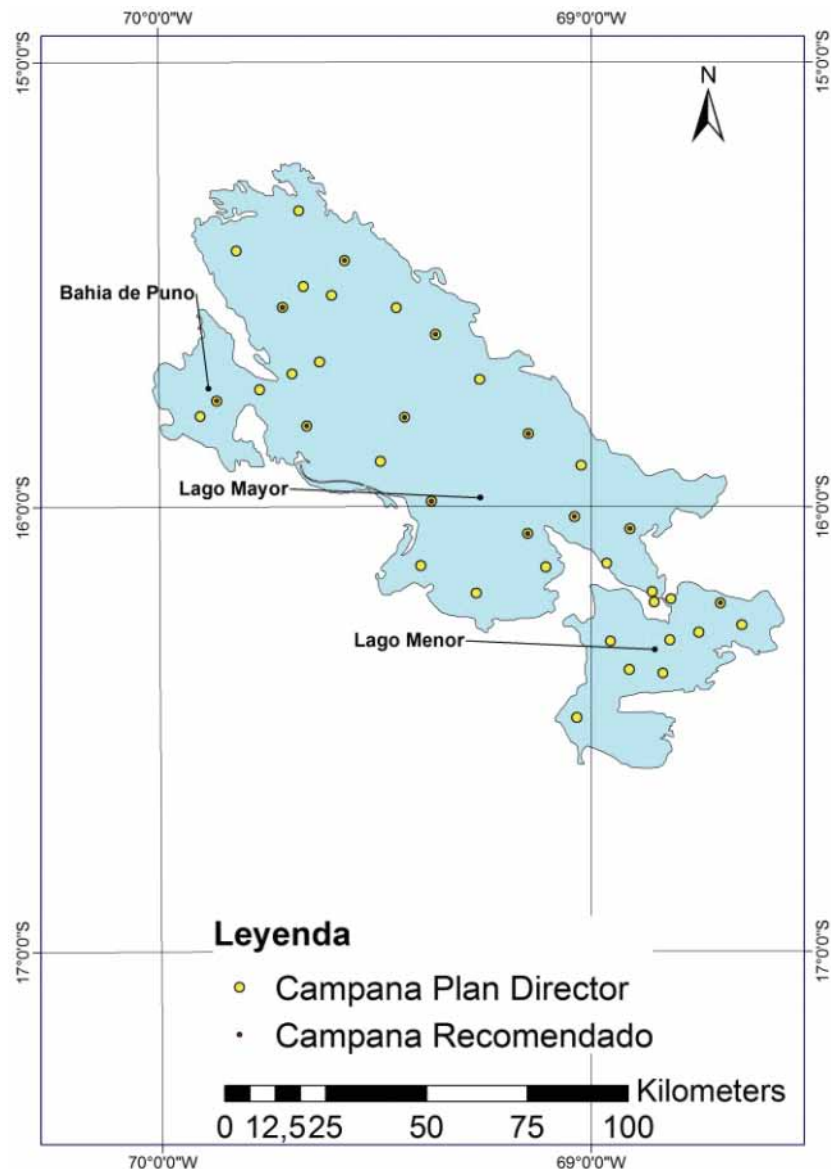


Figura A2-5: Localización de los puntos de mediciones para un seguimiento de la temperatura del agua del Lago Titicaca

Declaux *et al.* (2007) compararon resultados previos de Carmouze *et al.* (1992) entre 1964 y 1978 con evaporación obtenida a partir de cinco modelos de cálculo de evaporación, que solamente necesitan datos fáciles de obtener (radiación solar y temperatura del aire). Dos modelos (ABTEW y MAKING) destacaron por su mejor correlación y menor desviación con los datos de referencia. Tomando en cuenta la baja disponibilidad de datos en la cuenca, esos modelos podrían constituir una alternativa para la estimación de la evaporación del lago en el periodo 1990–2012.

A2.3. LA CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO

El río Desaguadero nace en el extremo sudoccidental del lago Titicaca y desemboca en el lago Poopó. La subcuenca del río Desaguadero se sitúa entre 16°S y 18°S de latitud y 67°W y 70°W de longitud y

drena un área de 29850 km², medida entre la estación hidrométrica de Puente Internacional en la población de Desaguadero y la estación de Chuquiña (Intecsa *et al.* 1993c). De esa superficie, 9800 km² pertenecen a la subcuenca del río Maure-Mauri (río denominado Maure en Perú y Mauri en Bolivia), su principal afluente. La cuenca del río Maure-Mauri ocupa la porción sudoccidental del Altiplano Central (Figura A2-1), entre 6300 y 3795 metros sobre el nivel del mar. El río Maure-Mauri nace en la cordillera occidental al oeste, de origen volcánico.

A partir de la confluencia con el río Maure-Mauri cerca a la población de Calacoto, el río Desaguadero sufre cambios morfológicos significativos. Su pendiente aumenta con respecto al tramo aguas arriba de Calacoto, y con ello, su velocidad de flujo. Se observa también que el tamaño medio del material del cauce del río Desaguadero se incrementa, debido a los aportes de sedimentos más gruesos, provenientes sobre todo del río Blanco, afluente del río Maure-Mauri.

En las cercanías de la población de La Joya, inmediatamente aguas abajo de la estación hidrométrica de Chuquiña, el río Desaguadero se divide en dos brazos. Sobre el brazo izquierdo se encuentra el lago Uru Uru y casi todos los sistemas de riego importantes del Bajo Desaguadero. Debido a diversos problemas, como la sedimentación, el caudal que fluye por el brazo izquierdo tiende a disminuir con el tiempo. Se estima que actualmente representa en promedio entre un 30 y 40% del caudal del río en la estación hidrométrica Chuquiña. Los dos brazos principales se subdividen a su vez en múltiples canales que desembocan, en último término, en el lago Poopó.

Tabla A2-3: Estaciones hidrométricas de la cuenca del río Desaguadero

Estación Hidrométrica	Coordenadas (°)		Hidrografía		Altitud m	País	Dpto
	Latitud	Longitud	Subcuenca	Río			
Vilacota	-17.07	-70.04	Mauri	Quilvire	4480	Perú	Tacna
Kovire (Ancoaque)	-17.20	-69.94	Mauri	Ancoaque	4391	Perú	Tacna
Chuapalca	-17.30	-69.64	Mauri	Mauri	4158	Perú	Tacna
Frontera	-17.40	-69.46	Mauri	Mauri	4000	Perú	Tacna
Bocatoma Uchusuma	-17.58	-69.64	Mauri	Uchusuma	4260	Perú	Tacna
Abaroa Mauri	-17.52	-69.25	Mauri	Mauri	3950	Bolivia	La Paz
Abaroa Caquena	-17.53	-69.25	Mauri	Caquena	3950	Bolivia	La Paz
Calacoto Mauri	-17.30	-68.65	Mauri	Mauri	3792	Bolivia	La Paz
Aguallamaya	-16.82	-68.90	Desag.	Desag.	3805	Bolivia	La Paz
Calacoto Desaguadero	-17.25	-68.61	Desag	Desag.	3790	Bolivia	La Paz
Ulloma	-17.49	-68.49	Desag	Desag.	3775	Bolivia	La Paz
Chuquiña	-17.78	-67.46	Desag	Desag.	3710	Bolivia	Oruro

