

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SANTAGO, CHILE, AGOSTO 2014**

**DINÁMICA HÍDRICA ESPACIAL DE LA LAGUNA MAR CHIQUITA
DURANTE EL PERIODO 2001-2013**

*Pagot, M.; Vargas, C.; Hillman, G.; Pozzi Piacenza, C.; Seveso, M. y Rodriguez, A.
Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba,
Argentina, mpagot@efn.uncor.edu*

RESUMEN:

Se abordó en este trabajo un análisis de la dinámica hídrica espacial de la Laguna Mar Chiquita, basado principalmente en la caracterización del sistema a través del procesamiento digital de imágenes satelitales adquiridas por la serie LANDSAT (satélites L5, L7 y L8).

Se definió la relación numérica que vincula las variables del nivel del agua de la laguna con los volúmenes derivados de un nuevo y actualizado modelo digital topobatimétrico del cuerpo de agua definido con apoyo satelital y mediciones en campo cubriendo el período 2001-2013.

Estos resultados permitieron alcanzar un mayor conocimiento en el funcionamiento hidrológico característico de la región. Se logró mejorar la estimación de los términos relacionados con la variación espacial del sistema para avanzar en la definición de un futuro balance hídrico del sistema.

ABSTRACT:

An analysis of the spatial dynamics of water Laguna Mar Chiquita, based mainly on the characterization of the system through the digital processing of satellite images acquired by the Landsat series (satellites L5, L7 and L8) are addressed in this paper.

Numerical relationship that binds the variables in the water level of the lagoon with volumes reflecting a new and updated digital model topobatimétrico water body defined with satellite support and field measurements covering the period 2001-2013 were identified.

These results allowed us to achieve a greater understanding in the characteristic hydrological functioning of the region. It was possible to improve the estimate of the terms related to the spatial variation of the system to advance the definition of a future water balance of the system.

PALABRAS CLAVES: Laguna Mar Chiquita, teledetección, nivel, áreas y volúmenes de agua.

INTRODUCCIÓN

La Laguna Mar Chiquita constituye un sistema hidro-ecológico cerrado, conformando un importante hábitat en la región central de Argentina (NW de Córdoba y SW de Santiago del Estero).

El ingreso superficial de agua al sistema se produce principalmente por el río Dulce o Petri desde el norte, y, en menor proporción, por los aportes desde el sur, de los ríos Suquia y Xanaes. Las salidas hídricas de este sistema endorreico se producen principalmente por la evaporación. Este cuerpo de agua, se encuentra fuertemente condicionado por su morfología ya que se emplaza en una zona de llanura, donde se logra un delicado equilibrio entre su nivel de agua y el hábitat que permite un alto grado de biodiversidad.

En Bucher (2006) se distinguen algunos de los problemas importantes que aquejan a este sistema, como son: durante los periodos húmedos, las inundaciones en Miramar (única ciudad costera de la Laguna Mar Chiquita) y durante periodos secos, los efectos negativos de acciones antrópicas no controladas que han provocado mortandad de peces, como el manejo del caudal erogado por el embalse Río Hondo.

En la necesidad de mantener la sustentabilidad del sistema debe prevalecer la protección de la flora y fauna autóctona y el mantenimiento de los ciclos hidrológicos de anegamiento en los Bañados del Río Dulce.

La Laguna Mar Chiquita o Mar de Ansenúza se emplaza en una zona de llanura que es responsable de su escasa profundidad, del orden de 5,5 m, cubriendo un área cercana a 2.500 km², con un nivel de agua de 67,5 m s.n.m., en la actualidad. Estos parámetros han pasado por grandes modificaciones históricas debido a que la costa de la Laguna presenta pendiente muy suave, por lo que la superficie varía de manera muy marcada aun para pequeños cambios de nivel. Un ejemplo de ello es que el máximo nivel medido se observó en el año 2003 con un valor próximo a los 72 m s.n.m., lo que corresponde a una profundidad máxima promedio de 10 m y un área cubierta por agua de 6550 km².

