

Estudio del cambio en la superficie de agua del Lago menor del lago Titicaca, lado boliviano.

Uziel Luna V. ^a, Jhon Chura Ch.

^a Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Unidad de Estudios e investigación hidrológica La Paz, Bolivia

Email: uziel.luna@senamhi.gob.bo, jhon.chura@senamhi.gob.bo

INFORMACIÓN

Palabras clave:

Titicaca
Frecuencia
Espejo de agua

RESUMEN

A través del paso del tiempo muchos fenómenos climáticos van afectando de manera significativa muchas zonas cuya principal característica siempre fue la presencia de agua. Tal es el caso del lago Titicaca que experimenta cada vez más una significativa disminución en su volumen de agua, sobre todo en la parte sur que comprende el lago menor.

La disminución del recurso hídrico es muy evidente al observarlo a través de información remota. Fue fundamental acudir a información terrestre para respaldar el comportamiento multitemporal identificado. El nivel de agua del lago Titicaca está condicionado principalmente por la intensidad y recurrencia de las lluvias que se dan en cada época del año de manera interanual.

1 Introducción

Los recursos hídricos superficiales poseen un alto grado de importancia en la zona en la que se extienden. En la actualidad se vive una evidente problemática con respecto al acceso a este recurso natural fundamental, lo cual nos obliga a tomar acción a la preservación del mismo.

Múltiples planes de mitigación a desastres naturales son realizados de forma anual, pero no se contemplan planes de preservación o conservación que de forma consecuente evitarían destinar recursos económicos en subsanar una problemática si tranquilamente podríamos evitarla.

El lago Titicaca por su ubicación es uno de los cuerpos de agua superficial más importantes de Sudamérica por su efecto sobre el clima de la zona circundante, es decir, es una masa que absorbe y retiene la energía solar de día y la irradia de noche. Un escenario catastrófico que contemple la desaparición del lago sería un aumento brusco de

temperatura durante el día y un frío extremo por la noche, produciéndose condiciones difíciles para sostener vida en la región.

2 Descripción de la zona de estudio

El lago Titicaca es un cuerpo de agua ubicado en el altiplano andino, en el corazón de los Andes a una altitud promedio de 3.812 metros sobre el nivel del mar entre Bolivia y Perú. Tiene una superficie de 8.562 km², de los cuales el 56% (equivalente a 4.772 km) corresponde a Perú y un 44% (3790 km aproximados) a Bolivia. Su profundidad máxima se estima en 281 metros y su profundidad media es de 107 metros. Sus niveles de agua son cada vez escasos y aumentan durante el verano.

Este lago está formado por dos masas de agua separadas por el Estrecho de Tiquina. El mayor de ellos se encuentra en el norte y se lo denomina Lago Mayor, su superficie estimada es de unos 6.450 kilómetros cuadrados, posee una profundidad estimada de 283 metros cerca de la isla de Soto. El

otro cuerpo de agua es más pequeño denominado lago Menor o Wiñaymarca ubicado en el sur con un área de 2.112 kilómetros cuadrados, con una profundidad máxima estimada de 45 metros.

La temperatura media anual del lago es aproximadamente de 13 °C, mientras que el clima en la región del lago es de naturaleza extrema, con cambios significativos en la temperatura que aumentan a medida que aumenta la distancia desde el lago. Las precipitaciones aumentan durante los meses de verano del sur (diciembre a marzo) y caen bruscamente durante los meses de invierno (abril a noviembre). Durante el verano, las tormentas son frecuentes en el lago y sus alrededores, así como las inundaciones en las áreas circundante del lago.

3 Metodología

El presente estudio contempla el trabajo de monitoreo realizado en el lago menor a través de información de precipitación disponibles hasta el año 2022.