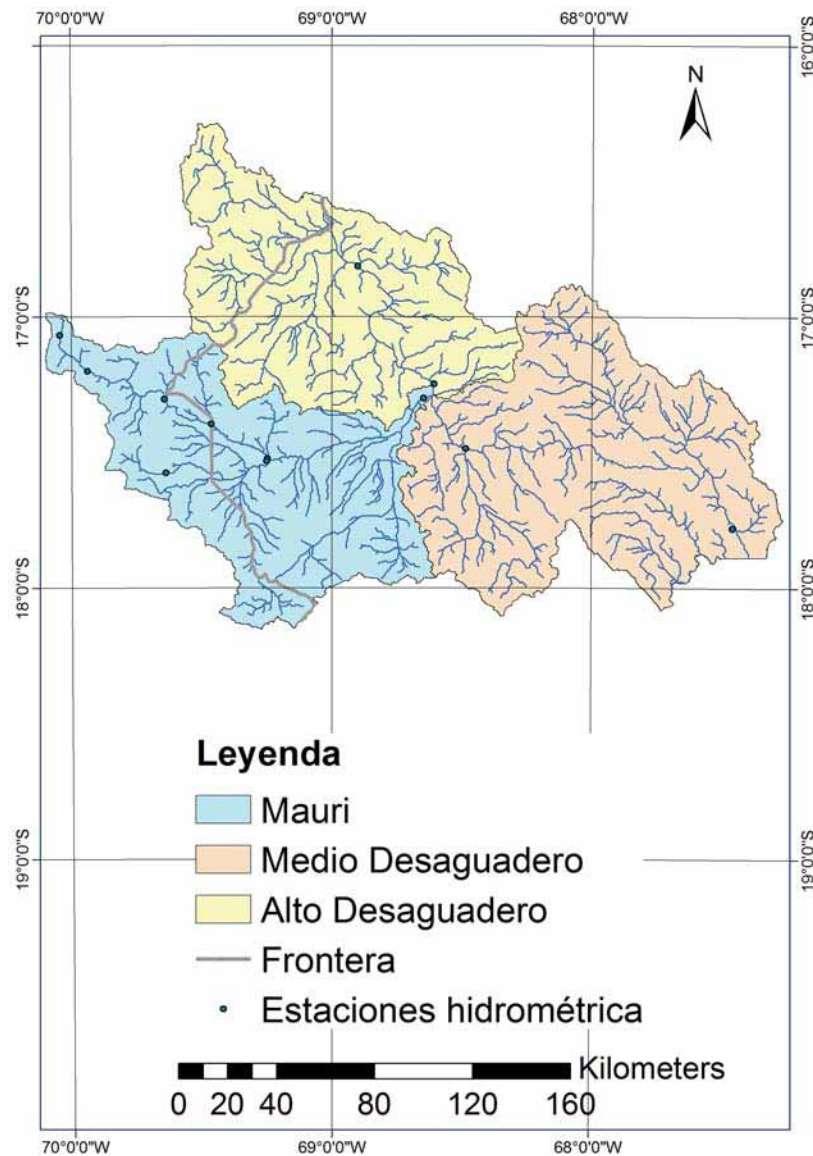


Figura A2-6: Ubicación de estaciones hidrométricas de la cuenca Maure-Mauri-Desaguadero.

La temperatura media anual está influenciada principalmente por la altitud, con rangos de variación de 2 a 8 °C entre 3800 y 4400 msnm en la subcuenca del Maure-Mauri, En la planicie altiplánica a lo largo del río Desaguadero y en los alrededores del lago Poopó, la temperatura media oscila entre 7.5 y 11 °C, con los valores más altos en las cercanías de Oruro y Chuquiña. La variación diaria de la temperatura (15-25 °C) es más grande que la variación estacional.

La Figura A2-6 muestra la ubicación y la Tabla A2-3 la lista de estaciones hidrométricas cuyos datos estuvieron disponibles para el presente análisis (Gutiérrez & Molina 2012). El primer grupo de 5 estaciones se ubica en la cuenca alta del río Maure-Mauri en Perú. Las otras 7 estaciones están situadas en Bolivia, tres de ellas en la cuenca del río Maure-Mauri. Los registros 1965-90 de 6 de las 7 estaciones bolivianas fueron analizados en el Plan Director (Intecsa *et al.* 1993c). La excepción es Aguallamaya, que en 1992 reemplazó a Puente Internacional como estación de control a la salida del

lago Titicaca, lo que se justifica por las características hidráulicas y morfológicas del tramo inicial del río Desaguadero (Rocabado *et al.* 2011).

La Figura A2-7 muestra los caudales medios mensuales en forma de hidrógramas para la estación de Calacoto Mauri y las tres estaciones situadas sobre el río Desaguadero. Si bien existe una fuerte variación intermensual, se observa también que el flujo base (de época de estiaje) es importante, especialmente el del río Maure-Mauri en Calacoto. El comportamiento de la estación de Calacoto Desaguadero, con un máximo anual en Marzo, está influenciado por el lago Titicaca, que alcanza su nivel máximo en abril para un año medio.

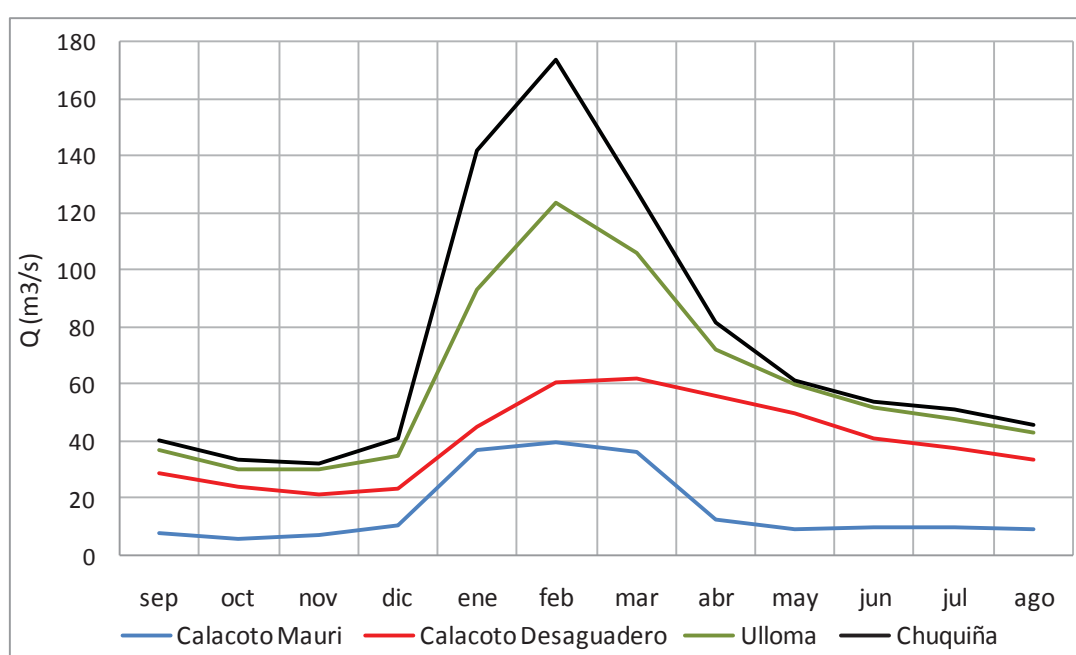


Figura A2-7: Hidrógrama medio en Calacoto Mauri y estaciones del río Desaguadero, periodo 1965-08. Fuente: Gutiérrez & Molina, 2012.

