

XXIV° Congreso Nacional del Agua 2013

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

DEFINICIÓN DE LA COTA MÁXIMA DE INUNDACIÓN PARA LA LAGUNA MAR CHIQUITA, PROVINCIA DE CÓRDOBA.

**Mariana Pagot¹, Gerardo Hillman¹, Cecilia Pozzi¹, Paolo Gyssels¹,
Antoine Patalano¹, Andrés Rodríguez¹.**

¹ Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,

² Universidad Nacional de Córdoba.

Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina. mpagot@efn.uncor.edu

RESUMEN

La Cota Máxima de Inundación de la Laguna Mar Chiquita (ubicada al Noreste de la provincia de Córdoba, Argentina) se definió en base al efecto combinado del máximo nivel histórico registrado y del máximo nivel de tormenta estimado para una recurrencia de 100 años.

Para definir el valor del máximo nivel histórico registrado en la Laguna Mar Chiquita, se trabajó con un registro actualizado de las importantes variaciones de nivel de este cuerpo de agua. Estas variaciones se producen por consecuencia directa de los ciclos hidrológicos naturales, amplificadas por el manejo y gestión del recurso en la cuenca alta del Río Dulce (principal tributario a la Laguna). Las mismas han sido documentadas en forma diaria y continua durante la última década a través de mediciones directas realizadas sobre escalas limnimétricas ubicadas estratégicamente dentro de la Laguna (mediciones cedidas por la Reserva Provincial de Miramar y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba). El análisis de estos datos permitió identificar fluctuaciones de más de 4 m desde el máximo valor histórico registrado en el año 2003.

En este trabajo se utilizó la implementación de herramientas de teledetección, conjugadas con la adecuación y aprovechamiento de las citadas mediciones de nivel de agua, para la elaboración de una cartografía efectiva de la topobatemetría de la Laguna Mar Chiquita. A tal efecto se utilizaron datos de elevación del terreno tomando como base los relevamientos de la misión SRTM y mapas temáticos derivados de imágenes LANDSAT (con resolución espacial de 30 m) basados en el proceso de extracción digital de los contornos de agua.

El máximo nivel de tormenta se definió por la acción conjunta del viento (*wind set up*) y de su oleaje asociado (*wave set up*).

Palabras Claves: Cota Máxima de Inundación, teledetección, niveles, viento, oleaje.

INTRODUCCIÓN

La Laguna Mar Chiquita (Figura 1) ha manifestado importantes variaciones de nivel del agua, consecuencia directa de los ciclos hidrológicos naturales, amplificados por el manejo y gestión del recurso en la cuenca alta del Río Dulce (principal tributario a la Laguna). Estas variaciones del nivel han sido documentadas en forma diaria y continua durante la última década a través de mediciones directas realizadas sobre escalas limnimétricas ubicadas estratégicamente dentro de la Laguna (mediciones cedidas por la Reserva Provincial de Miramar y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba). El análisis de estos datos permitió identificar fluctuaciones de más de 4 m desde el máximo valor histórico registrado en el año 2003. Esta reducción representa un 40% aproximadamente de descenso desde su valor máximo medido.

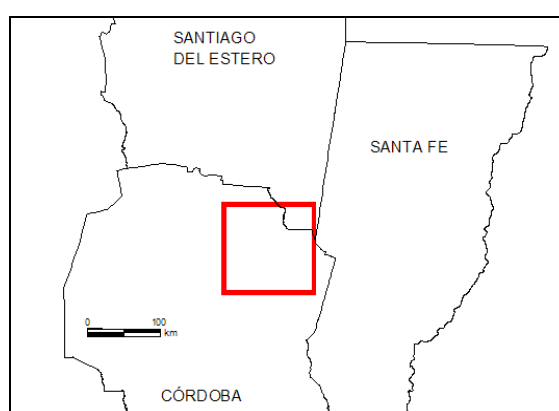


Figura 1. Delimitación del área en estudio de la Laguna Mar Chiquita.

Al ser un sistema endorreico, la respuesta hidrológica del mismo está sujeta a los efectos climáticos de varios ciclos hidrológicos, vale decir, el sistema conserva una memoria y el nivel de agua resulta de la combinación de la respuesta de la cuenca en períodos anteriores y el manejo de la misma. Este trabajo se basó en la implementación de herramientas de teledetección conjugadas con la adecuación y aprovechamiento de mediciones de nivel de agua disponibles para la elaboración de una cartografía efectiva de la topobatemetría de la Laguna Mar Chiquita. A tal efecto se utilizaron datos de elevación del terreno tomando como fuentes los relevamientos de la misión SRTM y mapas temáticos derivados de imágenes LANDSAT (con resolución espacial de 30 m) basados en el proceso de extracción digital de los contornos de agua.

El análisis de los niveles medios de agua observados, conjuntamente con la caracterización y definición de la acción del viento (*wind set up*) y su oleaje asociado (*wave set up*), permitió combinar estos efectos y definir la variable de interés (Cota Máxima de Inundación) para toda la costa de la Laguna Mar Chiquita.