Las disminuciones de nivel que afectan principalmente la extensión areal de la Laguna, condicionan la biodiversidad del sistema. Este cuerpo de agua incrementa su salinidad al disminuir su volumen de agua modificando las condiciones del hábitat.

A su vez es importante analizar la dinámica areal de la Laguna para evaluar este nuevo período de niveles bajos, y así aportar bases técnicas para definir políticas de planificación y usos del suelo acordes a estas condiciones; de manera tal que de prevenir la ocupación de zonas que en períodos húmedos serán inundables, entre otras acciones.

Cabe destacar que el carácter de área nacional e internacionalmente protegida del sistema (la Laguna Mar Chiquita fue declarada Sitio RAMSAR en el año 2002) y la relativamente baja alteración antrópica, avalaron la continuidad ininterrumpida de 15 años de investigaciones en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba (LH-UNC) para mejorar el conocimiento de este sistema.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica hídrica espacial del sistema Laguna Mar Chiquita durante el período 2001-2013.

Para alcanzar este objetivo se planteó la metodología de trabajo que involucra las siguientes tareas:

1. Análisis y medición de las áreas cubiertas por agua tanto para la Laguna Mar Chiquita como para los Bañados del Río Dulce, a través del procesamiento digital de imágenes satelitales.
2. Actualización topobatemétrica del cuerpo de agua de la Laguna. Generación de un nuevo Modelo Digital de Elevaciones.
3. Estudio de la función numérica que involucró los parámetros de Nivel y Volumen de la Laguna.

ACTUALIZACIÓN DE LOS DATOS DISPONIBLES

Niveles de la Laguna Mar Chiquita:

Durante el período de estudio, se contó con mediciones diarias de niveles de agua de la Laguna realizadas sobre escalas limnimétricas en Miramar, en la sede de la Reserva “Bañados del río Dulce y Mar de Ansenúza” de la provincia de Córdoba.

Se actualizó la Base de Datos del LH-UNC, correspondiente a las variables de niveles diarios y mensuales, tomando como base aquellas series presentadas en Hillman (2003), Pagot (2003), Pozzi *et al.* (2005), Cereceda (2009), LH-UNC (2012).

Las mediciones de nivel se registran sobre un conjunto de 6 (seis) escalas limnimétricas, ubicadas sobre la costa sur de la Laguna Mar Chiquita en Miramar y cubren el periodo 2001-2013.

Con estos datos fue actualizada la serie definitiva de niveles mensuales del período 1967-2013, presentada en la **Figura 1**.