La variabilidad interanual del escurrimiento se analiza mediante el vector regional de tres estaciones hidrométricas situadas sobre el río Desaguadero (Figura A2-8) y de las estaciones situadas sobre el río Maure-Mauri, desde Vilacota hasta Calacoto (Figura A2-9). Se utilizó el año hidrológico septiembre-agosto. Un índice del vector superior a 1 indica un año húmedo en que el caudal o escurrimiento del grupo de estaciones fue superior el promedio interanual. Un valor inferior a 1 indica un año deficitario. El vector del grupo se muestra como línea roja gruesa.

En el caso del río Desaguadero se observa una gran variación interanual, con años como el 1985-86 en que el vector regional superó el valor de 4 y años en que estuvo por debajo de 0.3. Se observa también que la variación interanual del vector en la cuenca del río Maure-Mauri es considerablemente más baja que la que se presenta sobre el río Desaguadero. Además permite

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

caracterizar al periodo anterior a 1972 y la década del 90 como periodos secos en ambas subcuencas.

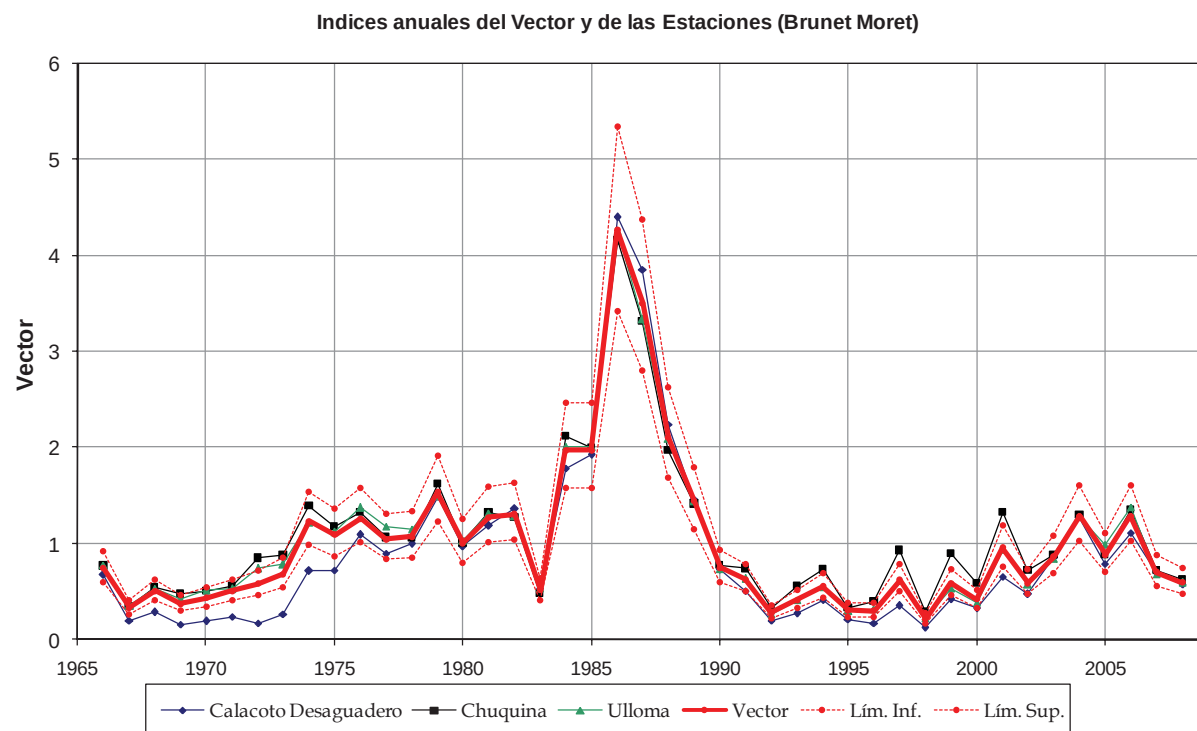


Figura A2-8: Vector regional de las estaciones del río Desaguadero, 1965-08. Fuente: Gutiérrez & Molina 2012.

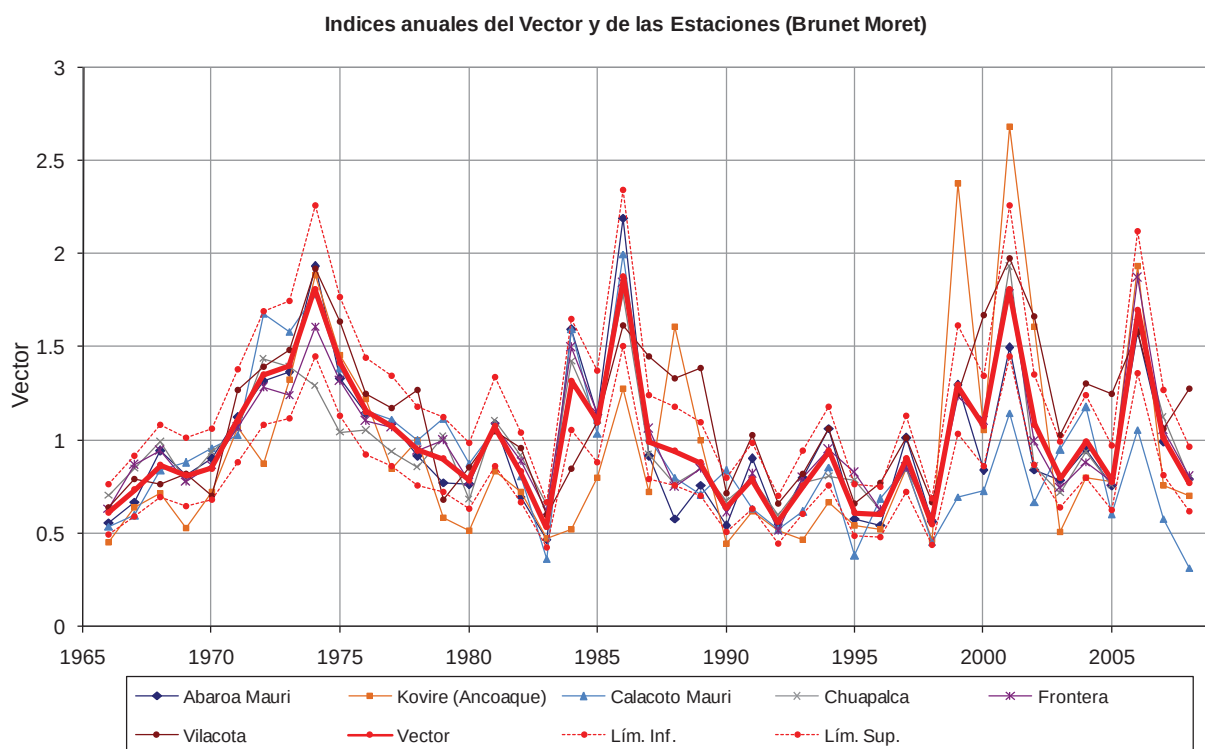


Figura A2-9: Vector regional de las estaciones del río Maure-Mauri, 1965-08. Fuente: Gutiérrez & Molina 2012.