3.1 Datos

3.1.1 Análisis de periodos de crecida

En Bolivia el periodo húmedo en un año hidrológico corresponde al periodo comprendido entre los meses de diciembre a marzo. Este periodo trae consigo crecidas en cuerpos de agua superficial tales como el lago Titicaca. La **figura 1** muestra el comportamiento de los niveles de agua registrados

en la estación limnimétrica de Huatajata desde el año 1974 a la fecha, se detalla los promedios mensuales en todo el registro histórico. La crecida máxima se dio en el mes de abril de 1986 alcanzando una cota histórica de 3811.23 m.s.n.m la cual de momento no fue alcanzada o superada, por otro lado, la mínima histórica fue registrada en el mes de septiembre de 1996 con una cota de 3807.39 m.s.n.m. Si bien la época de lluvia aporta de cierta manera en el aumento de agua en toda la región circundante al lago Titicaca, se puede evidenciar que año tras año no es suficiente para superar el nivel de agua máximo histórico.

A través de un monitoreo en periodos de crecida, se logró identificar una clara extensión de la superficie del agua produciendo también una intrusión sobre zonas cultivables, es decir, generándose ciertas llanuras de inundación temporales, pero la alta concentración de sedimentos en las orillas impide que se formen cuerpos de agua permanentes.

3.1.2 Análisis de niveles de agua

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología realiza un monitoreo continuo en la región aledaña del lago Titicaca a través de la recolección de información termopluviométrica diaria a fin de respaldar el monitoreo de la estación limnimétrica de Huatajata.

El nivel hídrico del lago Titicaca está condicionado principalmente por la intensidad de las lluvias que se dan en cada época del año de manera interanual. Algunos estudios han asociado teleconexiones en la

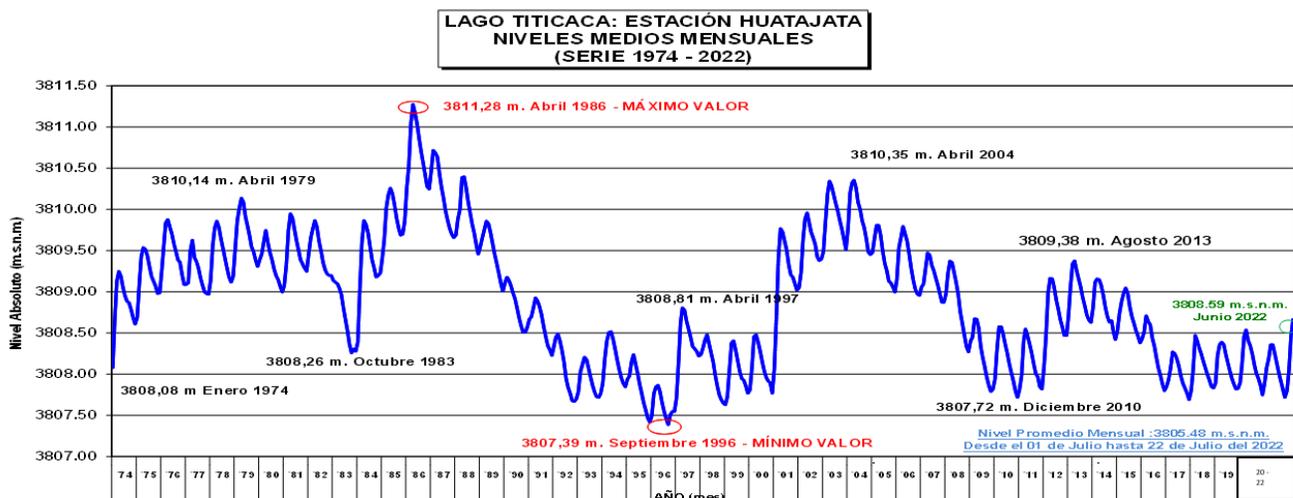


Fig. 1 Identificación de periodos crecidas a través de los niveles medios mensuales de la estación Huatajata. Elaboración propia.