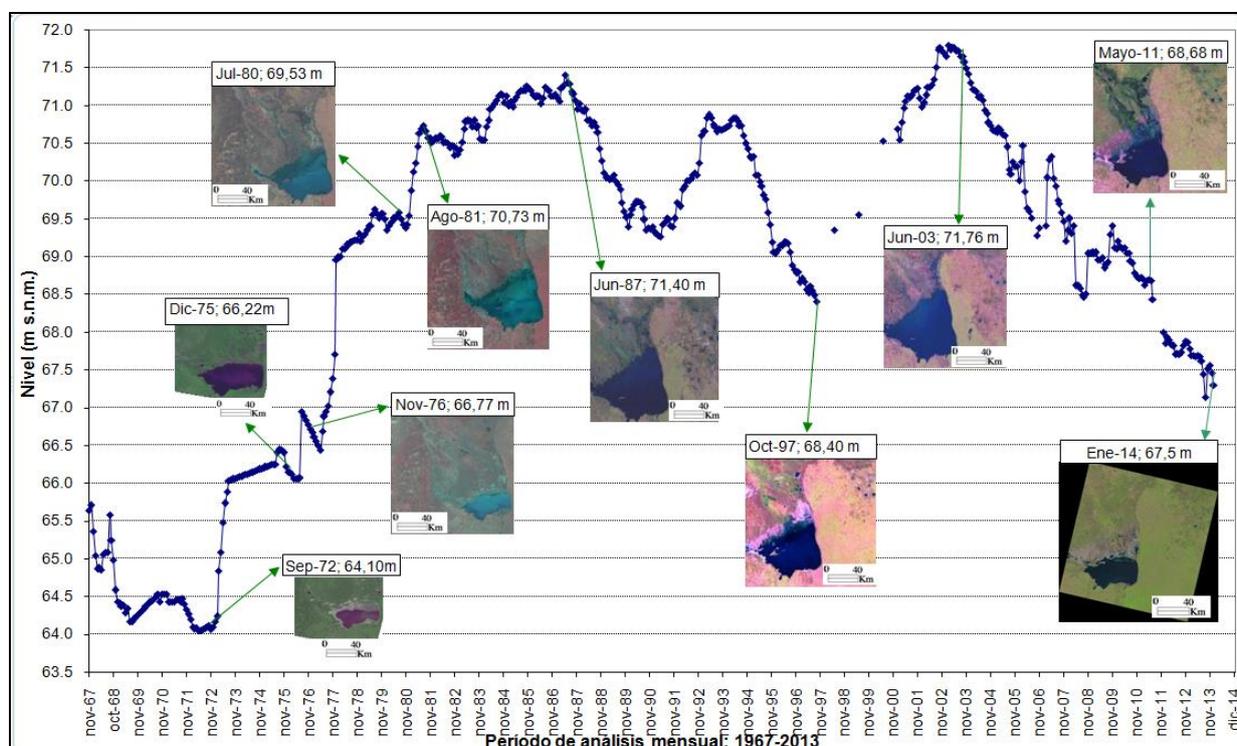


Figura 1.- Niveles mensuales de agua de la Laguna Mar Chiquita. Período 1967-2013.

En la figura precedente, se observa el marcado ascenso de nivel de agua a partir de la década '70, alcanzando los mayores niveles a mediados de la década de los '80 y luego también durante el año 2003. Se destacan los tres ciclos definidos desde la década del 80, con picos entre los años 1982, 1993 y 2003. El periodo de descenso luego de cada ciclo, presenta similar pendiente descendiendo medio metro por año en promedio.

Se deduce que en la actualidad, los niveles son similares a los que presentaba la Laguna a fines del año 1977, contando con una tendencia decreciente del nivel desde el año 2003.

Actualización de la serie de imágenes satelitales:

En este trabajo se procesaron 25 imágenes de alta resolución disponibles en la página del U.S. Geological Survey (USGS): www.glovis.usgs.gov. Éstas tienen formato *tiff*, con resolución espacial de 30 m (tamaño de pixel), y abarcan una superficie de aproximadamente 180 km x 180 km

por escena. Las imágenes fueron adquiridas por los satélites de la serie LANDSAT (5, 7 y 8). La resolución temporal o intervalo entre dos tomas consecutivas de cada satélite es de 16 días, y de 8 días entre los mismos. Sin embargo la cantidad de imágenes factibles de utilizar se reduce, respecto de las disponibles, por la presencia de nubes sobre el espejo de agua, ya que se trata de satélites ópticos.

Las 25 imágenes satelitales analizadas se seleccionaron con el criterio que cubran los distintos estados de la Laguna durante el período de estudio: Laguna alta, baja y estados intermedios. Luego se seleccionaron 12 imágenes satelitales para realizar el modelo topobatimétrico, considerando que la variación entre niveles de agua no sea demasiado pequeña, ya que los contornos de agua serían muy similares.

En la **Figura 2** se indican los días correspondientes a las imágenes satelitales sobre la curva de niveles diarios actualizados, incluyendo algunas imágenes a modo ilustrativo.