La Tabla A2-4 muestra el caudal medio por periodos, en 11 estaciones de la cuenca. En estaciones hidrométricas de la cuenca alta del río Mauri donde se producen extracciones, como Kovire o Bocatoma Uchusuma, la tabla A2-4 muestra los caudales antes de que se produzca la extracción, es decir, caudales naturales o naturalizados. Para el conjunto del periodo 1965-08, el caudal específico medio de la subcuenca entre Calacoto Desaguadero y Chuquiña, de 21700 km² de superficie, fue de 1.3 l/s-km², equivalentes a una lámina de escurrimiento $q=41$ mm/año. Este valor es significativamente inferior al estimado en el Balance Hídrico de Bolivia (Roche *et al.* 1992b) para el periodo 1968-82: $q=52$ mm/año, precipitación media $P=413$ mm/año y evapotranspiración real de 361 mm/año.

Se observa una considerable reducción (42-54%) de los caudales registrados en las estaciones sobre el río Desaguadero, con respecto al periodo 1965-1990 evaluado en el Plan Director. Confirmando ese comportamiento, el lago Poopó, cuya existencia depende del aporte del río Desaguadero, se secó dos veces durante la década del 90 (Pillco y Bengtsson 2007). La reducción es menor (7-40%) en las estaciones de la cuenca media y baja del río Maure-Mauri. Las estaciones situadas en las cabeceras de cuenca del río Maure-Mauri (Vilacota, Kovire y Uchusuma) no muestran reducción de caudal.

Tabla A2-4: Caudal medio (m³/s) por periodo. Fuente: Gutiérrez & Molina, 2012

Estación hidrométrica	Caudal promedio anual por período			Relación
	Qa(65-90)	Qb(91-08)	Q(65-08)	Qb/Qa
Vilacota	0.35	0.36	0.36	1.04
Kovire	0.55	0.61	0.58	1.11
Chuapalca	3.16	2.95	3.07	0.93
Frontera	3.96	3.67	3.84	0.93
Bocatoma Uchusuma	0.83	0.87	0.84	1.05
Abaroa Mauri	5.05	4.47	4.81	0.89
Abaroa Caquena	2.86	1.73	2.39	0.60
Calacoto Mauri	18.7	12.5	16.1	0.67
Calacoto Desaguadero	51.9	23.8	40.1	0.46
Ulloma	77.0	38.3	60.8	0.50
Chuquiña	89.1	52.0	73.6	0.58

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

Se plantean tres hipótesis para explicar la significativa reducción del flujo en las estaciones situadas a lo largo del río Desaguadero para el periodo 1991-08:

1. Reducción de los aportes del lago Titicaca al río Desaguadero
2. Disminución del escurrimiento en la cuenca como consecuencia de la disminución de la precipitación media, con respecto al periodo 1965-90
3. Incremento de la extracción de agua en la cuenca alta del río Maure-Mauri y a lo largo del río Desaguadero.

Un análisis de los datos muestra que la primera hipótesis es la que explica la mayor parte de la reducción del caudal del río Desaguadero entre los periodos 1965-90 y 1991-08. En la Tabla 4 se observa que en la estación de Calacoto Desaguadero, donde el caudal registrado proviene en su mayor parte del lago Titicaca (durante el periodo 2003-08 el caudal registrado en Aguallamaya representó el 90% del caudal en Calacoto Desaguadero), la reducción de caudal fue de 28.1 m³/s (51.9-23.8), es decir un 75% de la reducción de caudal en Chuquiña (37.1 m³/s= 89.1-52.0).

El caudal medio registrado en Calacoto Desaguadero durante el periodo 1991-08, de 23.8 m³/s, es incluso inferior al valor de 27.8 m³/s estimado por simulación en Aguallamaya para el periodo 1920-92 (Maidana 2013), que sirvió como base para definir los caudales de aprovechamiento en la Cuenca. Aguallamaya es el punto de control hidrométrico que se usa actualmente como punto de salida del lago Titicaca.

La Figura A2-10 muestra el vector regional de las estaciones pluviométricas de la cuenca, para dos grupos regionales: el formado por las estaciones de la cuenca del río Maure-Mauri y el formado por las estaciones de la cuenca del río Desaguadero medio e inferior. El valor medio del vector para el periodo 1991-08 muestra que, con respecto al periodo 1965-90, la lluvia media anual se redujo en 6% en el periodo 1991-08 para el grupo Maure-Mauri y en 11% para el grupo Desaguadero. Debido al proceso precipitación-escurrimiento, la disminución relativa (%) del escurrimiento debió ser mayor. Se observa que a nivel interanual, el comportamiento del vector de la precipitación es similar al de escurrimiento (Figura A2-9) en la cuenca del río Maure-Mauri, pero presenta diferencias para las estaciones del río Desaguadero, debido a la influencia del lago Titicaca.