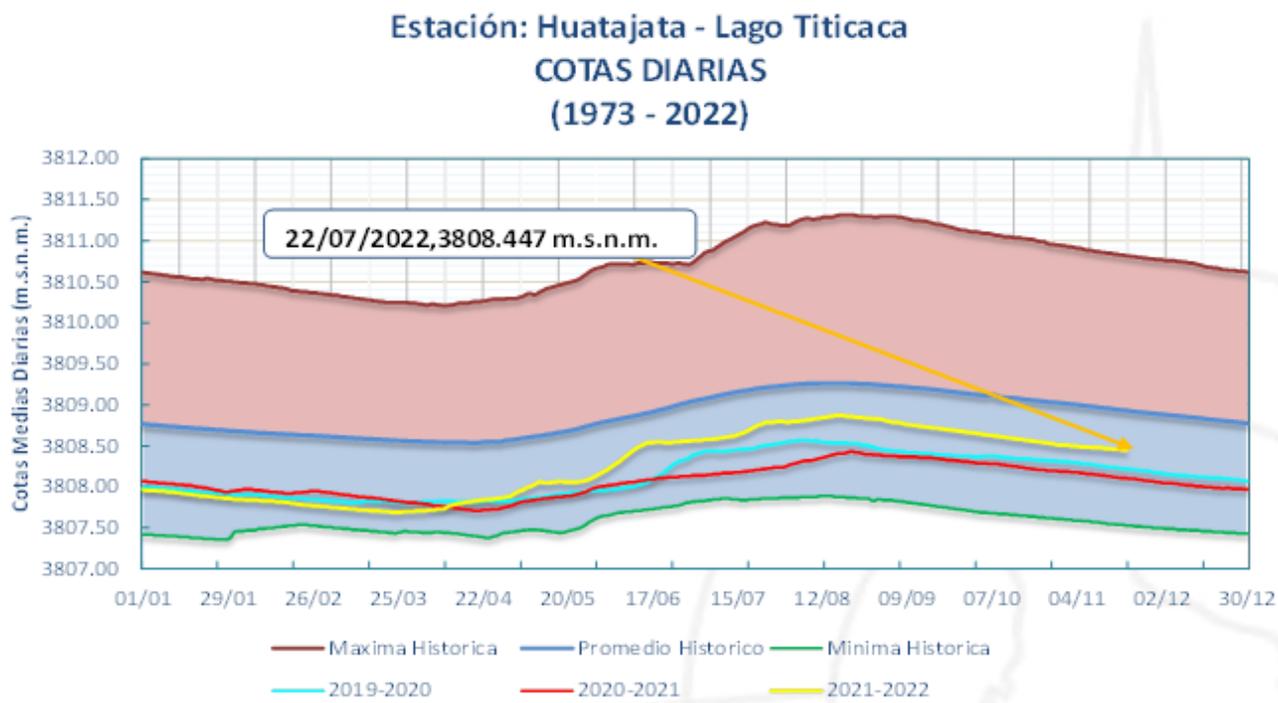


Fig. 2 Registro diario de niveles de agua de la estación Huatajata. Elaboración propia.

variabilidad de las lluvias en el altiplano o en los Andes sur peruanos con eventos El Niño (EN) y La Niña (LN) o eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur). Trabajos como los de Aceituno (1988, 1989)

La información limnimétrica actual muestra que los niveles del lago aumentaron de manera significativa con respecto de años anteriores (**fig. 2**)

Este incremento de nivel de agua viene respaldado por la acumulación de agua precipitada registrada en las estaciones de Ancoraimas, El Belén, Carabuco y Copacabana a finales de la gestión 2021 (**Fig. 3**)

Si bien el escenario de incremento de agua mostrado en la **Figura 2** representa miles de metros cúbicos de agua almacenada en el lago menor, al no superar el promedio histórico en la época de crecida, claramente presenta una tendencia de bajada que puede ser peligrosa con el paso del tiempo.