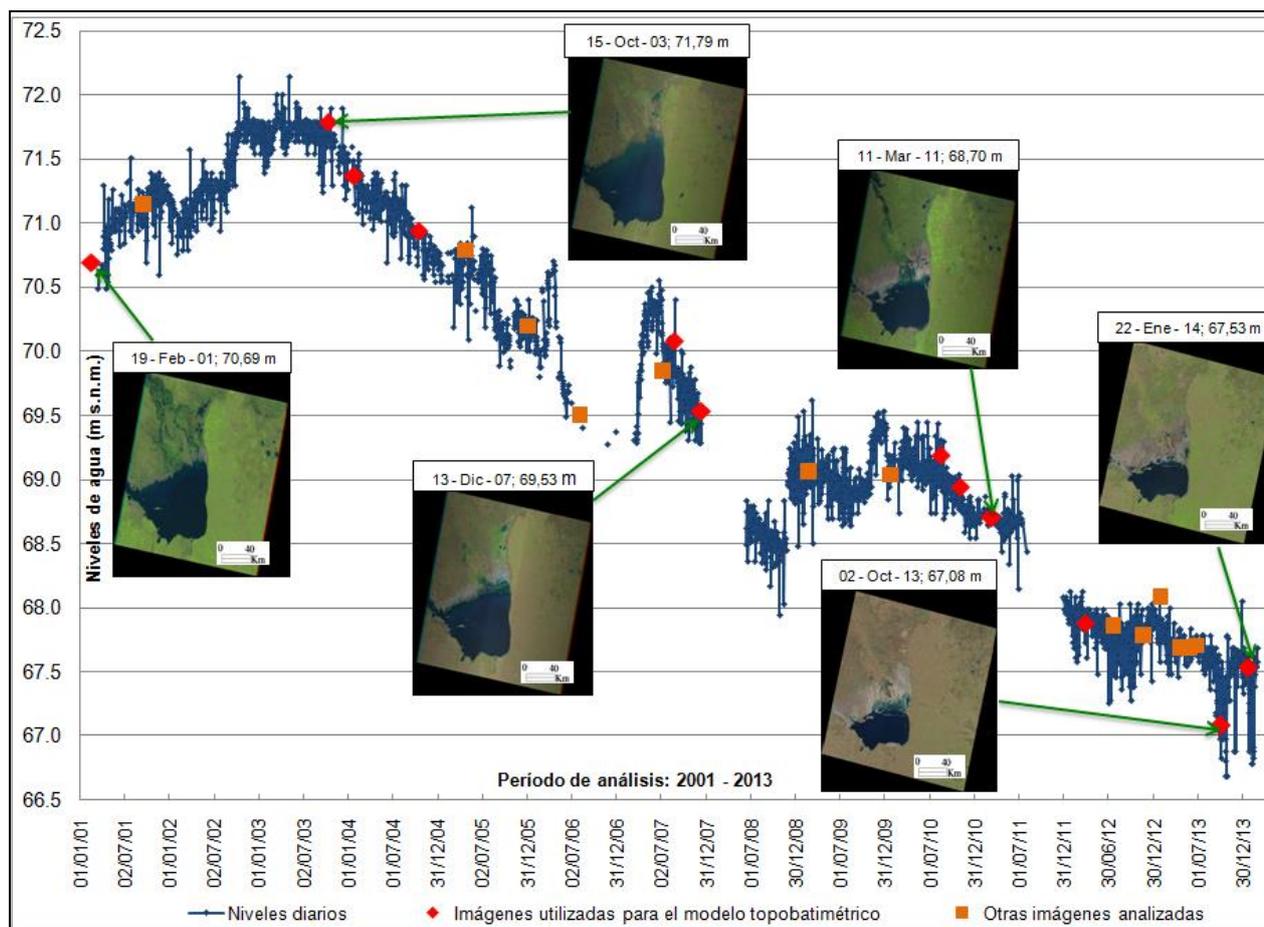


Figura 2.- Imágenes satelitales analizadas y niveles diarios de la Laguna Mar Chiquita.

Tal como se mencionó en el apartado precedente, los datos adquiridos a través de los satélites de la serie LANDSAT fueron utilizados en este estudio como una importante herramienta para monitorear los ambientes lacustres en la región de la Laguna Mar Chiquita y los Bañados del Río Dulce. En particular, la región en estudio se encuentra en el Path/Row: 228-081 con centro en las coordenadas: Latitud Sur: -30,18 Longitud Oeste: -62,14 para el estudio de la Laguna.

