

VII.2 El potencial hídrico del lago

JACQUES BOURGES, JOSE CORTES, EDGAR SALAS

El lago Titicaca, con sus 8.500 km² de espejo de agua en tiempo de aguas medias, es uno de los mayores y el más alto del mundo entre los llamados "lagos grandes". El potencial de agua de este inmenso depósito, situado a más de 3.800 m.s.n.m., ha apasionado a muchos investigadores. No menos de nueve obras han sido escritas sobre el potencial hídrico de su cuenca vertiente, además de que numerosos proyectos se ocupan de la explotación de este "oro blanco".

Lamentablemente algunos de los citados proyectos, de este reservorio de agua que es compartido por las repúblicas de Perú y Bolivia, se basaron en series de datos incompletas y de calidad no siempre verificada, dando lugar a falsas interpretaciones del balance real, a hipótesis no concordantes con la realidad. Por otra parte se debe decir que éstos, en general, no han tomado en cuenta el impacto de dicha explotación sobre el medio ambiente en su conjunto.

En vista de una reciente evaluación del balance hídrico del lago Titicaca (ROCHE y BOURGES, 1991), basada sobre datos actualizados, parece irreal considerar la extracción de un caudal de 100 m³ s⁻¹ de esta cuenca, para transferirlo a otra, sin perturbar gravemente el equilibrio del medio. Aun cuando la energía potencial a ser generada aprovechando un desnivel de 3.000 m es un argumento que puede hacer soñar a planificadores, ingenieros e hidrólogos. La viabilidad de proyectos de esta naturaleza, queda condicionada no solamente a aspectos técnicos sino también a aspectos geopolíticos, por cuanto este lago es binacional, y a aspectos de la utilización multiobjetiva de los recursos.

El objetivo de este artículo no es proponer un proyecto alternativo para la explotación de los recursos del lago Titicaca, sino más bien evaluar el potencial de agua disponible, a la luz de información actualizada y verificada.

Inventario de los recursos hídricos

Recursos hídricos superficiales de la cuenca del lago Titicaca

Ya que el lago Titicaca es un receptor de las aguas de una cuenca extensa, es imprescindible abordar el estudio del potencial de su cuenca vertiente, en orden a determinar el del lago mismo. Las investigaciones de los últimos años han identificado dos zonas privilegiadas desde el punto de vista de disponibilidad del recurso agua :

- El oeste, donde destaca la cuenca del río Coata, que tiene una hidraulicidad excepcional, y en menor magnitud, la cuenca del río Ilave. El caudal específico promedio anual observado en un período de 32 años, varía de 7 l s⁻¹ km⁻² en Coata hasta 5 l s⁻¹ km⁻² en Ilave.
- El norte, donde se encuentran las cuencas de los ríos Huancané y Ramis. El aporte anual medio en esta zona es superior a 5 l s⁻¹ km⁻² en la cuenca del primero, decreciendo hasta 4,6 l s⁻¹ km⁻² en la del Ramis a causa de su menor superficie.

Zona tipo	Epoca seca (Agosto)	Epoca de lluvias (Febrero)	Promedio anual
Altitud > 4.500 m Cuenca de superficie < 100 km ² (presencia de glaciares)	3 - 8	30 - 50	8 - 20
Altitud > 4.200 m Cuencas : 500 < S < 1.000 km ²	0,5 - 1,5	20 - 50	6 - 15
Zona de piedemonte	0,15 - 0,30	6 - 12	2 - 3
Contorno del lago	0,3 - 0,7	12 - 25	4 - 6

Cuadro 1. - Estimación de los recursos en agua por zona tipo ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$).

En las zonas situadas por sobre los 4.500 m.s.n.m., conviene diferenciar las cuencas según la altura de su cima, aspecto que implica la presencia o ausencia de glaciares y que determina el tipo de flujo existente durante las diferentes épocas del año. En el presente caso, la cuenca de referencia (Chicota), alimentada por deshielo presenta un caudal de estiaje de 4 a 8 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$, el que se reduce a 1 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$ en ausencia de glaciares.

La distribución temporal de los aportes naturales (escurrimiento) en el curso del año es semejante a la de las precipitaciones, aunque con cierto desfase. En general se observa un máximo en febrero y un mínimo en agosto, pero se debe destacar que cerca de un 80 % de los aportes anuales al lago mediante los afluentes, se producen entre los meses de enero a abril. La estación seca se prolonga por seis meses, de junio a noviembre (LOZADA, 1985).

Tomando en cuenta la cuenca en su conjunto (Perú y Bolivia), se observa que la variabilidad del potencial de los recursos de origen fluvial es muy grande. En 20 años observados se estableció que los aportes totales anuales varían en un 70 % alrededor del promedio y solamente en 10 de ellos los valores se sitúan en una faja de 20 % alrededor del mismo. Esta irregularidad se acentúa por la presencia de secuencias de varios años secos (respectivamente húmedos) consecutivos, así por ejemplo se observa que los valores próximos al promedio se registran entre los años 1970-82, mientras que desde 1984 hasta 1986 éstos son superiores en más del 30 %.

Esto indica que la utilización de estos recursos implica, según el tipo e importancia de los proyectos, una regulación de las aguas anual o interanual.

El potencial en agua del lago

La determinación del potencial

Los volúmenes de agua almacenados en el lago Titicaca dependen directamente de los aportes de su cuenca receptora. Aun cuando este inmenso embalse ejerce una función reguladora sobre los aportes y descargas, se evidencia que la acción del clima condiciona su comportamiento a través del tiempo, en forma clara y determinante.