RECONSTRUCCIÓN TOPOBATIMÉTRICA DE LA LAGUNA

Con apoyo satelital y cubriendo un periodo de 10 años (durante 2001 a 2011), se identificaron las zonas que han quedado descubiertas por el agua durante estos últimos años. Se utilizó el procesamiento de extracción digital de contornos de agua, asociando las áreas afectadas a mediciones directas del nivel, realizadas sobre alguna de las cinco escalas limnimétricas ubicadas estratégicamente dentro de la Laguna.

En este trabajo, el uso de la teledetección ha resultado realmente útil para la identificación de los grandes contornos de agua, en zonas de llanuras, que presenta gran extensión y marcada variabilidad de nivel.

El procedimiento se basa en el uso conjunto de las imágenes LANDSAT, con el modelo digital de elevaciones SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (de NASA en el año 2004) y mediciones de campo ajustando puntos fijos topográficos. Se utilizó con el programa ENVI 4.3 (ESRI, 2004).

En primer lugar, se extrajeron los contornos de agua de las imágenes LANDSAT seleccionadas para el trabajo. Luego, se asociaron estos contornos del agua identificados, con los niveles medidos en correspondencia con el día de adquisición de cada imagen analizada. Se generan nuevas curvas batimétricas con datos de elevación o cota asociada.

Posteriormente, por interpolación con los datos de elevación del terreno extraídos del SRTM y aplicando métodos convencionales geoestadísticos (Ponderación de la Distancia Inversa y Kriging) se combinan con los contornos de nivel extraídos de las imágenes satelitales, generando una nueva malla regular de profundidades de la Laguna Mar Chiquita.

Este conjunto de datos, se organiza en una nueva base topobatimétrica digital con coordenadas X-Y-Z; con Z correspondiente a la profundidad asociada al nivel medio del mar. Los datos X-Y corresponden a coordenadas referidas al sistema oficial de la Argentina, Gauss Kruger Posgar94 y Datum: WGS84. Se complementó con la información batimétrica del Centro de la Región Semi árida (CIRSA) del año 1979, presentado en Hillman (1999), para los contornos con niveles más bajos.

A partir de esta base de datos se generó el modelo digital topobatimétrico definitivo para la zona de la Laguna Mar Chiquita, presentado en la Figura 2.

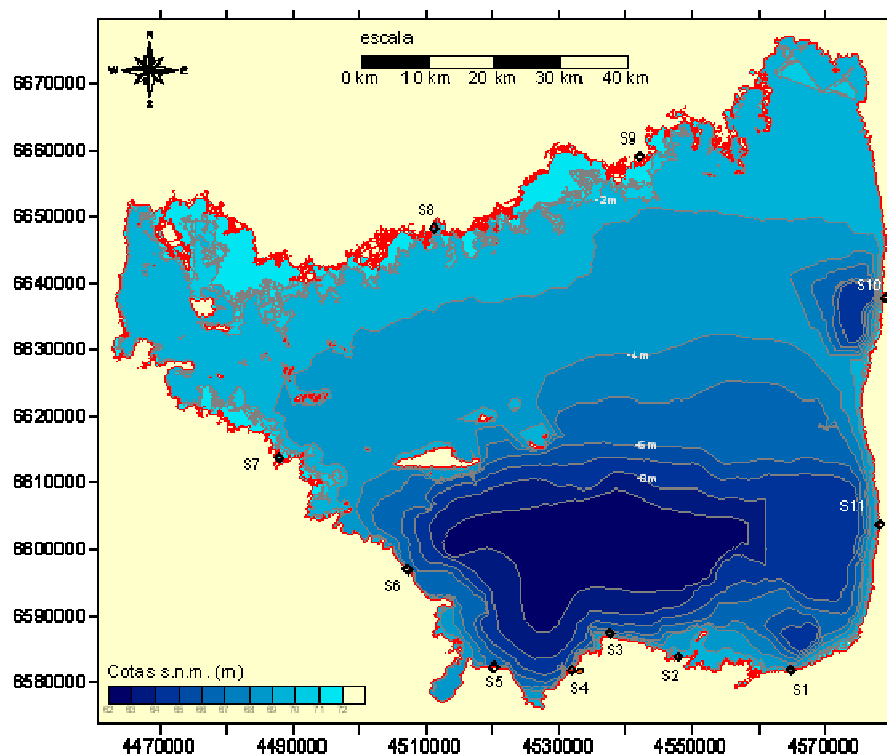


Figura 2. Modelo digital topobatimétrico de la Laguna Mar Chiquita generado.

ANÁLISIS DE LAS SERIES DE NIVELES MEDIDOS

Los datos de niveles procesados fueron medidos sobre la costa sur de la Laguna Mar Chiquita, frente a la localidad costera de Miramar. La serie disponible de niveles diarios cubre un periodo de 10 años, desde el año 2001 hasta 2011. En este trabajo se actualizaron las series de datos de niveles, tomando como base aquellas presentadas en Hillman (2003), Pozzi (2006) y Cereceda (2009).

Estos datos varían entre 68,34 m s.n.m. y 72,14 m s.n.m., habiéndose registrado el máximo valor en el año 2003. A partir de este año 2003 se manifiesta un descenso continuo en los valores de nivel.