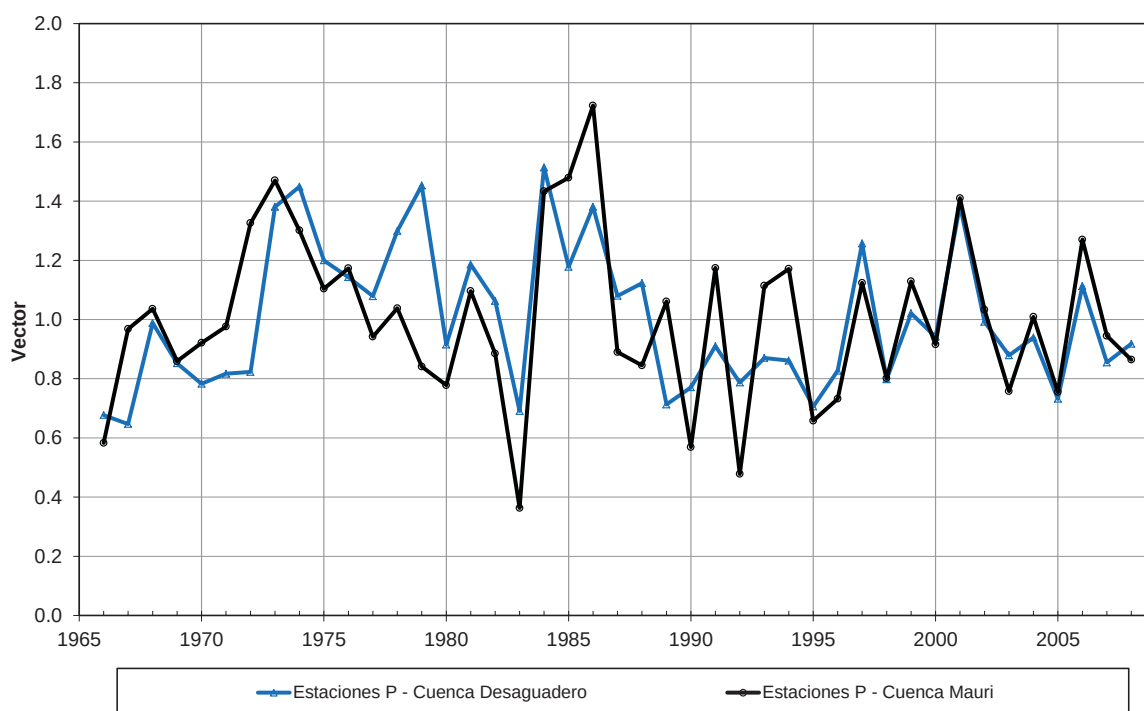


Figura A2-10: Vector regional de las estaciones pluviométricas de los ríos Maure-Mauri y Desaguadero, 1965-08. Fuente: Gutiérrez y Molina, 2012.

Vuille *et al.* (2000) observaron que a nivel interanual existe una significativa relación entre la precipitación DEF (diciembre a febrero) en el sector occidental del Altiplano y los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation), asociados a su vez a las anomalías de la temperatura superficial del Pacífico (SSTA). La precipitación DEF (y por tanto la precipitación anual) tiende a ser inferior (superior) al promedio durante eventos El Niño (La Niña). Esta relación es evidente (Figura A2-10), especialmente en la subcuenca del río Maure-Mauri, durante los fuertes eventos El Niño de 1982-83, 1991-92 y 1997-98. Sin embargo, si para un año particular el pico del evento ENSO no coincide con el verano austral, su influencia será limitada (Vuille & Bradley 2010). El comportamiento de la precipitación a escala decadal puede relacionarse con índices como la PDO (Pacific-Decadal Oscillation).

El caudal medio extraído y trasvasado de la cuenca del río Maure-Mauri a la cuenca del Pacífico en Perú, se incrementó de 0.93 m³/s (1965-90) a 1.46 m³/s (1991-2008) (Molina *et al* 2012). Los usuarios de riego del río Desaguadero aguas arriba de Chuquiña incrementaron la extracción media de 2.09 m³/s durante el periodo 1965-90 a 4.72 m³/s durante el periodo 1991-2008 (Molina *et al* 2012). En el caso de los usuarios de riego del Desaguadero, una parte no determinada (algunos estudios sugieren 20%) retorna al río principal. Esto no ocurre con los trasvases. El incremento total de la extracción (3.15 m³/s) representa 8% de la reducción de caudal en Chuquiña entre los dos

periodos.

Sin embargo, el incremento proyectado de los trasvases en Perú y de la extracción de agua para riego en Bolivia podrían aumentar la importancia relativa de esas extracciones y por tanto, el impacto sobre los usuarios del agua y los ecosistemas que dependen de ese recurso en la cuenca de los ríos Maure-Mauri y Desaguadero (Molina *et al.* 2012, Orsag *et al.* 2007).

La disminución de la oferta de agua durante el periodo reciente 1991-08 sugiere la necesidad de revisar y actualizar el Plan Director.

A2.4. LA SUBCUENCA DE LOS LAGOS POOPÓ Y URU URU

La subcuenca de los lagos Poopó y Uru-Uru ocupa la parte sudoriental del sistema TDPS. Aloja dos lagos intermitentes, el primero extenso y poco profundo, el segundo más pequeño y muy plano (Figura A2-11). Este subsistema hídrico se encuentra entre 17°S y 20°S de latitud y 66°W y 68°W de longitud, con un área total de drenaje de 24 013 km². El lago Poopó tiene una elevación media de 3686 m. El subsistema cuenta con 22 tributarios regionales que se originan en su mayoría en la cordillera Oriental, además del río Desaguadero, que es su fuente principal de agua (Pillco & Bengtsson 2007). El río Lakajawira es el efluente que conecta al lago Poopó con el salar de Coipasa. En los últimos 50 años, el río Lakajawira llevó agua una sola vez, por lo que el subsistema hídrico del lago Poopó puede ser considerado terminal (Pillco & Bengtsson 2007).

El 40 % de la superficie de la subcuenca es montañosa, otro 15 % está ocupado por cuerpos de agua (lagos Poopó y Uru-Uru) y el resto es una planicie extensa con una elevación cercana a 3700 m. El lago Poopó 3011 km² a su nivel máximo y una profundidad máxima de 2.37 m. El lago Uru-Uru tiene una superficie de 280 km², con una profundidad de 0.75 m (Pillco & Bengtsson 2006).

A2.4.1. PRECIPITACIÓN

Dos terceras partes del sistema tienen clima semiárido y la parte sur clima árido. La precipitación media del periodo 1960-2002 fue de 372 mm, con una gradiente decreciente norte-sur. La evapotranspiración potencial media fue estimada en 1500 mm/año (Roche *et al.* 1992). La variación diaria de la temperatura (15-30°C) es más grande que la variación estacional, con valores extremos de -20 °C por la noche hasta 20°C durante el día.

La Figura A2-12 muestra la serie 1960-2002 de precipitación total anual, promediada con 5 puntos de observación. Los valores mínimos, de alrededor de 200 mm, se registraron los años 1966 y 1998. Los valores máximos, alrededor de 600 mm, se registraron los años 1963 y 1985. La variabilidad interanual está asociada con eventos ENSO, en forma similar a la subcuenca Mauri-Desaguadero.

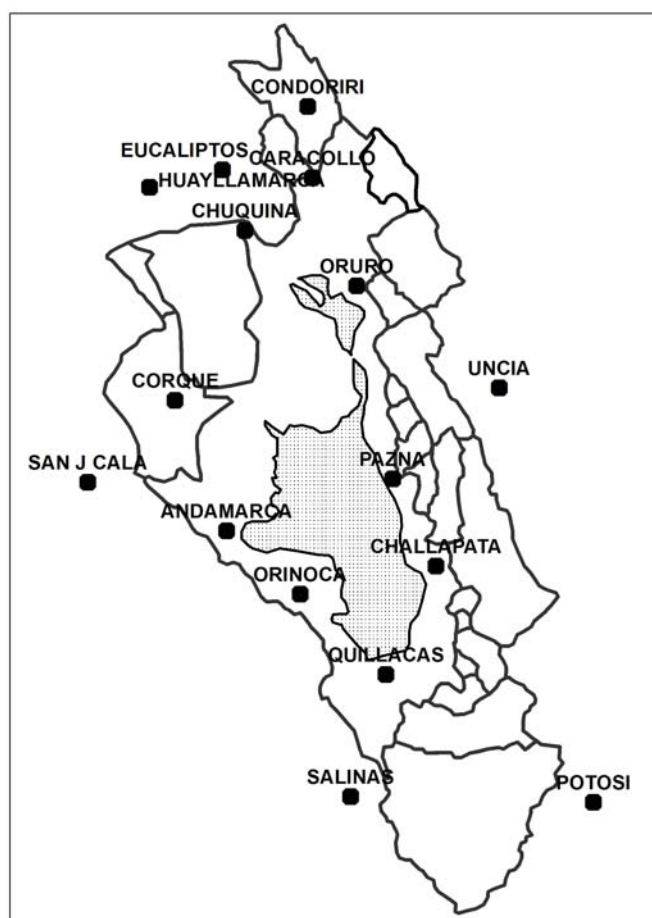


Figura A2-11: Subcuencas del sistema Poopó-Uru Uru, y red de estaciones meteorológicas