El estudio global del potencial de agua del sistema cuenca-lago se ajustará a la realidad en la medida que se tomen en cuenta todos los elementos del balance hídrico del reservorio (ROCHE y BOURGES, 1991), así como el impacto de la modificación de un parámetro para los niveles del lago.

En régimen natural y sin influencias antrópicas, el lago absorbe con variaciones de su masa las fluctuaciones en los aportes debidas al clima. Sin embargo, con el propósito de administrar mejor los recursos, es posible controlar algunos parámetros como el desagüe por el río Desaguadero y de esta manera actuar sobre los niveles del lago.

El potencial de agua teórico utilizable durante un período dado, puede considerarse como la suma algebraica de los volúmenes vertidos en el río Desaguadero y la variación del almacenamiento del lago con relación a su volumen inicial. En cambio el potencial real es sólo una función del nivel del lago. La realización de un balance sobre el reservorio exige el conocimiento de los caudales evacuados con una precisión aceptable, por lo que fue preciso un reexamen de los valores brutos (BOURGES *et al.*, 1991).

Si se acumula el potencial de agua teórico del lago en el período mejor conocido (1956–1989) y en forma anual, basada en el año hidrológico de enero a diciembre, se constata que éste fluctúa en el primer período hasta 1973, año a partir del cual se observa un aumento fuerte (fig. 2).

Es evidente que durante los años 1956–1958, en los que se presenta un período deficitario, no habrían sido posible extracciones sin ocasionar un descenso suplementario del lago. Para tal efecto se habría tenido que esperar hasta 1959.

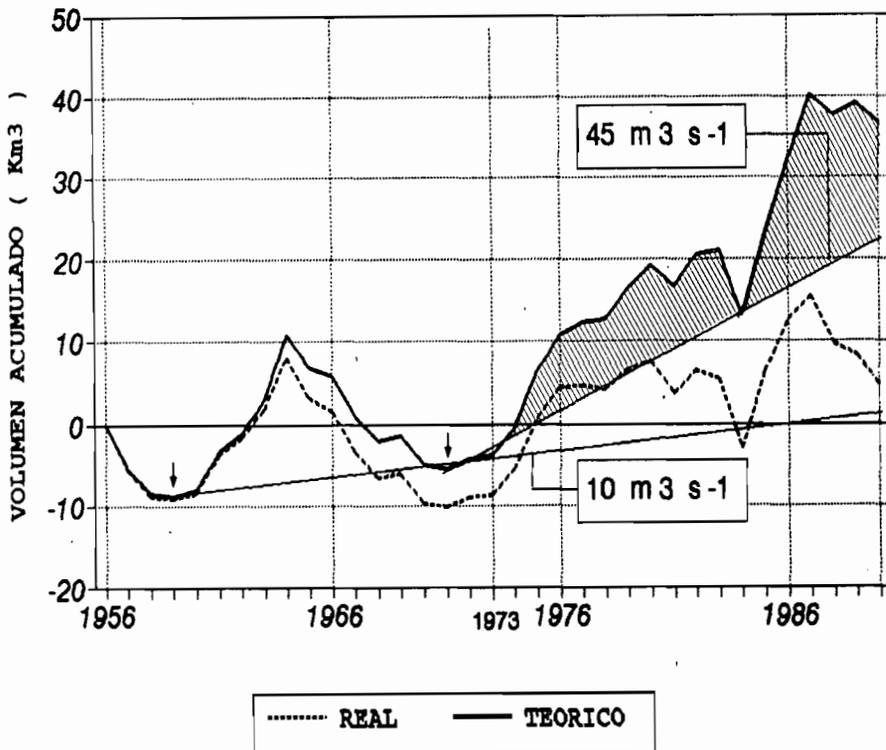


Fig. 2. - Evolución del potencial en agua teórico anual acumulado del lago Titicaca de 1956 a 1959 y comparación con su potencial real (en billones de m^3). El potencial nulo, escogido arbitrariamente, corresponde al nivel del 1° de enero de 1956, o sea 3.809,65 m de altitud. : Reserva disponible en caso opcional $45 m^3$.

En adelante se denomina extracciones globales a la suma de volúmenes de agua extraídos de manera constante o discontinua del sistema lago-tributarios, cualquiera sea su modo de extracción : evacuación por el Desaguadero, bombeo del lago, extracción de los tributarios, etc.

Bajo esta premisa, si se fija, por ejemplo, una extracción global anual de $315 \times 10^6 m^3$, correspondiente a un caudal medio de $10 m^3 s^{-1}$, la simulación correspondiente revela que las extracciones habrían podido realizarse hasta 1989 sin incidencia sobre el potencial del lago. Sin

embargo es preciso señalar, que en estas condiciones el lago a fines de 1970 habría retornado a su estado inicial del 10 de enero de 1959, con un nivel correspondiente a 3.808,60 m (fig. 2). Es justamente esto que se ha observado en la realidad, ya que el lago se encontraba 12 cm por debajo de este nivel cuando el caudal medio vertido en el río Desaguadero era de $11,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Los niveles extremos obtenidos mediante simulación para el período 1950–77 son 3.808,55 m en diciembre de 1970 y 3.811,20 en abril de 1963.

Es también evidente que las extracciones a partir de 1970 habrían debido ser mayores a fin de evitar que el aumento de la reserva del lago, superior a $40 \times 10^9 \text{ m}^3$ durante el máximo de abril de 1986, conduzca a niveles muy superiores a los observados durante las inundaciones de ese año.