La serie de niveles medios mensuales cubre un periodo de 44 años, entre 1967 y 2011 (Figura 3). En el intervalo 1967-2001, los valores de datos mensuales fueron cedidos por la actual Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (antes D.I.P.A.S.). Desde septiembre de 2001 hasta agosto de 2011, se actualizó la serie de niveles con datos tomados por los Guardaparques de la Reserva de la Laguna Mar Chiquita (de Secretaría Córdoba Ambiente) en Miramar, a partir de mediciones directas sobre las escalas limnimétricas colocadas dentro de la Laguna.

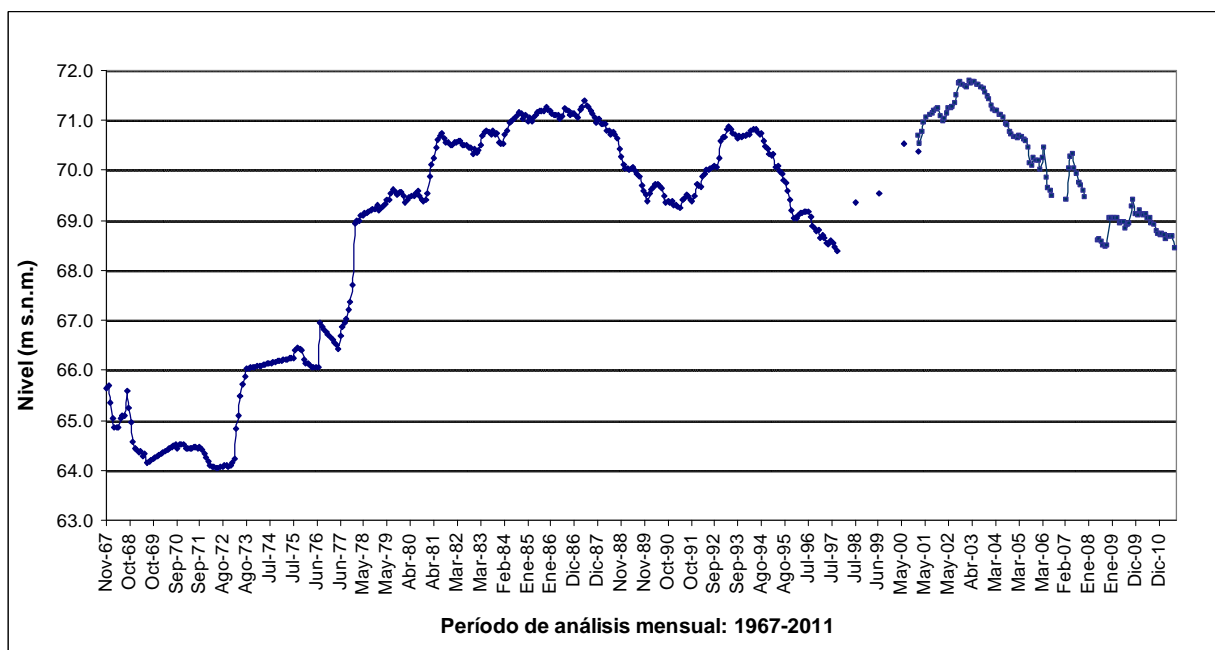


Figura 3: Niveles medios mensuales (m s.n.m.) medidos en la costa Sur de la Laguna Mar Chiquita. 1967-2011.

El conjunto de datos medios mensuales varía entre cotas 64,05 m y 71,76 m s.n.m. Se destaca que entre febrero y octubre del año 1973, la Laguna incrementó 2 m su nivel, pasando de cota 64,23 m a 66,05 m s.n.m. Este ascenso de nivel continúa en forma ininterrumpida, en el año 1981 el nivel alcanza los 70,24 m s.n.m. Durante junio de 1987, la Laguna alcanzó 71,40 m s.n.m. es decir que en 20 años de registró se observó un incremento de nivel de 7,5 m aproximadamente.

ANÁLISIS DE NIVELES ASOCIADOS A IMÁGENES SATELITALES

Se destaca a partir de los datos disponibles, que la Laguna Mar Chiquita presenta periodos con niveles de agua altamente variables durante los años analizados (1967-2011).

Algunos datos se presentan en la Figura 4. Esta secuencia de ocho imágenes satelitales muestra el cambio espacial que se produce en el cuerpo lagunar debido a estas variaciones de niveles.

Las ocho imágenes satelitales, son productos LANDSAT, y fueron adquiridas en los años 1972, 1976, 1980, 1981, 1987, 1997, 2003 y 2011. Durante estos años el nivel de la Laguna osciló aproximadamente 7,5 m entre los valores extremos. La superficie cubierta por agua pasó de 1085 km² en el año 1972 a 6686 km² en el año 2003, contando en agosto de 2011 con 3003 km².


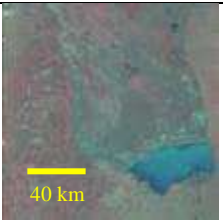
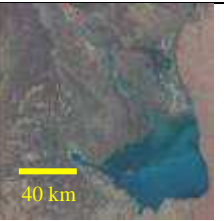
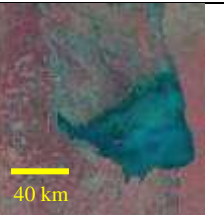


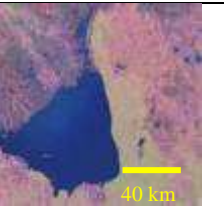
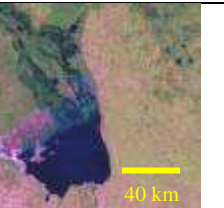
			
Sep-72; 64,22 m	Nov-76; 66,77 m	Jul-80; 69,53 m	Ago-81; 70,73 m
			
Jun-87; 71,40 m	Oct-97; 68,40 m	Jun-03; 71,76 m	Mayo-11; 68,68 m

Figura 4. Secuencia de imágenes satelitales asociadas a niveles medios mensuales s.n.m. en el periodo: 1967-2011.