CARACTERIZACIÓN TOPOBATIMÉTRICA DE LA LAGUNA MAR CHIQUITA

Para generar la batimetría de la Laguna Mar Chiquita se superpusieron 12 de los contornos medidos. Éstos se complementaron con los contornos recopilados de batimetrías previas (CIRSA, 1979, Hillman, 1999 y Plencovich, 2010) para incluir los niveles menores a los registrados en el

período de estudio. El conjunto resultante de contornos medidos se presenta en la [Figura 3](#) para el rango de niveles de agua con elevación entre 62,10 y 71,79 m s.n.m.

Además en Hillman (1999) se definió como cota de fondo de la Laguna 62,03 m s.n.m. De esta manera, se obtuvo un modelo digital topobatimétrico del terreno de la Laguna Mar Chiquita generado por cada nivel medido y su correspondiente curva de nivel.

A partir de la interpolación de estas curvas de nivel, se generó un modelo tridimensional con el que se calcularon los volúmenes correspondientes a los distintos niveles analizados. Los mismos se estimaron a partir de la comparación entre dos superficies, tomando como superficie base al modelo topobatimétrico generado, y como superficie de comparación al contorno correspondiente a cada nivel. De esta comparación surge el volumen de corte, de relleno y el volumen neto entre ambas superficies (volumen neto = volumen de relleno - volumen de corte).

A partir del modelo generado, se realizó un mapa de profundidades de la Laguna que se muestra a continuación en la [Figura 3](#).

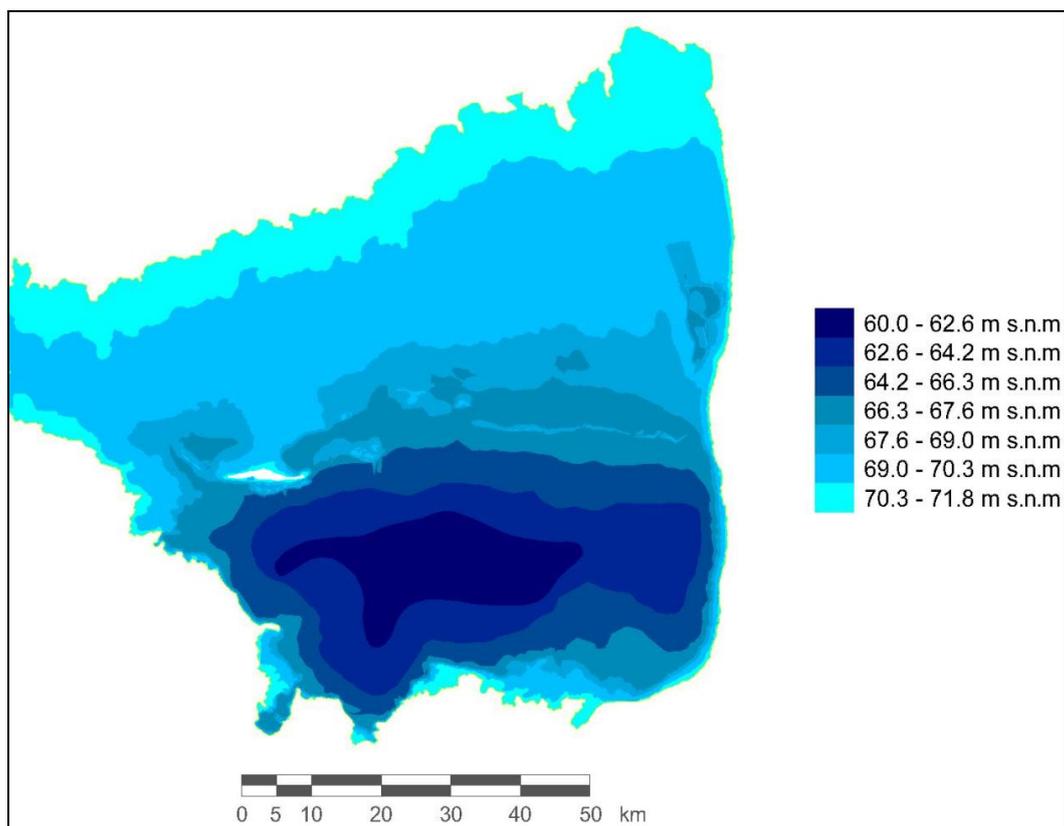


Figura 3.- Modelo topobatimétrico de la Laguna Mar Chiquita.