Si a partir de 1971, en lugar de $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ se habría extraído $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, equivalente a un volumen de $1.420 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año, se contaría siempre con reservas a excepción del final del año 1972 y en 1983, cuando vuelve a su nivel inicial (fig. 2). Según esta hipótesis, el lago habría oscilado entre 3.808,30 y 3.809,90 m en el período de 1971 a 1985 y la reserva se habría mantenido alrededor de los $10 \times 10^9 \text{ m}^3$ durante 8 años : de 1975 a 1982. Del mismo modo se puede establecer que el nivel alcanzado en abril de 1986 habría sido levemente inferior a 3.812 m, o sea 60 cm por debajo del nivel observado, pero siempre excesivo frente al nivel que determina un alto riesgo para poblaciones y sectores agrícolas cercanos al lago.

El mismo análisis realizado para el período 1956–89, muestra que si se toma como nivel mínimo el correspondiente a la cota de 3.808,55 m, habría sido posible asegurar un volumen anual de extracciones de $315 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ durante 31 años de un total de 34. Si este volumen se habría elevado a $1.420 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ esta garantía se reduciría a 19 años correspondientes al período 1971–89, descendiendo el nivel hasta 3.808,30 m. En los dos casos se habrían requerido descargas suplementarias en 1985 y 1986, con el fin de mantener el nivel del lago fuera de los niveles de alerta.

Los caudales ficticios tomados como referencia (10 ó $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) corresponden a hipótesis de extracción que de seguro pueden modularse en el transcurso del año según las necesidades.

La determinación de los criterios de gestión (operación)

Un objetivo para la gestión de los recursos hídricos del lago podría ser el mantener el nivel de éste entre una cota mínima de 3.808,30 m y una máxima de 3.811,00 m. Para alcanzar este objetivo se debe pensar en el control de los caudales evacuados por el Desaguadero (regulación de descargas, dragado de un canal en el río, etc.).

Una política de gestión podría contemplar la utilización de los recursos hídricos (en año húmedo) a partir del mes de abril, que corresponde generalmente a las aguas más altas del lago, con el fin de alcanzar en la época de estío (diciembre) la cota 3.809,50, correspondiente al nivel medio calculado en el período 1915–1989. De esta manera se tiene dos ventajas :

- La reserva disponible encima del límite mínimo representaría $10 \times 10^9 \text{ m}^3$, lo cual permitiría aportar un complemento (para la satisfacción de la demanda) durante varios años medios sucesivos, o sea amortiguar los efectos de dos años deficitarios consecutivos ($4 \times 10^9 \text{ m}^3$), o de un año seco excepcional como 1983 ($8 \times 10^9 \text{ m}^3$).

- Mantener en años húmedos el nivel del lago por debajo del nivel máximo fijado. Ya que la amplitud de oscilación del lago varía entre 169 cm (en 1984) a 55 cm con un promedio en 34 años de cerca de 1 metro, se llega a niveles con un margen de seguridad suficiente.

En años medio o seco sería posible extraer la reserva disponible y administrarla de modo de volver al nivel 3.809,50 m.

Simulación de gestión con límites extremos. Períodos 1959–1989 y 1915–1989

Si, una vez adoptados los límites extremos de variación del nivel del lago, se procede a una simulación de gestión, utilizando las dos opciones ya propuestas ($10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), se obtiene los siguientes resultados :

- De 1959 a 1978 inclusive, el nivel del lago habría oscilado entre $3.810,85 \text{ m}$ y $3.807,35 \text{ m}$, con una tasa de extracción de $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Habría sido necesario descargar caudales suplementarios solamente en los años 1962 y sobre todo en 1963 ($240 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Por otro lado el nivel de aguas habría descendido por debajo del límite fijado (a $3.808,30$) en el curso de los años secos de 1967 a 1973.

- De 1971 a 1989 inclusive, bajo una extracción de $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, los niveles se habrían mantenido entre las cotas $3.811,15 \text{ m}$ y $3.808,30 \text{ m}$. Caudales suplementarios de descarga se precisan en seis de los diecinueve años, particularmente en 1986 ($210 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Los niveles límite fijados podrían haber sido respetados, con excepción de un leve rebalse del límite máximo. Sin embargo, si la descarga citada ($210 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) se realizaba desde el mes de enero de 1986, la cota máxima no habría sobrepasado los $3.811,05 \text{ m}$, es decir casi el límite fijado.

Es evidente que el período 1959–1989 representa un ciclo más bien húmedo, sobre todo después de 1973, con relación al período de observación 1915–1989 (figs. 3 y 4), por lo que se debe evitar extrapolar estos resultados. Así, si se estima la pendiente general de la curva del potencial teórico acumulado desde 1915 (fig. 5), se deduce un volumen medio de extracción del orden de $380 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año, mientras que para el ciclo 1945–1989, este volumen alcanzaría los $850 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, o sea $27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