En la imagen LANDSAT del 01 de septiembre de 1972 se observa una Laguna con nivel igual a 64,22 m (referido al nivel del mar). En esta imagen se puede observar espacialmente el cuerpo de agua con su condición hídrica más baja registrada satelitalmente. Durante junio de 2003, el nivel de la Laguna alcanza su máximo valor histórico de 71,96 m s.n.m. en el mes de Marzo, condición hídrica más alta registrada satelitalmente.

DEFINICIÓN DE LA COTA MÁXIMA DE INUNDACION

La Cota Máxima de Inundación (CMI) se definió, en este trabajo, como la suma del Máximo Nivel Histórico Registrado (MNHR) y del Máximo Nivel de Tormenta (MNT).

Máximo nivel histórico registrado en la Laguna Mar Chiquita

El nivel máximo histórico se analizó sobre la serie de niveles diarios, previamente identificado el periodo de máximos valores del año 2003, sobre la serie de niveles mensuales.

Durante este año se midieron tres valores máximos aislados igual a 72,15 m s.n.m., durante los meses de marzo, abril y mayo, superando entre 15 y 35 cm a sus valores diarios próximos anteriores y posteriores. Una explicación a tal fenómeno hace referencia a que los desplazamientos horizontales en cuerpos de agua de gran escala, se producen como respuesta al viento, y se manifiestan con notables cambios en el nivel del agua. Para la Laguna Mar Chiquita, Von Grumbkow (1980) estimó que el rango de variación de nivel podía oscilar entre +0,24 y -0,36 m de altura.

En estudios más recientes, como en Pozzi (2006), se realizó la modelación bidimensional de este cuerpo de agua y para escenarios con viento Norte de 7 km/h, se obtuvo como resultado una sobre-elevación del nivel de agua en la costa Sur del orden de 2 cm, mientras que para vientos de 18 km/h la sobre-elevación resultante fue de 18 cm.

Ante la posibilidad de que estas sobreelevaciones registradas sean producto del efecto del viento, se construyó la rosa de vientos del mes de mayo de 2003, para realizar tal verificación. Los valores utilizados fueron registrados por la estación meteorológica instalada en la Reserva de la Laguna Mar Chiquita en Miramar.

El resultado obtenido permite caracterizar que el 10% de los vientos proviene del sector Nor-noreste con una intensidad menor a 20 km/h, y que otro 10% del total proviene del sector Sur-sureste con intensidades que alcanzan 26 km/h. Se destaca que durante dos días de mayo se registraron datos cada 15 minutos con velocidad de viento promedio de 20 km/h.

Finalmente, se concluye y asume que el valor extremo registrado de nivel (72,15 m s.n.m.) resultó de la influencia del efecto del viento predominante en los días previos a la observación.

Esta situación, permite asumir como máximo valor registrado para la definición de la Cota de Máxima Inundación, un valor igual a **71,9 m s.n.m.** correspondiente al promedio de los niveles medidos durante el primer semestre del año 2003. La adopción de este valor se justifica, debido a que la metodología asumida consiste en aplicar a un nivel de base, el efecto del viento asociado a recurrencias de 25, 50 y 100 años. De esta forma no se estará duplicando este efecto en el análisis desarrollado en el presente trabajo.

Máximo nivel de tormenta

El cálculo del Máximo Nivel de Tormenta se ha realizado en base a formulaciones empíricas aplicadas en determinados puntos significativos sobre el contorno de la Laguna, denominados “Puntos Seleccionados (S)”. Los resultados alcanzados dependen tanto de parámetros físicos, geomorfológicos e hidrodinámicos, como de la intensidad, duración y dirección del viento, la batimetría local, la geometría de la costa, la altura y el período de ola.

En la Figura 2 se muestran los puntos seleccionados para el cálculo de la Cota Máxima de Inundación (CMI), tomando como línea de costa, la cota establecida por el Máximo Nivel Histórico Registrado (MNHR = 71,9 m s.n.m.).

Como se mencionó, el Máximo Nivel de Tormenta (MNT) es el resultado de la suma de la sobre-elevación por arrastre del viento en la superficie, “*Wind Set-Up*”, y el “*Run-Up*” debido al oleaje irregular incidente en la costa, ambos calculados para el período de retorno Tr:

$$\text{MNT (Tr)} = \text{WSU (Tr)} + \text{RU (Tr)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Wind Set-Up se ha calculado utilizando las ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento y de continuidad promediadas en la columna de agua (Kamphuis, 2000) con una aproximación unidimensional. El valor aproximado de *Wind Set-Up* depende de la intensidad del viento y de la batimetría local. Para estimar este parámetro se ha considerado la intensidad del viento para 100 años de recurrencia.