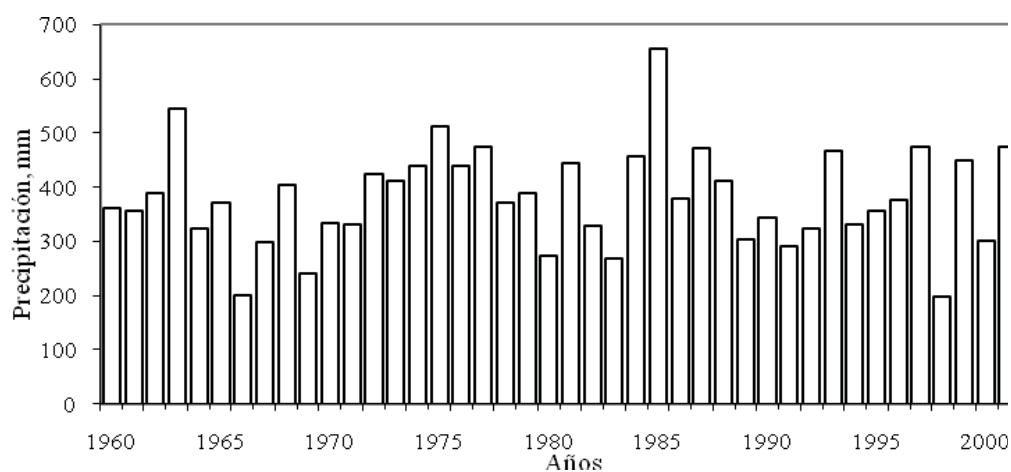


Figura A2-12: Variabilidad interanual de la precipitación 1960-2002, según promedio de 5 estaciones

A2.4.2. BALANCE HÍDRICO DEL LAGO POOPÓ

Pillco & Bengtsson (2007) desarrollaron un balance hídrico del Lago Poopó para el periodo

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

septiembre 2000 a diciembre 2001. Ante la falta de niveles de agua observados, los autores recurrieron al uso de imágenes de satélite para determinar la variación de los espejos de agua y luego los niveles. El cálculo se realizó con la siguiente relación:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = (Q_{Desaguadero} + Q_{Regional}) / A_{Lago} + P - E$$

Donde: $\frac{\partial h}{\partial t}$ es el cambio de nivel de agua, $Q_{Desaguadero}$ es el caudal de ingreso aportado por el río Desaguadero, $Q_{Regional}$ es el caudal de ingreso por medio de los ríos regionales; A_{Lago} es el área de espejo de agua, P es la precipitación directa sobre el lago y E es la evaporación desde la superficie del agua.

Durante el periodo de estudio (16 meses) la precipitación acumulada fue de 580 mm, la evaporación acumulada de 2436 mm; y la profundidad media del lago fue 1.08 m. El lago Poopó llegó a una profundidad máxima es 1.84 m, lo que indica que el lago tuvo una buena recuperación durante la época lluviosa, debido especialmente a las intensas lluvias y aporte del río Desaguadero durante el mes de febrero 2001.

Los niveles del lago Poopó suben 0.5 a 2 m durante tres a cuatro meses en la época húmeda y decaen a un ritmo más lento (0.8 a 0.9 m) durante la época seca, en que se reduce el flujo del río Desaguadero. Si al final de la época húmeda el nivel de agua es apenas 1 m, existe la probabilidad de que en la siguiente estación seca el lago desaparezca (Pillco & Bengtsson 2006).

Los mismos autores (Pillco & Bengtsson 2006) llevaron a cabo otro balance hídrico sobre un periodo más extenso: 1960-2002. Durante ese periodo (52 años) el caudal promedio de ingreso por el río Desaguadero, medido en la estación de Chuquiña, fue de 66 m³/s. El caudal promedio aportado por los ríos regionales se estimó en 8 m³/s mediante un modelo precipitación-escurrimiento, con variaciones desde cero hasta 200 m³/s (Figura A2-13).

El balance hídrico del lago Poopó está estrechamente ligado al flujo del río Desaguadero, que le aporta los excedentes del lago Titicaca. Se observa que cuando la descarga del Titicaca es escasa, los niveles de agua en el lago Poopó alcanzan sus valores mínimos extremos (por ejemplo: 1994-1997). Como se observa en la Figura A2-14 existe sincronía entre los niveles de agua de ambos lagos: la fluctuación de nivel de agua en el Titicaca define en gran medida los niveles de agua en el lago Poopó, eventualmente estabilizándolo o, por el contrario, causando inundaciones.

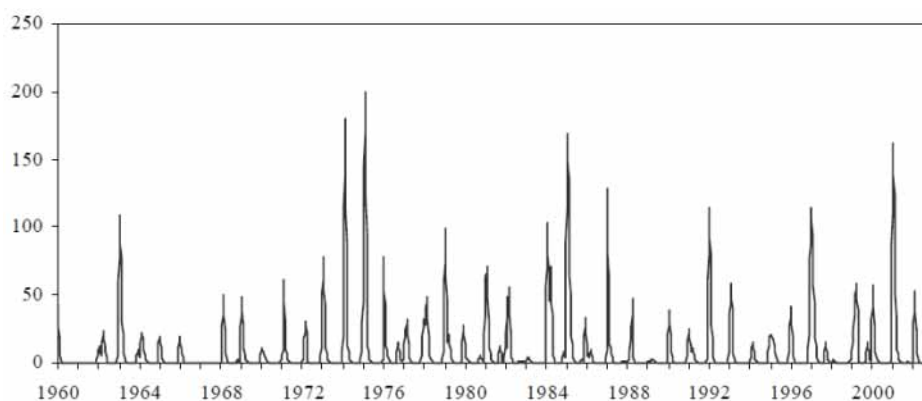


Figura A2-13: Caudal de aporte de total simulados a nivel mensual para los 22 ríos regionales.
Fuente: Pillco & Bengtsson 2006.