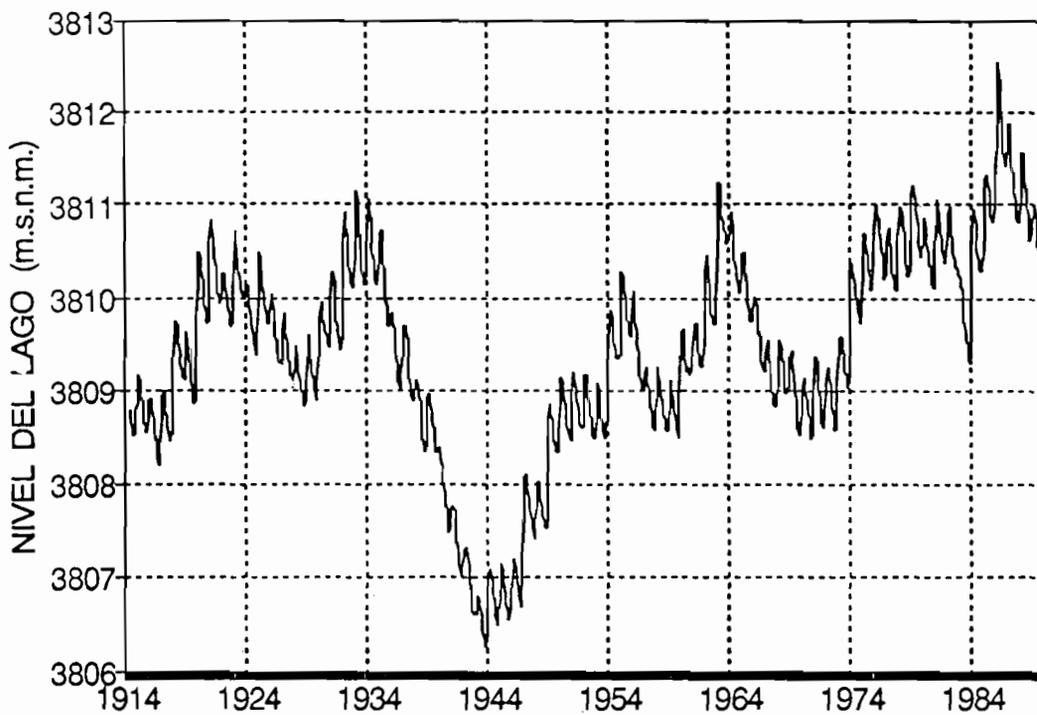


Fig. 3. - Oscilaciones del nivel del lago Titicaca de 1914 a 1989. Altitud absoluta en metros.

Una simulación sobre este último período, con reposición anual a la cota de estiaje de 3.809,50 m, si el nivel natural es superior, y una extracción de $315 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, haría descender el nivel del lago hasta la cota 3.805,30 m en 1943, y el estiaje anual durante 34 años sobre 75, bajaría más allá del límite. El máximo habría alcanzado, en este caso, 3.911,15 m en 1986.

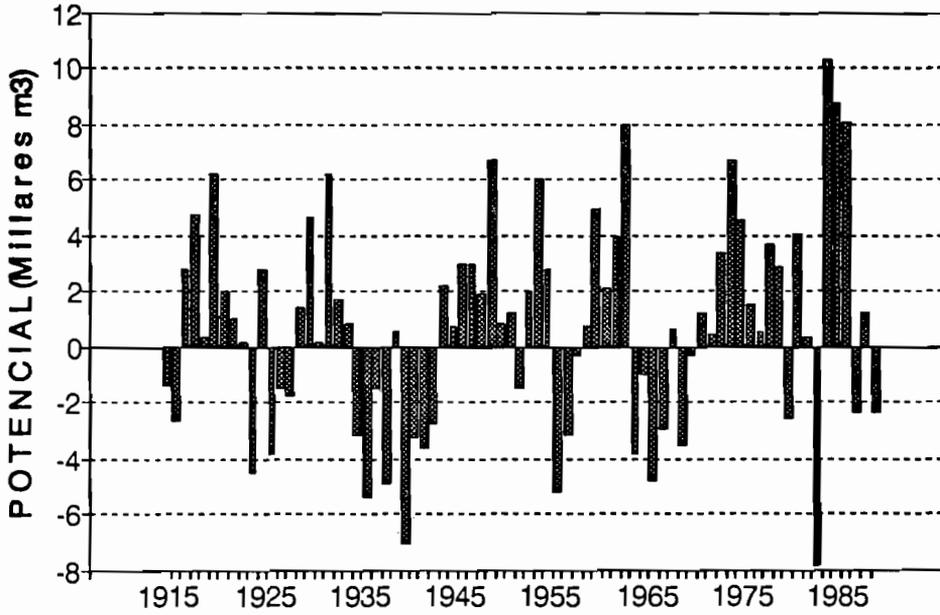


Fig. 4. - Valor del potencial teórico en agua del lago Titicaca del 31 de diciembre de cada año con relación a su valor al 1° de enero del mismo año.