La batimetría local en correspondencia de cada punto seleccionado ha sido determinada trazando secciones perpendiculares a la costa en correspondencia de dichos puntos.

La ecuación unidimensional (1D) utilizada en este trabajo es la siguiente (Kamphuis, 2000):

$$\frac{dS}{dx} = \frac{\zeta(U \cos \phi)}{gD} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde (Figura 5):

- S: sobre-elevación o “Wind Set-Up” dado por el viento [m];
- x: distancia sobre la cual la sobre-elevación es calculada [m];
- ζ : Constante = $3.2 \cdot 10^{-6}$;
- U: velocidad del viento [m/s];
- ϕ : Ángulo entre la dirección del viento y la dirección x;
- d: profundidad antes de la sobre-elevación [m];
- D: es la nueva profundidad (d+S) calculada en cada discretización Δx [m].

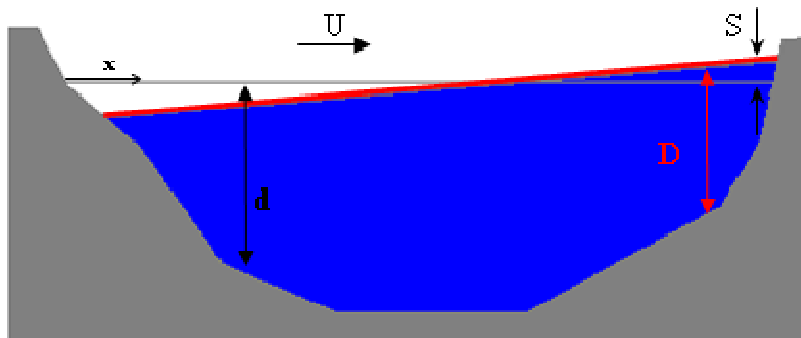


Figura 5. Esquema del wind set-up en un lago por efecto de un viento constante U.

La ecuación utilizada asume condiciones estacionarias ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$) considerando que el viento mantiene la misma dirección. Con estas hipótesis se calculó la máxima sobre-elevación posible, que representa un valor conservativo en un estudio de factibilidad.

En un cuerpo de agua cerrado, como en el caso de Laguna Mar Chiquita, cuando el esfuerzo del viento genera sobre-elevación en un lado de la Laguna se produce una reducción de los niveles en el lado opuesto (Figura 5).

Run-Up es el ascenso máximo vertical local que se produce sobre el talud de playa debido a los efectos del oleaje irregular durante el proceso de rotura. En este trabajo se ha optado por utilizar formulaciones empíricas que tienen en cuenta la altura de ola en aguas profundas, la longitud de onda del oleaje incidente y la pendiente de la playa. Por lo tanto, previo al cálculo de *Run-Up*, fue necesario estimar las características del oleaje en aguas profundas.

El oleaje se genera y propaga en aguas profundas cuando la altura de ola es mucho menor que la profundidad. Esta condición no se verifica en la Laguna Mar Chiquita debido a los oleajes utilizados en el cálculo, por lo tanto en las formulaciones de *Run-Up* se ha optado por utilizar el oleaje generado por viento según las formulaciones que tienen en cuenta la profundidad media de la Laguna en correspondencia de cada punto seleccionado.

En este trabajo se utilizaron las formulaciones para oleaje irregular presentadas en el software ACES (1992) y en el software TIC (2003).

Generación oleaje por viento

El proceso de generación del oleaje es complejo y es debido principalmente a la acción del esfuerzo cortante del viento sobre la superficie de agua y a la variación de presiones que se generan al formarse las primeras ondulaciones. Más en general, la altura de ola y su período están muy relacionadas a la velocidad del viento (Kamphuis, 2000). De esta forma es posible estimar las condiciones de oleaje y realizar una reconstrucción del clima marítimo basándose en registros de viento. Esta reconstrucción se denomina “*wave hindcasting*”.

En este trabajo, no disponiendo de datos de oleaje en la Laguna Mar Chiquita, se emplearon modelos denominados “paramétricos” para determinar Altura y Período del oleaje en base al viento.

Estos métodos dependen de los parámetros principales siguientes:

- Fetch: distancia sobre la cual el viento sopla sobre el agua para generar el oleaje;
- Duración de la tormenta: duración del evento climatológico que genera el oleaje;
- Profundidad: profundidad del agua en la zona de generación del oleaje;
- Intensidad del viento: velocidad del viento generado por la tormenta;
- Dirección del viento: dirección del viento con respecto al fetch en examen y a la ubicación del punto seleccionado.

El fetch del viento está limitado por los contornos de tierra a barlovento del punto seleccionado, por la extensión de los sistemas atmosféricos y por la dirección del viento. La energía del oleaje depende de la velocidad del viento dado por la tormenta en examen y no puede crecer indefinidamente por un viento dado aunque el fetch y la duración de la tormenta sean infinitos. Para un viento de intensidad dada, la energía del oleaje crece hasta que sea compensada por las pérdidas de energía por fricción y rotura.