Las variaciones del nivel del agua durante el periodo registrado es aproximadamente unos 3 metros. Dichas variaciones del nivel del lago es una aproximada representación entre los ingresos de agua por precipitación, afluencia de los ríos y la evaporación. La mayor actividad de aumento y disminución de los niveles del lago son bien representadas en los meses de abril a diciembre,

periodo donde la cantidad de agua precipitada excede los valores normales en la región (**Fig. 3**)

La estación meteorológica de San Calixto – La Paz a 100 Km de distancia del lago establece que la correlación entre las lluvias mensuales y las variaciones de niveles son significativas, principalmente entre los meses de enero, febrero y marzo. Mientras que el nivel del lago no se correlaciona con las lluvias anuales (Ronchail J. *et al* 2014)

Analizar de manera precisa los ascensos de agua observados en la estación limnimétrica de Huatajata trae consigo un análisis muy extenso del comportamiento del microclima que se forma en el lago, es decir, la distribución de precipitación que se genera, los afluentes, el uso del suelo, etc. Entonces, resulta muy práctico apoyarse en información alternativa, es decir, en información con una buena disposición, extensión y libre.

3.1.3 Información Satelital

El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea ha desarrollado un visor de datos enfocado al agua en el marco del Programa Copernicus. Dicho visor mapea la localización y distribución temporal de las superficies de agua a escala mundial durante



Fig. 3 Registro mensual de precipitación. Comparación de los años 2019 a 2022 con respecto de la normal. Elaboración propia.

las últimas 3,7 décadas y se ofrecen estadísticas sobre la extensión y el cambio de esas superficies de agua. El conjunto de datos, elaborado a partir de imágenes Landsat, servirá de apoyo a aplicaciones como la gestión de los recursos hídricos, la modelización del clima, la conservación de la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Todos los conjuntos de datos que componen el *Global Surface Water* 1984-2020 están disponibles

gratuitamente mediante los siguientes mecanismos de entrega: Global Surface Water Explorer, descarga de datos, Google Earth Engine y Web Map Services (global-surface-water.appspot.com)

El Explorador Mundial de Aguas Superficiales es una sencilla herramienta de cartografía web que muestra todos los conjuntos de datos sobre el agua y permite a los usuarios navegar por el mundo visualizando los conjuntos de datos sobre el agua sin