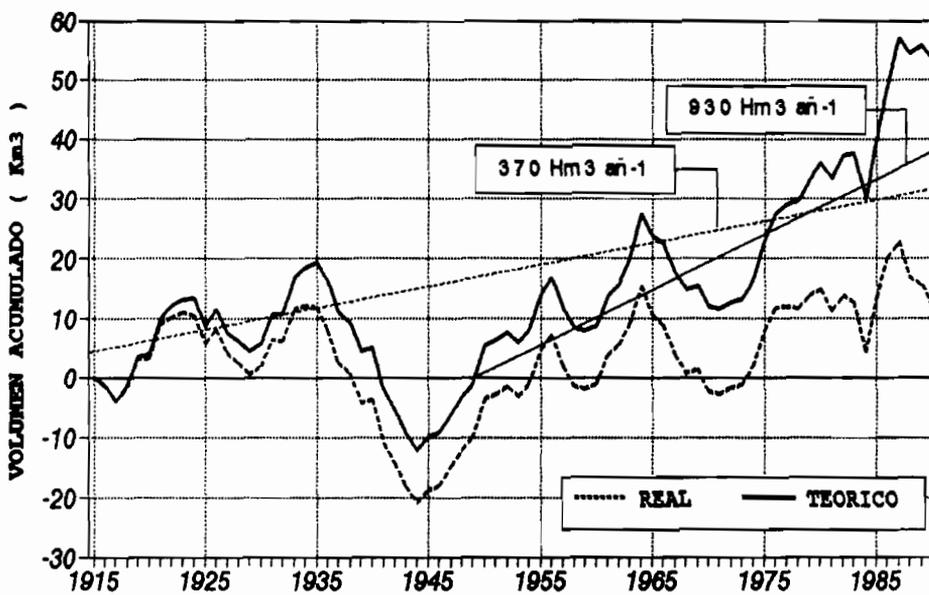


Fig. 5. - Evolución del potencial en agua teórico anual acumulado del Titicaca de 1915 a 1989 y comparación con su potencial real. El potencial nulo, escogido arbitrariamente, corresponde al nivel del 1° de enero de 1915, a 3.808,81 m de altitud, o sea alrededor de $7 \times 10^9 \text{ m}^3$ por debajo de la referencia anterior (Fig. 2).

Así sobre el período de observación, de 1915 a 1989 se ve que extrayendo un caudal ficticio de $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de 1915 a 1936, de 1949 a 1972 sin descargas y, a partir de 1973, aumentando este caudal a $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, habrá un emparejamiento sin sobrepasar significativamente los límites de variación de nivel admitidos.

Recomendaciones

El Desaguadero que se constituye en el emisario natural del lago y que irriga todo el Altiplano boliviano debería poder dotar un caudal reservado, que por lo menos evite una salinización de este río por sus afluentes aguas abajo en caso de agotamiento de los caudales procedentes del lago.

Para una gestión racional del potencial en agua del lago, convendría finalmente que su cuenca esté equipada de una red de captos pluviométricos e hidrométricos con teletransmisión acoplados a un modelo de previsión. Este dispositivo permitirá conocer con anticipación la importancia de los recursos y prever los riesgos naturales debidos a los aportes excepcionales de la cuenca así como también sus consecuencias sobre el nivel del lago. Así, el promedio mensual de los aportes de los tributarios para el mes de febrero de 1971 alcanzó $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Agregando los aportes directos debidos a las precipitaciones, se obtiene un caudal del orden de $2.100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Más recientemente en marzo de 1986, el caudal medio que se habría debido evacuar para evitar un levantamiento de la cota del lago habría sido de $2.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Dado que las características hidráulicas del río Desaguadero limitan los caudales evacuados a valores muy inferiores, se debe prever descargas adicionales que garanticen un volumen del lago tal que permita absorber tales aportes. De lo contrario, la única alternativa que queda es la inundación.

Ya que el lago Titicaca forma parte de un sistema endorreico, es preciso tener en cuenta las consecuencias que podrían ocasionar, río abajo (en el lago Poopó, y eventualmente en el salar de Coipasa) la inyección o la retención de volúmenes de agua importantes, procedentes de la gestión del lago.

Los recursos en aguas subterráneas

Aunque cuantitativamente marginales, los recursos en aguas subterráneas participan del balance hídrico del lago. En efecto, es muy probable que el lago sea alimentado lateralmente por las napas situadas en su contorno (GUMIEL, 1988), y que, por este hecho, extracciones en estas capas disminuyan los aportes a la reserva.

Pese a la ausencia de estimación completa de estos recursos subterráneos, se puede señalar que, en el lado peruano existen cerca de 12.000 pozos o perforaciones en las proximidades del lago (Ministerio de Agricultura, 1986). Estos se sitúan principalmente en la planicie, cerca de la costa y por debajo de 4.000 m de altitud. En esta zona, la capa freática está muy cerca de la superficie, entre 1 y 3 m de profundidad, siempre en carga con relación al lago, lo que viene a apoyar la hipótesis de una alimentación subterránea de la reserva. Las pruebas de bombeo realizadas en el Perú dan caudales de 20 a 25 l s^{-1} en promedio.

Según un estudio de las Naciones Unidas (1973), tan solo en un período de dos años la recarga total disponible sobre las cuencas bolivianas situadas al sudeste del lago sería del orden de $160 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año, principalmente concentrada en la cuenca del río Catari (fig. 1).

Calidad de las aguas

Con algunas excepciones (Pallina, Huancané) las aguas de superficie son relativamente poco mineralizadas. En su curso inferior, la mayoría de los tributarios del lago presentan concentraciones medias en sales disueltas situándose entre 200 y 300 mg l^{-1} con excepción del río Suhez y de los ríos que descienden de la Cordillera Real que son de 50 mg l^{-1} (CARMOUZE *et al.*, 1981; GUYOT *et al.*, 1990; ver también capítulo V.3).

Las aguas subterráneas, un poco más mineralizadas que las aguas de superficie, tienen salinidades del orden de 400 mg l⁻¹ (Naciones Unidas, 1973).

Las aguas del lago, como resultado de la evaporación, son más mineralizadas, su concentración en sales disueltas se sitúa en promedio alrededor de 700 mg l⁻¹ (Cap. V.1).

La calidad de estas aguas permite pues todo tipo de utilización aunque, en el caso de las aguas del lago, es a menudo necesario un buen drenaje previo al uso agrícola. En el perímetro de Pirapi (cerca de Puno, Perú, fig. 1), se utiliza por ejemplo desde hace 30 años las aguas del Titicaca, sin que se haya podido observar una salinización de los suelos.