El fetch y la duración de la tormenta son entonces los factores limitantes para que pueda desarrollarse el oleaje de máxima energía por una intensidad de viento dada (en este caso se trata de un oleaje totalmente desarrollado). Por lo tanto, se dice que el oleaje es limitado por el fetch si el viento en examen tiene una duración suficientemente larga para poder generar un oleaje más grande, y se trata de oleaje limitado por el tiempo si el máximo crecimiento del oleaje es dado por la duración de la tormenta y el fetch sería suficientemente grande para poder generar un oleaje más grande con el viento dado.

Las formulaciones propuestas en este trabajo son las más utilizadas en la práctica ingenieril (SPM, 1984; ACES, 1992). Las hipótesis a tener en cuenta en el uso de estas formulaciones son:

- la energía procedentes de otros trenes de ondas existentes en la zona de generación no son consideradas;

- las formulaciones son válidas para fetch relativamente reducidos ($F < 120$ km aproximadamente);
- los vientos son considerados de intensidad y dirección aproximadamente constantes;
- los valores del viento a introducir son a la elevación de 10 m;
- el valor del coeficiente de fricción es constante ($CD = 0.001$)

Las formulaciones de crecimiento disponibles en ACES (1992) se dividen en cuatro categorías: formulaciones para “aguas profundas” y “aguas poco profundas” o “profundidades reducidas”, para fetches no limitados y para geometrías de fetches más complejos, de geometría limitada (“fetches restringidos”).

En este trabajo se han comparados dos metodologías que se consideraron las más adecuadas para el caso en estudio. Entre los valores de altura de ola obtenidos se han considerado los valores más elevados para estar del lado de la seguridad.

En las formulaciones elegidas, ambas válidas para profundidades reducidas, se considera que la tormenta dura el tiempo necesario para generar el máximo oleaje posible por un fetch dado.

Como test de verificación, se han realizado simulaciones de generación de los oleajes con 100 años de período de retorno, con el modelo SWAN (*Delft University of Technology*). En ausencia de datos de oleaje, el modelo no pudo ser calibrado y se utilizaron las formulaciones y parámetros más pertinentes existentes en la bibliografía. Como condiciones de contorno, fueron impuestos, sobre toda la superficie de la Laguna, los vientos (correspondientes a cada dirección considerada) constantes y uniformes. El mallado numérico tiene dimensiones de 500 m tanto en la dirección X como en la dirección Y. La escala espacial del mallado numérico fue seleccionada únicamente con el objetivo de efectuar un test de verificación de los resultados de las formulaciones empíricas.

En la Figura 6 se presentan los resultados de los test con vientos de 100 años de período de retorno, simulando la dirección de procedencia Norte. Las flechas indican el sentido de propagación del oleaje generado.

Se deduce una buena concordancia entre los resultados del modelo SWAN y los resultados obtenidos por las formulaciones empíricas.

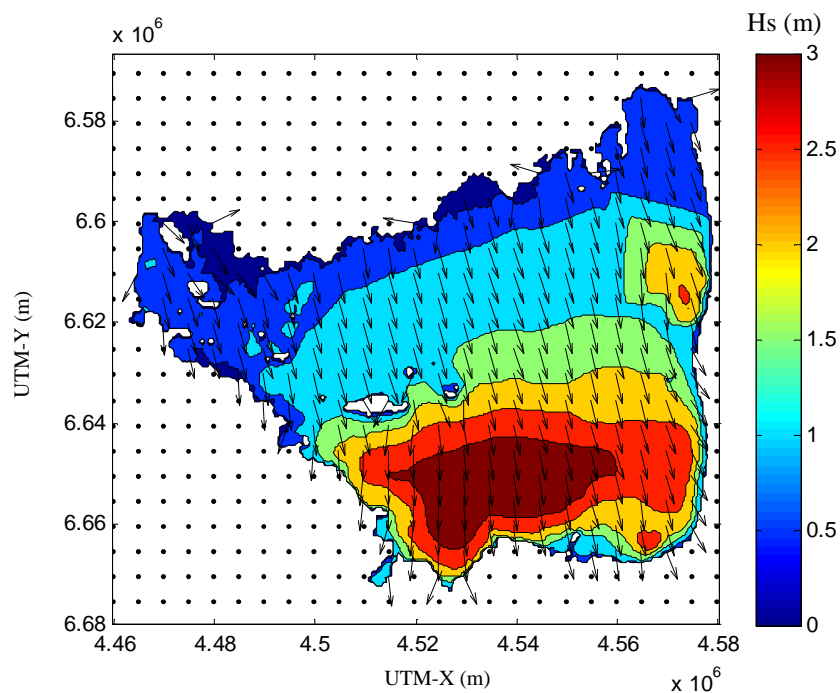


Figura 6. Resultados de generación del oleaje con el modelo SWAN por un viento Norte para 100 años de recurrencia.

CONCLUSIONES

El Máximo Nivel Histórico Registrado (MNHR) fue determinado a partir de los datos disponibles de registros medidos sobre la costa Sur de la Laguna Mar Chiquita. Este valor resultó igual a 71,9 m s.n.m.

Se ha evaluado el Máximo Nivel por Tormenta, en función del efecto del viento para un período de retorno (T_r) de 100 años actuante sobre la superficie de la Laguna y generando el levantamiento por arrastre de la masa de agua y oleaje. Estos efectos son la oscilación propia del oleaje, una oscilación del nivel medio debida a la rotura y una oscilación debida a una onda de largo periodo que se libera en el proceso de rotura por ser el oleaje de tipo irregular.