Las mayores profundidades se dan hacia la mitad sur de la Laguna. Hacia el norte las profundidades van disminuyendo.

Durante los “periodos húmedos” la Laguna Mar Chiquita se encuentra con cotas que superan los 69 m s.n.m., en estas condiciones la isla El Mistolar queda aislada de la costa, y disminuyen notablemente las amplias playas barrosas de la costa norte.

Cuando el nivel de la Laguna baja, la costa norte queda expuesta dando lugar a las playas salinas, responsables de las llamadas tormentas de sal, que se registraron con mayor frecuencia durante los años 2006 a 2012, principalmente durante los meses más ventosos (julio y agosto). A su vez durante los “periodos medios” con niveles de agua entre 69 y 67 m s.n.m. queda expuesta la línea de islas al norte de la Laguna. Por último para los “periodos secos” con niveles muy bajos (menores a 67 m s.n.m.) esta línea de islas queda fuera del contorno lagunar.

DEFINICIÓN DE LA CURVA VOLUMEN COMO FUNCIÓN DEL NIVEL DE AGUA

Para definir la función matemática que vincula las variables de nivel en función de los volúmenes se utilizaron 17 pares de valores de niveles medidos y volúmenes derivados del modelo digital de elevaciones generado. La relación que vincula estas variables corresponde a una función polinómica de cuarto orden, presentada en la ~~Figura 4~~Figura-4. Esta función cubre el rango de niveles analizados entre elevaciones de 62 a 71,9 m s.n.m. con una correlación (R^2) de 0,9969.