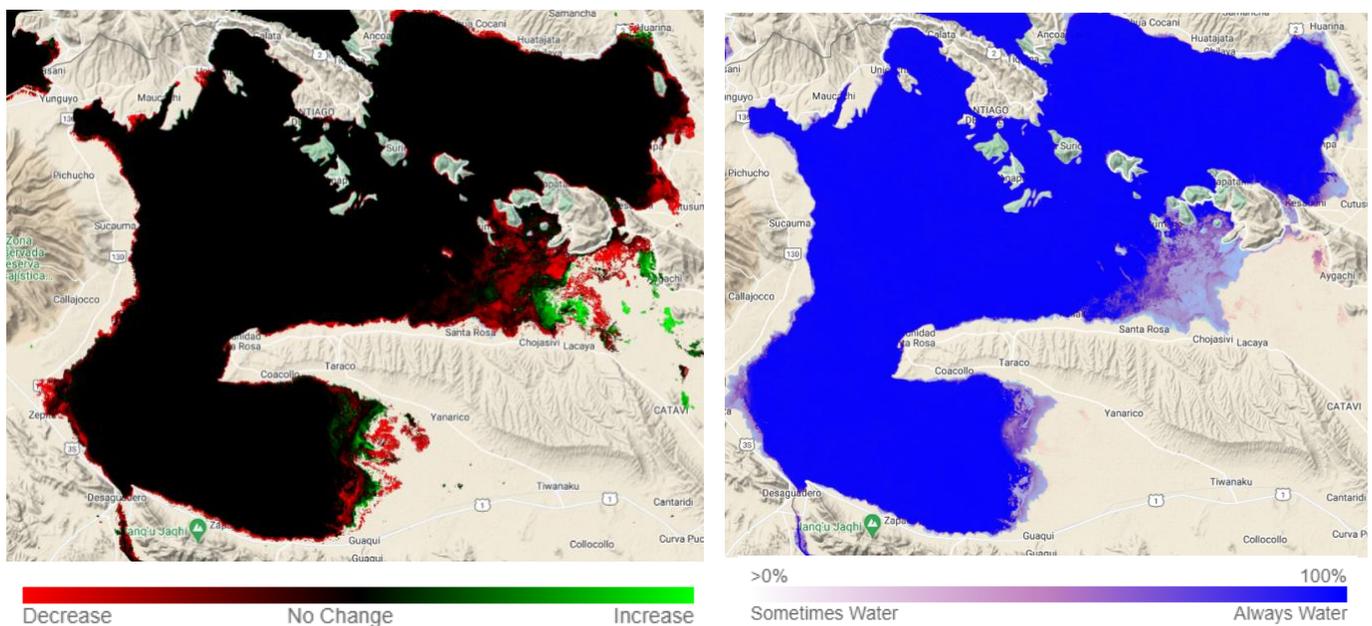


Fig. 4 Gráficas comparativas del cambio y frecuencia de la presencia de cuerpos de agua circundantes al lago menor. Elaboración propia.

necesidad de instalar ningún software. También permite a los usuarios ver el historial completo de las detecciones de agua durante el período de 37 años (*et.al* Peker J.)

3.1.4 Variación del área del lago menor

Más allá del monitoreo realizado es posible detectar el cambio del área del lago menor en visores libres tales como el Google Earth, Eosdis, Global Surface Water (GSW), etc.

Este último nos proporciona información histórica comprendida entre los años 1984 a 2020, no presenta un mapeo de todo el proceso de aumento o disminución de los diversos cuerpos de agua en el planeta. Un punto fuerte del visor GSW son sus gráficas de frecuencia de presencia de agua en zonas de interés. **La figura 4** permiten visualizar los años en que la presencia de agua en ciertas zonas fue de carácter estacional y/o permanente. En la **figura 4** a la izquierda es posible apreciar la disminución del área del lago en todo el registro histórico mencionado con el uso de imágenes LANDSAT.

El análisis de recurrencia de agua es detallado en las **figuras 5, 6 y 7** donde establece una codificación de color considerando la presencia de agua, estas son:

Permanente – Masa de agua que no experimentó cambio en el periodo de registro.

Nuevo permanente – Aparición de cuerpos de agua que no presentan disminución en el tiempo

Pérdida permanente – Desaparición de cuerpos de agua.

Estacional – Cuerpos de agua que se presentan en periodos de lluvia y desaparecen con el tiempo.

Nuevo estacional – Presencia de nuevos cuerpos de agua en periodos de lluvia.

Pérdida estacional – Ausencia de cuerpos de agua que se generaba de forma recurrente en periodos de lluvia.

Estacional a permanente – Permanencia de cuerpos de agua generados en época de lluvia.

Permanente a estacional – Desaparición de cuerpos de agua y recuperación en época lluviosa.

Efímero permanente – Desaparición permanente de cuerpos de agua.

Efímero estacional – Desaparición de cuerpos de agua generados en periodos de lluvia.

La información que proporciona el visor GSW es una acumulación de un historial de perfiles temporales de agua por pixel. El agua presenta un espectro característico con valores máximos de reflectividad en la región del espectro del azul reduciéndose poco a poco hasta prácticamente hacerse nula en el infrarrojo cercano y medio. Esta última característica espectral permite identificar cuerpos de agua. Evidentemente esta falta de reflectividad en el infrarrojo cercano es fundamental para distinguir cuerpos de agua. Este análisis permite definir el cambio del agua superficial en cortos periodos de tiempo (dependiendo del paso del satélite utilizado)

La primera zona de análisis (**Fig. 5**) muestra una alta extensión de agua de carácter efímero estacional, y una disminución progresiva del lago mostrándose bandas de pérdidas estacionales (del 2016 en adelante), cuerpos de agua estacionales (presente en casi todos los años de registro), agua estacional nueva (del 2011 en adelante, siendo permanente los años 2012 y 2013), y ascensos de agua propio de la época lluviosa (presente en casi todos los años de registro)

En la zona 2 de análisis (**Fig. 6**) se da un panorama similar bastantes cuerpos de agua de carácter efímero estacional (en su mayoría desde 1989), pérdidas de cuerpos de agua desde el año 2015 en adelante y agua estacional.