La modelación numérica de estos efectos, se realizaron sobre una malla confeccionada con datos topobatemétricos resultantes de la combinación de herramientas de teledetección y mediciones directas del nivel de agua. Para la elaboración de una cartografía, se utilizaron datos de elevación del terreno tomando como base los relevamientos de la misión SRTM y mapas temáticos derivados de imágenes LANDSAT basados en el proceso de extracción digital de los contornos de agua.

En la Laguna Mar Chiquita, las direcciones predominantes de vientos proceden de los sectores Norte (N), Noreste (NE) y Sur (S), con un valor promedio entre 10-20 km/h. Las mayores intensidades registradas provienen de las mismas direcciones, con valores mayores a 40 km/h. En este trabajo, se efectuó el análisis del régimen extremal para determinar las magnitudes de los vientos asociados al período de retorno asumido, obteniendo un valor máximo de 116 km/h.

Se graficó la secuencia de cotas de inundación determinadas para una recurrencia de 100 años, sobre la imagen satelital que se presenta en la Figura 7. Detalle de estos valores calculados y los correspondientes a recurrencias de 25 y 50 años se presentan en el Informe Técnico Final realizado

por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (LH, 2011).

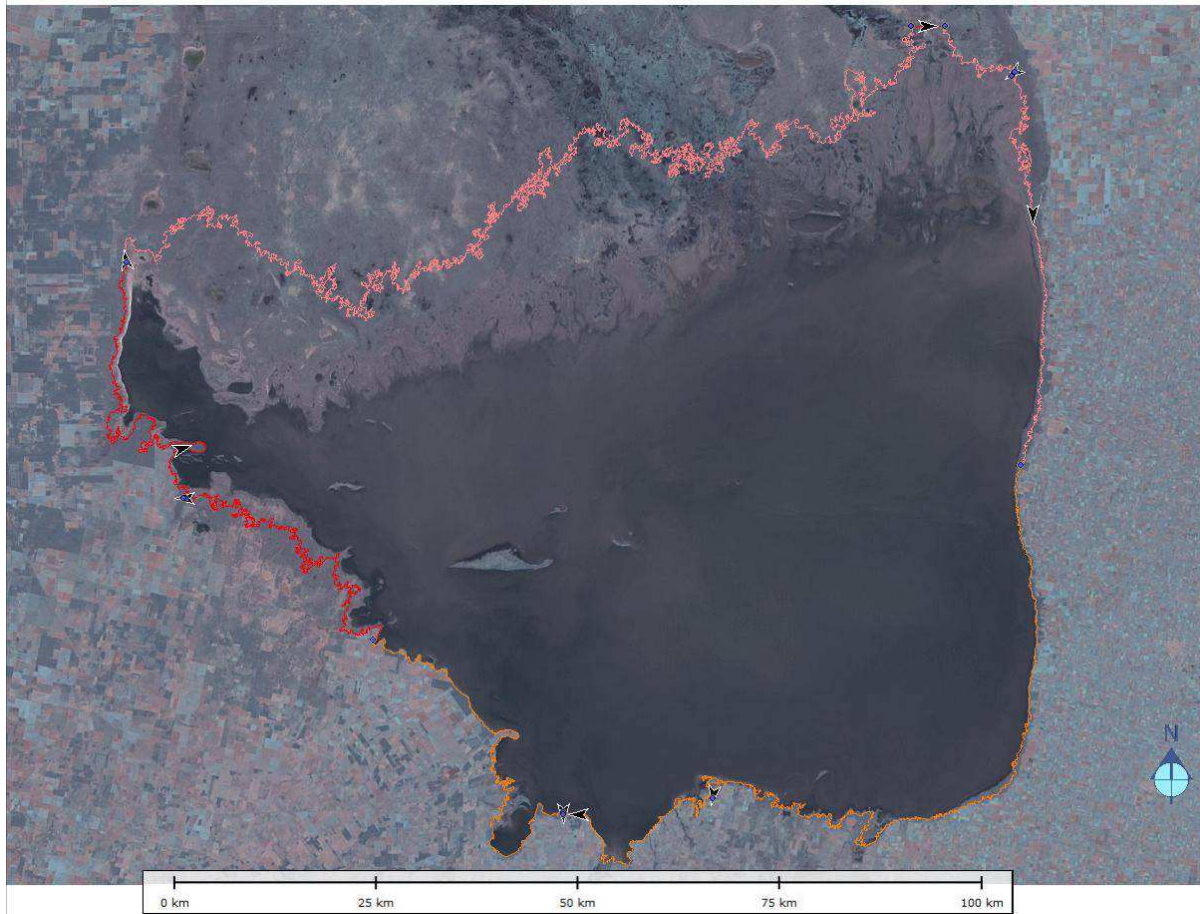


Figura 7. Ejemplo de cota máxima de inundación en la Laguna de Mar Chiquita por un período de retorno de 100 años.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló en el marco del estudio realizado por el Laboratorio de Hidráulica de la FCEFyN de la UNC, financiado por el Ministerio de Ciencia y tecnología de la provincia de Córdoba. Se utilizaron datos de nivel cedidos por el Sr. Pablo Michelutti, Guardaparque de la Reserva de la Laguna Mar Chiquita (de Secretaría Córdoba Ambiente) y de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba.