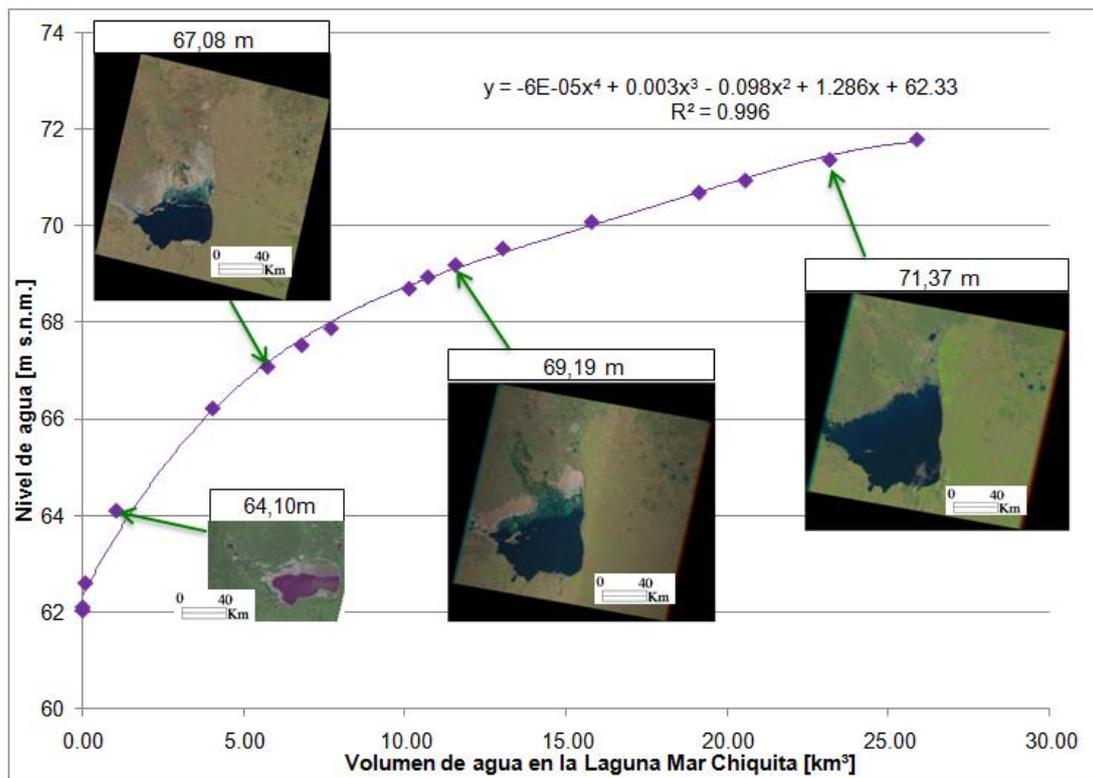


Figura 4. Curva Volúmenes-Niveles de agua para la Laguna Mar Chiquita.

CONCLUSIONES

En este trabajo se actualizó la serie de niveles de agua diarios de la Laguna Mar Chiquita cubriendo el periodo 2001-2013 y mensuales cubriendo el periodo 1967-2013. Las últimas mediciones indican un nivel diario de la Laguna de 67,68 m s.n.m. el día 28 de febrero de 2014. Esta condición se asemeja a la observada en el mes de octubre de 1977.

Se procesaron digitalmente 25 imágenes satelitales de la Laguna Mar Chiquita, con el objetivo de cuantificar el área cubierta por agua. Durante el periodo en análisis el área máxima medida de la Laguna resultó de 6553 km² correspondiente al mes de mayo del año 2003 y la mínima área medida fue de 2322 km² durante octubre de 2013. Se estimó que la máxima variación areal de la Laguna fue del 65%.

Con la vinculación de estas variables se generó un nuevo modelo digital topobatemétrico de la Laguna, basado en medición de los contornos de agua medidos sobre imágenes satelitales de la serie LANDSAT, cubriendo niveles de agua entre elevaciones de 62 a 71,9 m s.n.m. A partir de este modelo digital de elevaciones se definió la relación Volúmenes - Niveles, asociada a una expresión polinómica de cuarto orden.

Se considera que se logró realizar un importante aporte para plantear un balance hídrico de la Laguna, abordando temas relacionados con la variación espacial de la misma durante el periodo 2001-2013.

Agradecimientos:

Los autores agradecen por los datos de nivel de agua a los Guardaparques del Destacamento de la Reserva de la Laguna Mar Chiquita dependiente de la Secretaría Córdoba Ambiente, a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Córdoba y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba.

REFERENCIAS

- Bucher, E.** (2006). Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina.
- Cereceda Botella, A.** (2009). Propuesta de volúmenes ambientales para el sistema Laguna Mar Chiquita. Trabajo final de grado. Universidad Nacional de Córdoba.
- CIRSA** (1979). Estudio batimétrico de la Laguna Mar Chiquita. Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, INCYTH CONICET, Va. Carlos Paz.
- Hillman, G.** (1999) Análisis y simulación hidrológica del sistema Laguna de Mar Chiquita. Trabajo Final de Grado en la Carrera de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 345 pp.
- Hillman, G.** (2003). Análisis y simulación hidrológica del sistema Laguna de Mar Chiquita. Trabajo Final de Maestría en Ciencias de la Ingeniería. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 160 pp.
- LH-UNC** (2011). Estudio de la Cota Máxima de Inundación en la Zona Sur Sur-Oeste de la Laguna Mar Chiquita.
- Pagot, M.** (2003) Análisis y simulación hidrológica del sistema Bañados del Río Dulce. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 192 pp.
- Pozzi, C., Plencovich, G., Hillman, G., Pagot, M., Rodríguez, A., Caamaño Nelli, G., Michelutti, P., Salio, P.** (2005). “Monitoreo Hidroambiental de la Laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. Aplicación al Diseño de las Defensas Costeras de Miramar”. XX Congreso Nacional de Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur.
- Plencovich, G.** (2010). “Simulación hidrológica de los humedales de Mar Chiquita con apoyo satelital”. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería . F.C.E.F. y N., Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, Argentina.