Utilización del potencial en agua

Principios de utilización

Antes de enfocar las diversas posibilidades de explotación de este recurso, es oportuno establecer algunos principios que podrían dirigir su utilización :

- Las aguas utilizadas deberían explotarse en forma prioritaria en la cuenca vertiente del lago o del Desaguadero. Todo traslado hacia una otra cuenca debería considerarse sólo como último recurso, y ser objeto de un estudio minucioso para determinar el impacto.
- La prioridad de utilización debería otorgarse a las zonas ribereñas.
- Dada la binacionalidad del lago, la utilización de los recursos debería beneficiar de la misma manera a los dos países ribereños.

En cuanto a la utilización propiamente dicha de las aguas del lago Titicaca, ésta toca varios aspectos esenciales : la energía, la agricultura y las necesidades humanas.

Producción de energía

Si se excluye todo traslado de las aguas fuera de la cuenca, se debe prever sólo proyectos de embalses sobre los tributarios.

En este caso, los recursos perdidos son bastante bajos ya que la mayor parte del agua se restituye al río, aguas abajo del embalse. Cinco proyectos de mediana importancia son previstos del lado peruano (ELECTROPERU, 1981) y un proyecto más importante está en estudio del lago boliviano en el Suchez.

Dada la pendiente mínima del río Desaguadero, todo proyecto de utilización de los recursos del lago en este río parece excluido sin trabajos importantes y costosos.

Uso agrícola

Una irrigación rudimentaria es practicada por tradición desde hace tiempo alrededor del lago para los cultivos o más frecuentemente para las zonas de pastoreo. El consumo de agua resultante, no inventariado, es tomado en cuenta de manera implícita en la estimación de los recursos. No interviene pues en las necesidades actuales.

Respecto a los proyectos de perímetros irrigados, se censa en la cuenca del lago las siguientes habilitaciones :

- 18.600 ha están en ejecución en territorio peruano, de las cuales 6.500 ha ya funcionan, pero de manera irregular (Ministerio Agricultura Perú, 1986).
- del lado boliviano, 5.000 ha están en funcionamiento, cerca de Huarina, irrigadas a partir de aguas de superficie y 8.800 ha, utilizando aguas subterráneas, están en proyecto.

El período de irrigación concierne principalmente cinco a seis meses del año, de octubre a marzo, según los cultivos (cereales, tubérculos, hortalizas). Dura casi todo el año para las zonas de pastoreo.

Si se tiene en cuenta un coeficiente de eficacia de 50 %, las necesidades brutas de agua pueden evaluarse según las precipitaciones, alrededor de 1.500 a 2.000 m³ por ha y por mes. En esta hipótesis, y si sólo se utiliza las aguas de superficie, las áreas susceptibles de próximo uso o en funcionamiento utilizarían la totalidad de los recursos de la opción mínima considerada más arriba (315 x 10⁶ m³ año⁻¹). Una pequeña parte, correspondiente al drenaje, sería restituida a la red. Incluso con una utilización conjunta de las aguas subterráneas, es probable que los aportes al lago en octubre, 35 m³ s⁻¹ para el conjunto de la cuenca, no podrían garantizar las necesidades cada año.

Con las mismas bases de cálculo, el conjunto de las superficies irrigables (del orden de 200.000 ha) exigiría, en año seco, 2 x 10⁹ m³, una parte de la cual sería restituida, pero cerca de 1 billón de m³ sería utilizada por las plantas. Este volumen representaría, algunos años, una extracción muy importante frente a los aportes fluviales al lago.

Alimentación en agua potable y para uso industrial

Estos sectores del consumo sólo intervienen actualmente como parte despreciable en el balance cuantitativo, sobre todo que, también en este caso, el agua es generalmente restituida a la red. Todos los sitios de extracción se encuentran en los tributarios, aguas arriba del lago.

Del lado peruano, las necesidades industriales comprenden las cementerías, la producción térmica y el sector agro-alimentario. Preocuparían más por la polución eventual de los residuos (desechos) que por la importancia del consumo que inducen.

Del lado boliviano, además del consumo rural y de algunas industrias (fábrica de cemento de Viacha), cabe mencionar el aprovisionamiento de agua a la ciudad de La Paz. Un 70 % de éste proviene de la cuenca del lago (32 x 10⁶ m³ año⁻¹), así mismo existen bombes importantes en las capas de la cuenca (11 x 10⁶ m³ año⁻¹).

Conclusión

Es difícil conciliar una utilización óptima de los recursos hídricos en aguas del lago por medio de una regulación interanual, con una variación mínima de su nivel, a menos que se cree aguas arriba del lago, en los tributarios, reservas capaces de absorber los volúmenes en exceso algunos años. Con una capacidad total de almacenamiento de tres billones de m³, se hubiera debido soltar caudales – es decir perder recursos –, solamente dos años sobre 75, cualquiera sea la opción escogida de las dos hipótesis hechas más arriba. Sin embargo, además del hecho de que la creación y la utilización de los embalses ocasiona un aumento de las pérdidas, principalmente por evaporación, hay que subrayar que la importancia de los volúmenes para almacenar exigiría la realización de grandes trabajos e inversiones importantes. Actualmente existen embalses naturales, sobre todo en territorio peruano, o embalses artificiales de capacidad inferior a 30 millones de m³.

Entre las utilidades posibles del potencial hídrico del lago Titicaca, parece que la producción de energía no constituye un imperativo, dado que existe, en los dos países ribereños, otros lugares más apropiados, sobre todo en la región amazónica. Sin embargo, la construcción de embalses con vocación hidroeléctrica en los tributarios tendría la ventaja de regularlos, sin disminuir sensiblemente los recursos.