En la zona 3 de análisis (**Fig. 7**) se puede apreciar un evidente y muy significativo cambio drástico de la disminución de agua del lago menor. Si bien se da un proceso paulatino de aumento y disminución de agua. Bastante superficie de agua es catalogada como efímera estacional sin posibilidad de recuperación por el alto contenido de sedimentos. Una posibilidad de recuperación de los mismos era el agua estacional, pero esta fue desapareciendo desde el año 2016, cierta superficie es cubierta por llanuras de inundación temporal (en épocas de lluvia), finalmente se observa pérdidas permanentes de agua desde el año 2012 en adelante.

4 Conclusiones

El monitoreo del lago menor del Titicaca nos detalla el estado de disminución de agua al igual que se viene observando en todos los cuerpos de agua del mundo.

No es recomendable proponer escenarios catastróficos del comportamiento del lago a futuro, pero sí proponer alternativas para evitarlos. Estas pueden ser enfocadas al grado de contaminación que el lago experimenta con el incremento de la población en el departamento de La Paz.

Si bien este 2022 se pudo evidenciar cierto incremento del nivel de agua con respecto a

registros de años anteriores (2021 y 2020) Se debe considerar que no se logró llegar a los niveles normales generando así una tendencia de bajada.

Más allá de un monitoreo, es necesario realizar más investigaciones enfocadas al comportamiento hidrológico de la cuenca que alberga el Lago. Si bien se cuenta con información hidrometeorológica local se vio como necesario acudir a un estudio climático a profundidad debido a que el incremento de agua es ampliamente afectado con la variabilidad de los eventos de la niña.

5 Referencias

- Aceituno P., Montecinos A., 1993. Circulación anomalies associated with dry and wet periods in the south American Altiplano. Proc. Fourth Int. Conf. on Southern Hemisphere Meteorology, Hobart, Australia. Am. Meteor. Soc., pp. 330-331.
- Antunez de mayolo R (1992). Recurrencia del Fenómeno “El Niño” y el Titicaca. Paleo ENSO Record Intern. Sympo, (Lima, March 1992).
- Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1: surface climate. *Monthly Weather Review*, v. 116, p. 505-524.
- Delclaux, François, Anne Coudrain, and Thomas Condom. 2007. “Evaporation Estimation on Lake Titicaca: A Synthesis Review and Modelling.” *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.6360>.
- Francou B., Pizarro L., 1985. El niño y la sequía en los altos Andes centrales (Perú y Bolivia) *Bull. Inst. Français d'Études Andines*, 14: 1-18.
- Garreaud R.D., 2000. Intraseasonal variability of moisture and rainfall over the south American altiplano, climate. 14:2779-2789.
- Jean-Francois Pekel, Andrew Cottam, Noel Gorelick, Alan S. Belward, High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418-422 (2016). (doi:10.1038/nature20584)
- Leira M. & Cantonati M. 2008. Effects of water-level fluctuations on lake: an annotated bibliography. *Hydrobiologia* 613:171-184.
- Maldonado R. & Calle S. 1998. Comportamiento de las precipitaciones en el sector del Lago Titicaca (Bolivia) durante “El Fenómeno El Niño”. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*. 27:699-707.
- Monheim F., 1956 b. - Contribución a la climatología e hidrología de la cuenca del lago Titicaca. Traducción Carlos Pecka, UNTA, Puno: 232 p
- Richerson P, Widmer C, Kittel T (1977). The limnology of Lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high altitude tropical lake. *Univ. California, Davis, Inst. Ecology*, 14:78 p, multigr.

Ronchail J., Espinoza J., Labat D., Callede J., Lavado W., 2014: Evolución del nivel del lago Titicaca durante el siglo xx. Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TPDS con enfoque en la cuenca del lago Titicaca. IRD-UICN, Quito, Ecuador.

Wirrmann D (1991). Capítulo II Morfología y Batimetría. In El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual. Dejoux & A. Itis (Eds). OSTOM-HISBOL, La Paz, Bolivia. Pág