BIBLIOGRAFIA

- ACES, (1992).** “Automated Coastal Engineering System”, Version 1.07. US Army Corps of Engineers.
- Agencia Córdoba Ambiente S.E. (2004).** “Suelos de la Provincia de Córdoba”. Ed. Gobierno de la Provincia de Córdoba. Argentina. 300 pp.
- Bucher, E. (ed.), (2006).** “Bañados del río Dulce y Laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina”. Pp. 342. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Cereceda Botella, A. (2009).** “Propuesta de volúmenes ambientales para el sistema Laguna Mar Chiquita”. Trabajo final de grado. Universidad Nacional de Córdoba.
- Custodio E. y Llamas M. (1996).** “Hidrología subterránea”. Tomo I. Ediciones Omega, Barcelona, España.

- DNV, (2007).** Recommended practice Dnv-rp-c205 - Environmental conditions and environmental loads. Det Norske Veritas.
- Donelan, M.A., (1980).** “Similarity theory applied to the forecasting of wave heights, periods and directions”. Proc. Canadian Coastal Conf., Abril. 22, Burlington, Ontario: 47-61.
- ESRI, (2004).** “Manual de Usuario del Programa ENVI 4.3”. Environmental System Research. Institute. Redlands. California, Estados Unidos. Pp. 750.
- Hillman, G., (1999).** “Simulación Hidrológica del Sistema de Mar Chiquita”. Trabajo final de Grado. Pp. 490. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina.
- Hillman, G., (2003).** “Análisis y Simulación Hidrológica del Sistema de Mar Chiquita”. Tesis de Maestría. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina.
- Holman, R.A., (1986).** “Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach”. Coastal Engineering, Vol. 9, Pp. 527-544.
- Kamphuis, J. W., (2000).** “Introduction to coastal engineering and management”. World Scientific. Pp. 437.
- Laboratorio de Hidráulica, 2011.** “Definición de la cota máxima de Inundación para la Laguna Mar Chiquita, Córdoba, Argentina”. Informe Final para el Ministerio de Ciencia y tecnología de la provincia de Córdoba. 132 pp.
- Mase, H. (1989).** “Random Wave Runup Height on Gentle Slope”. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 115, No. 5, pp 649-661.
- Mase, H. e Iwagaki, Y. (1984).** “Runup of Random Waves on Gentle Slopes”. Proceedings of the 19th International Conference on Coastal Engineering, Houston, TX, American Society Civil Engineers, pp. 593-609.
- Pagot, M., (1999).** “Análisis y Simulación Hidrológica del Sistema Bañados del Río Dulce”. Trabajo Final de Grado. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina. 453 pp.
- Pagot, M., (2003).** “Análisis y Simulación Hidrológica del Sistema Bañados del Río Dulce”. Tesis de Maestría. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina. 240 pp.
- Plencovich G. (2011).** “Simulación hidrológica de los humedales de Mar Chiquita con apoyo satelital”. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Córdoba, Argentina.
- Pozzi, C. (2006).** “Simulación hidrodinámica y monitoreo del sistema Mar Chiquita (Mar de Anzenusa), Córdoba, Argentina”. Tesis de Maestría. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina.
- Rodríguez, A., Hillman, G., Pagot, M. y Caamaño Nelli, G. (2002).** “Análisis y simulación de riesgos ecológicos en un sistema hidrológico endorreico”. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, Puerto Rico. Vol. 2 (1), 15 pp.
- ROM 02.90, (1990).** “Recomendaciones de Obras Marítimas”. Acciones para Proyectos de Obra Portuaria o Marítima. Dirección general de Puerto y Costas. Ministerios de Obras Públicas y Urbanismos, España. Abril.
- Smith, J.M., (1991).** “Wind-wave generation on restricted fetches”. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Misc. Paper CERC-91-2, 25pp.
- SPM, (1984).** “Shore Protection Manual”. Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia.
- SWAN (2000).** “Simulating Wave Nearshore model”. Delft university of Technology, the Netherlands.
- TIC (2003).** “Sistema de Modelado Costero”. Software Tutor de Ingeniería de Costas. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (España).
- Troin, M.; Vallet-Coulomb, C.; Sylvestre, F. y Piovano, E. (2010).** “Hydrological modelling of a closed lake (Laguna Mar Chiquita, Argentina)”. Journal of Hydrology 393. Pp. 233–244.
- Universidad Nacional de Córdoba, (1998).** “Valoración del Impacto Ambiental en la Región de Mar Chiquita y la Cuenca afectada por el Canal Federal”. Informe Final al CFI, Cba. Argentina.
- Universidad Nacional de Córdoba – Instituto Superior de Rec. Hídricos – Laboratorio de Hidráulica / Universidad Nacional de Santiago del Estero (2007).** “Estudio Hidroambiental del sistema Bañados del río Dulce, Laguna Mar Chiquita y tramo inferior del Río Dulce”. Informe Final para la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.
- Von Grumbkow, J.B., (1890).** “Exploración de Mar Chiquita”. Boletín del Instituto Geográfico Argentino. Pp: 113-115.