Referente a la hipótesis de un traslado de aguas fuera de la cuenca vertiente, el caudal garantizado no podría sobrepasar 30 a 35 m³ s⁻¹ correspondiente al caudal disponible en los casos de la opción máxima simulada (45 m³ s⁻¹) y en la hipótesis de que ningún otro proyecto venga a crear nuevas necesidades. Este caudal no parece justificar una inversión muy importante a pesar de la potencia suministrada (700 MW) debida a los desniveles considerables que pueden utilizar. Incluso un proyecto mixto, agro-energético, más viable económicamente, no podría justificar las consecuencias de un traslado de estos recursos fuera de la cuenca, a menos que se considere la ayuda de aportes exteriores que compensarían estas extracciones.

Un uso agrícola, bien planificado y adaptado al potencial existente, sería más beneficioso por sus repercusiones económicas y sociales a nivel de las poblaciones ribereñas del lago o del río Desaguadero (mantenimiento de la población rural). En este caso y si se limita a pocos $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ el caudal extraído, se podría considerar nuevamente la hipótesis del traslado de agua fuera de la cuenca.

De todas maneras, si se quiere planificar y coordinar la utilización de los recursos en agua del lago y de su cuenca, se debe, antes que nada, elaborar un modelo que permita, a partir de una red de medida adecuada, conocer en tiempo real los recursos disponibles de aguas de superficie y subterráneas. Una vez conocidos estos recursos, convendría optimizar su utilización por el empleo de un modelo de gestión sobre el cual sería posible simular diferentes hipótesis conformes a las opciones escogidas.

Además de la estimación y de la gestión de los recursos corrientes, estos modelos deberían permitir evitar las consecuencias de las crecidas excepcionales. Es difícil imaginar la extracción de 500 a 1.000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ por la única desembocadura del lago, el río Desaguadero, si se piensa en que el caudal máximo a la salida del lago con una recurrencia centenaria está en el orden de 300 a 350 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. El pronóstico de crecidas permitiría manejar las reservas de volumen (vacío) del lago para que pueda absorber aportes excepcionales superiores a los 2.000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, durante 1 mes con una tasa de descarga de 300 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Aunque, a priori, un descenso moderado del nivel del lago parezca favorable a la disminución de las pérdidas por evaporación, y así a un aumento del potencial en agua, se necesitaría un estudio minucioso para determinar el impacto de esta medida sobre el balance y, particularmente, sobre el ciclo evaporación-precipitación.

Finalmente, debe evitarse una sobreexplotación del potencial en agua del lago que podría ocasionar una disminución excesiva del nivel del agua con sus consecuencias ecológicas y sociales, más a menudo negativas que positivas :

- destrucción de los ecosistemas en las zonas poco profundas (Bahía de Puno, Lago Menor...) pudiendo ocasionar una disminución del potencial ictiológico.
- dificultades de navegación en algunas zonas.
- recuperación de tierras cuya aptitud agrícola es probable, pero que aún no ha sido comprobada.
- disminución progresiva del caudal del río Desaguadero y probable agotamiento en su tramo superior, inmediato al lago.
- depresión de las napas freáticas en el contorno del lago y probablemente en algunas regiones del altiplano boliviano.
- disminución de la evaporación del lago y en consecuencia de las precipitaciones sobre los alrededores inmediatos y sobre el lago mismo.

El lago Titicaca como una maravillosa fantasía de la naturaleza debe estar al servicio del hombre mediante el aprovechamiento de sus recursos, pero debe ser, por sobre todo, preservado de una explotación irracional. Este es el objetivo del Proyecto de Estudio del Lago Titicaca (PELT) financiado por la Comunidad Europea y actualmente en su fase inicial.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los consejeros técnicos del sub-programa de estudio TPDS (Titicaca, Poopó, Desaguadero, Salares) del Proyecto de Estudio del Lago Titicaca (PELT) por su participación activa a esta publicación.