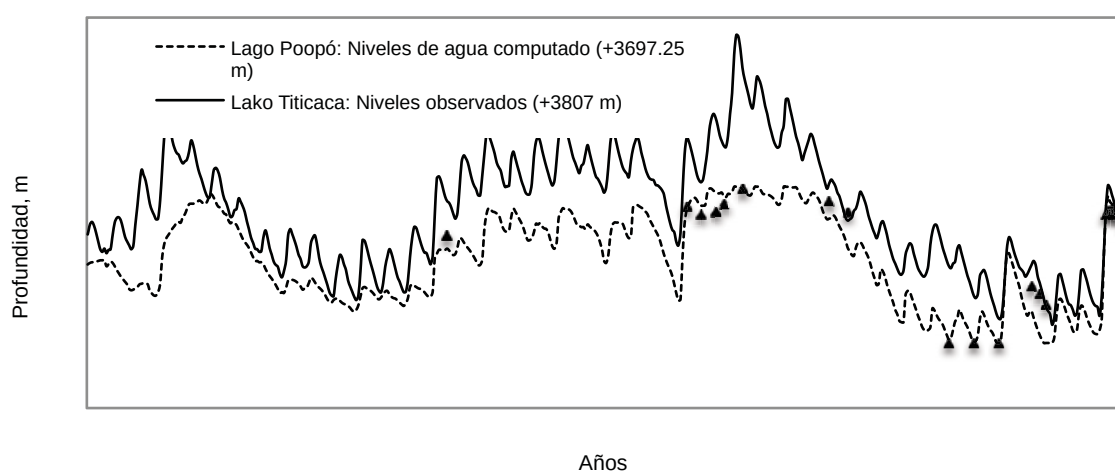


Figura A2-14: Variación de niveles de agua en los Lagos Titicaca y Poopó 1960-2002. Fuente: Pillco & Bengtsson 2006.

A2.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A2.5.1. CONCLUSIONES

- No fue posible llevar a cabo el balance hídrico del lago Titicaca para el periodo posterior a 1990 por la falta de datos de la parte peruana de la cuenca.
- Varias de las recomendaciones del Plan Director no se cumplieron o se ejecutaron parcialmente. Son importantes para el balance hídrico del lago Titicaca las recomendaciones sobre la instalación de nuevas estaciones meteorológicas en islas del lago y sobre las campañas periódicas de medición de temperatura.
- El número de estaciones meteorológicas en operación en la parte boliviana del sistema TDPS disminuyó en años recientes y en particular durante la década del 2000.

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

- Se requiere más información y estudios sobre hidrogeología y aguas subterráneas en todo el sistema hídrico TDPS.
- La ALT no actualizó las bases de datos hidroclimáticos de los estudios del Plan Director, por lo que esa institución maneja información que concluye el año 1990. Tampoco dispone de datos de demanda y uso del agua en el sistema TDPS. Estas deficiencias limitan el rol y la capacidad de la institución para cumplir sus propios objetivos y metas. El presente análisis muestra la importancia de disponer de información amplia y bien sustentada para planificar y tomar decisiones.
- Se observó una significativa reducción de los caudales registrados en los puntos de control de la cuenca Mauri-Desaguadero, durante el periodo más reciente 1991-08, con respecto a los periodos 1965-90 y 1920-90, usados en los estudios del Plan Director del sistema TDPS. La excepción a ese comportamiento fueron las estaciones de cabecera de la cuenca del río Maure-Mauri.
- La reducción del caudal del río Desaguadero durante el periodo 1991-08 se explica ante todo por la reducción de los aportes del lago Titicaca. Otras dos hipótesis (disminución del escurrimiento en la cuenca como consecuencia de la disminución de la precipitación media e incremento de la extracción de agua) explican el resto.
- No se estudiaron las causas de la disminución de los aportes del lago Titicaca al río Desaguadero y el lago Poopó durante el periodo 1991-2008 por falta de información sobre la subcuenca del lago Titicaca.
- Los proyectos de aprovechamiento y trasvase ya ejecutados por ambos países ya provocaron una significativa disminución de los caudales de varios ríos de la cuenca. Se prevé que los proyectos planificados o en construcción provoquen una reducción adicional. Esa reducción tendría potencialmente impactos negativos sobre los ecosistemas y podría poner en riesgo el equilibrio global del sistema hídrico.

A2.5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario **cumplir con las recomendaciones del Plan Director sobre la evaluación del Balance Hídrico del lago Titicaca** (número y ubicación de estaciones pluviométricas, mediciones de temperatura, etc.).

- Se recomienda **considerar el uso de datos de satélite** (TRMM 3B47) en conjunto con datos de estaciones terrestres para mejorar la estimación de la lluvia, así como realizar estudios sobre hidrogeología y aguas subterráneas en todo el sistema hídrico TDPS.
- Los resultados del presente análisis plantean la **necesidad urgente de actualizar y validar la información generada después de 1990**, incorporándola al sistema integral de información que debería desarrollar y manejar la ALT. Este sistema debe servir como apoyo a la toma de decisión de los actores y autoridades competentes de ambos países.
- Se recomienda **implementar el Observatorio Ambiental Binacional del lago Titicaca – TDPS**, en los términos y condiciones planteados por sus proponentes (IRD) y apoyada en una red básica de observación.
- Con la información actualizada, se recomienda **revisar y actualizar el Plan Director**, considerando el análisis de tendencias (clima) y su posible efecto sobre la disponibilidad y demanda de recursos hídricos.
- Por la posibilidad de integrar la información y contribuir a hacerla transparente a los actores y tomadores de decisión, se recomienda el **uso de un modelo de gestión del agua**. Implementar un modelo de este tipo para todo el sistema TDPS debería ser una tarea prioritaria para la ALT. El modelo permitiría evaluar en todo momento el funcionamiento del sistema y ayudaría a tomar decisiones apropiadas sobre los proyectos a ser implementados y por tanto, a cumplir sus metas y evaluar sus impactos.

I. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Boulanger, B., & Aquize Jaen, E. 1981. Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant. *Hydrobiol. trop.* 14(4): 269 – 287.
- Binford, M., Kolata, A., Brenner, M., Janusek, J., Seddon, M. & Curtis, J. 1997. Climate Variation and the Rise and Fall of an Andean Civilization. *Quaternary Research* 47: 235-248.
- Blodgett, T., Lenters, J. & Isacks, B. 1997. Constraints on the Origin of Paleolake Expansions in the Central Andes. *Earth Interactions*, 1: 1-28.
- Carmouze, J., & Aquize, E. 1981. La régulation hydrique du lac Titicaca et l'hydrologie de ses tributaires. *Hydrobiol. trop.* 14(4): 311–328.
- Carmouze, J., Aquize, E., Arze, C., & Quintanilla, J. 1983. Bilan énergétique du lac Titicaca. *Hydrobiol. trop.* 16(2): 135–144.
- Carmouze, J., Arce, C., & Quintanilla, J. 1977. LA REGULATION HYDRIQUE DES LACS TITICACA ET POOPO. *Cahier O.R.ST.O.M., Sér. Hydrobiol.* 11(4): 269 – 283.
- Clayton, J.D. & Clapperton, C.M. 1995. The last glacial cycle and paleolake synchrony in the southern Bolivian Altiplano: Cerro Azanaques case study. *Bulletin IFEA*, 24: 563-571, Lima.

A-2 Los recursos hídricos del sistema TDPS

- Collischonn, B., Collischonn, W., & Tucci, C. E. M. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology* 360(1-4): 207–216. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.032
- Delcaux, F., Coucrain, A., & Condom, T. 2007. Evaporation estimation on Lake Titicaca : a synthesis review and modelling. *Hydrological Processes* 1677(January): 1664–1677. doi:10.1002/hyp
- Fritz, S.C., Baker, P.A., Lowenstein, T.K., Seltzer, G.O., Rigsby, C.A., Dwyer, G.S., Tapia, P.M., Arnolds, K.K., Ku, T.L., & Luo, S.D. 2004. Hydrologic variation during the last 170 000 years in the southern hemisphere tropics of South America. *Quaternary Research* 61: 95-104.
- Gao, Y. C., & Liu, M. F. 2013. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products using rain gauge observations over the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences* 17(2): 837–849. doi:10.5194/hess-17-837-2013
- Gumiel, D. 1988. Prospección hidrogeológica del area altiplanica del PMPR II - La Paz, CEE-CORDEPAZ, 92 p.
- Guyot, J.-L., & Gumiel, D. 1990. Premières données du Nord de l' Altiplano bolivien. *Hydrogéologie* 3: 159–164.
- Gutiérrez, B. & Molina C., J. 2012. Estudio de Hidrología en las cuencas Mauri y Desaguadero, Informe Final. La Paz, 85 p.
- Intecsa, CNR, AIC 1993a. Plan Director Global Binacional de Protección – Prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema TDPS), Resumen Ejecutivo. La Paz, Bolivia. 100 p.
- Intecsa, CNR, AIC 1993b. Plan Director Global Binacional, Estudio de Climatología. La Paz, Bolivia.
- Intecsa, CNR, AIC 1993c. Plan Director Global Binacional, Estudios de Hidrología. La Paz, Bolivia.
- Intecsa, CNR, AIC 1993d. Plan Director Global Binacional Modelos matematicos del sistema hidrico T.D.P.S. Modelo del balance hidrico del Lago Titicaca.
- Kessler, A., & Monheim, F. 1966. El balance hidrológico del lago Titicaca, una contribución al aprovechamiento de sus aguas. *Conferencia Regional Latinoamericana / Union Geografica Internacional* 3: 412–422.
- Lozada, G. 1985. Balance hídrico de la cuenca del lago Titicaca. La Paz, 120 p.
- Maidana, E. 2013. Gestión de los Recursos Hídricos en el Sistema TDPS (Plan Director Global Binacional). II Simposio Internacional Lago Titicaca-TDPS, Puno.
- Molina, J., Gutiérrez B. & Salázar D. 2012. Uso y asignación del agua en la cuenca de los ríos Mauri y Desaguadero. La Paz, 165 p.
- Orsag, V., Chungara J., Guisbert, P. & Cruz, R. 2007. Estudio de Calidad de aguas y Evaluación Ambiental en las cuencas de los ríos Mauri y Bajo Desaguadero. La Paz, mayo de 2007, 330 p.
- Pillco, R. & Bengtsson, L. 2006. Long-term and extreme water level variations of the shallow Lake Poopó, Bolivia. *Hydrological Sciences Journal* 51: 98-114.
- Pillco, R. & Bengtsson, L. 2007. The behavior of the Bolivian Altiplano lakes in varying climate. *Journal of Hydrological Sciences* (submitted).
- Pillco, Z., R. 2007. Response of Bolivian Altiplano Lakes to Seasonal and anual climate variation (Doctoral Thesis). Lund University, Sweden, ISSN 1101-9824
- Richerson, P. J. 1977. THE LIMNOLOGY OF LAKE TITICACA (PERU-BOLIVIA), A Large, High Altitude Tropical Lake. *Institute of Ecology Publication* 14 : 78p., multigr
- Rocabado, G., Abán, N. & Montesinos, J. 2011. Plan de Monitoreo de Calidad de Agua en el Sistema Hídrico Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa – Bolivia. La Paz, 61 p.
- Roche, M., A., Bourges, J., Cortez, J. & Mattos, R. 1992a. Climatology and hydrology of the Lake Titicaca basin. In: Dejoux, C., Iltis, A. (Eds.), *Lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge*, Monographiae Biologicae, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. Vol. 68: 63-104..
- Roche, M.A., Fernández, C., Aliaga, A., Peña, J., Salas, E. & Montañón, J.L. 1992b. Balance hídrico superficial de Bolivia. Publicación PHICAB, La Paz, 28 p.
- Salazar, D. 2011. Estudio de la demanda de agua en la Cuenca del Desaguadero. La Paz, 83 p.
- Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., Levizzani, V., & De roo, A. 2012. Validation of Satellite-Based Precipitation Products over Sparsely Gauged African River Basins. *Journal of Hydrometeorology* 13(6): 1760–1783. doi:10.1175/JHM-D-12-032.1

- Vuille M., Bradley R. & Keimig F. 2000. Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *Journal of Geophysical Research*, 105(D10): 12447-1260.
- Vuille M. & Bradley R 2000. Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical sea surface temperature anomalies. No publicado.

M. Pouilly, X. Lazzaro,
D. Point & M. Aguirre

Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos
en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca

Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca

Convenio UICN-IRD N°303117/00

Coordinación
Marc POUILLY
Xavier LAZZARO
David POINT
Mario AGUIRRE



**Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos
e hidrobiológicos en el sistema TDPS
con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca**

La designación de entidades geográficas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la UICN respecto a la condición jurídica de ningún país, territorio o área, o de sus autoridades, o referente a la delimitación de sus fronteras y límites.

Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de la UICN.

Publicado por: UICN, Quito, Ecuador e IRD Institut de Recherche pour le Développement.



Con el auspicio de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

Con la colaboración de:



UMSA – Universidad
Mayor de San Andrés,
La Paz, Bolivia



UMSS – Universidad
Mayor de San Simón,
Cochabamba, Bolivia

Derechos reservados: © 2014 Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.

Se prohíbe reproducir esta publicación para venderla o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Cita de obra completa: M. Pouilly; X. Lazzaro; D. Point; M. Aguirre (2014). Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. IRD - UICN, Quito, Ecuador. 320 pp.

Revisión: Philippe Vauchel¹, Bernard Francou¹, Jorge Molina², François Marie Gibon¹; ¹ IRD, ² UMSA

Disponible en: <http://www.uicn.org/sur>

EDITORES: UICN – Mario Aguirre ; IRD – Marc Pouilly, Xavier Lazzaro & David Point

IMPRESIÓN: Talleres Gráficos PÉREZ Tel. +(591-2) 225 5911 graficaleoperez@gmail.com

DEPÓSITO LEGAL nº 4-1-196-14PO, La Paz, Bolivia

ISBN nº 978-99974-41-84-3

IMPRESO EN BOLIVIA