Referencias

- AMBROGGY (R.), 1965. – Cuencas acuíferas del lago Titicaca. *In* : Hidrología del Altiplano de Bolivia, La Paz, Min. Agric. : 11 p.
- Anon., 1965. – Programa de inventario y evaluación de los recursos naturales del Departamento de Puno. Sector de Prioridad 1. Capítulo 6 : Ecología y Agrostología, vol. 4. INP.ONERN.CORPUNO, Lima, 35 p.
- Anon., 1967. – Solicitud del Gobierno de Bolivia al fondo especial de las Naciones Unidas. Proyecto de aprovechamiento de aguas subterráneas del Altiplano. Secret. Nac. Planif. Coord. La Paz, 38 p.
- Anon., 1971. – Proyecto de desarrollo agrícola en la región del lago Titicaca. FAO-BID Washington, D.C. : 160 p.
- Anon., 1973. – Desarrollo de los recursos de aguas subterráneas en el Altiplano. Proyecto Naciones Unidas 1973 : 215 p.
- Anon., 1976. – Investigación y desarrollo pesquero. Perú. Resultados y recomendaciones del Proyecto FI:DP.PER.72.008. Informe terminal preparado para el Gobierno del Perú. PNUD.FAO, Roma.
- Anon., 1977 a. – Estudio del potencial hidrobiológico en el Departamento de Puno. DIREPE.PUNO.
- Anon., 1977 b. – Lineamientos de desarrollo a largo plazo, región Puno. Análisis regional. Of. Reg. Planif. 6. INP.ORDEPUNO, Puno, 178 p.
- Anon., 1977 c. – Proyecto : Represa Lagunillas (trece planos). Min. Pesq., Of. Reg. Planif. 5, Puno.
- Anon., 1977 d. – Perfiles de proyectos de irrigación. Z.A. XII. Puno. DGA. Of. Programación. Min. Agric., Lima, 40 p.
- Anon., 1980. – Proyecto a ser considerado para minimizar la problemática de la sequía. Of. Reg. Planif. 5, Puno. DIREPE.ORDEPUNO.
- Anon., 1981 a. – Identificación de proyectos específicos de riego, La Paz, Min. Agric. Asunt. Campes., IICA, Bolivia : 1 : 517 p. ; 2 : 660 p.
- Anon., 1981 b. – Inventario y evaluación de los recursos hidroeléctricos para centrales entre 1000 y 30000 KW, Electoperú, 163 p.
- Anon., 1981 c. – Estudio de la cuenca del río Ilpa. Min. Agric. Puno. DGAS. Proy. Manejo de cuencas. Tomo 1 : diagnóstico de la cuenca, 114 p. ; Tomo 2 : plan de manejo de la cuenca, 102 p.
- Anon., 1986. – Principales proyectos de irrigación ejecutados en el departamento de Puno. Plan rehati, Min. Agric., Perú, 45 p.
- Anon., s/f. – Programa preliminar de investigación y promoción pesquera en el lago Titicaca. Informe final, Serv. Pesq., Puno, Perú.
- BENITEZ (P.), 1973. – Feasibility study of the electrical power requirements for the Lake Titicaca littoral. *In* : Project n° 6, A report of Peru, Min. of Energy & Mines, vol. 1 and 2.
- BOULANGE (B.), AQUIZE JAEN (E.), 1981. – Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 14 (4) : 269–287.
- BOURGES (J.), CARRASCO (L.M.), CORTES (J.), 1991. – El lago Titicaca : aportes en aguas superficiales y desagüe. PHICAB, La Paz (in press).
- CARMOUZE (J.P.), AQUIZE JAEN (E.), 1981. – La régulation hydrique du lac Titicaca et l'hydrologie de ses tributaires. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 14 (4) : 311–327.
- CARMOUZE (J.P.), ARZE (C.), QUINTANILLA (J.), 1981. – Régulation hydrochimique du lac Titicaca et l'hydrochimie de ses tributaires. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 14 (4) : 329–348.
- FERNANDEZ JAUREGUI (C.A.), ROCHE (M.A.), ALIAGA (A.), PEÑA (J.), 1987. – Los recursos hídricos en Bolivia. PHICAB.CONAPHI, IHH.UMSA, ORTOM, SENAMHI : 20 p., multigr.
- FRISANCHO (I.), 1963. – La utilización de las aguas del lago Titicaca. Ed. Los Andes. Puno.
- GARIBALDI (G.), DEL RIO (M.), LEON (A.), VEGA (G.), 1961. – Visión futura de la costa peruana. 1 : Lago Titicaca. 2 : Extracción de las aguas del lago. Tesis UNI, Lima, 170 p.

- GOMEZ (J.), 1972. – Estudio del lago Titicaca para aprovechamiento de sus aguas. Tesis Ing. Agríc. UNA – La Molina, Lima, 118 p.
- GUMIEL (D.), 1988. – Prospección hidrogeológica del área altiplánica del proyecto de autoayuda campesina, CEE.CORDEPAZ, La Paz, 96 p.
- GUYOT (J.L.), GUMIEL (D.), 1990. – Premières données sur l'hydrogéologie et sur l'hydrogéochimie du Nord de l'Altiplano bolivien. *Hydrogéologie*, 3 : 159–164.
- GUYOT (J.L.), CALLE (H.), CORTES (J.), PEREIRA (M.), 1990. – Transport de matières dissoutes et particulaires des Andes vers le Rio de La Plata par les tributaires boliviens (ríos Pilcomayo et Bermejo) du Rio Paraguay. *J. Sci. Hydrol.*, 35 (6) : 653–665.
- GUYOT (J.L.), ROCHE (M.A.), NORIEGA (L.), CALLE (H.), QUINTANILLA (J.), 1990. – Salinities and sediment transport in the Bolivian highlands. *J. Hydrol.*, 113 : 147–162.
- JIMENEZ (A.), 1967. – El plan nacional de agua potable rural en Puno, estudio de fuentes. Tesis UNI, Lima.
- LA FUENTE (I.), 1982. – Estudio monográfico del lago Titicaca. *Bol. Soc. Geogr.*, Lima, 1 : 263–391.
- LOZADA ENCINAS (G.A.), 1985. – Balance hídrico de la cuenca del lago Titicaca. Tesis UMSA, La Paz, 158 p.
- ROCHE (M.A.), FERNANDEZ JAUREGUI (C.A.), 1986. – Los balances hídricos de Bolivia. Premier Symposium de la Recherche française en Bolivie, La Paz, Sept. 1986 : 44–47, multigr.
- ROCHE (M.A.), ROCHA (N.), 1985. – Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 1/4.000.000. PHICAB, ORSTOM, SENAMHI. La Paz.
- RONCHAIL (J.), 1985. – Situations météorologiques et variations climatologiques en Bolivie (Analyse de séries climatiques, inventaire de saisons exceptionnelles). PHICAB, AASANA, IFEA, ORSTOM, SENAMHI, La Paz, 60 p., multigr.
- SMYTH (J.), COWELL (B.), 1966. – Lake Titicaca Resources Study. PASA for US AID – Perú, Lima, 19 p.
- VALCARCEL (C.), s/f. – Características agrológicas de la provincia de Puno en zonas cultivadas vecinas al lago Titicaca. Tesis UNA – La Molina. Lima, 94 p.