

MODELACIÓN NUMÉRICA DE DESCARGAS FLUVIALES EN LA LAGUNA DE MAR CHIQUITA

Corral M., Rodríguez A., Pagot M., Hillman G., Pozzi C. y Oroná C.

*Laboratorio de Hidráulica - Universidad Nacional de Córdoba, Argentina Dirección: Av. Hipólito
Irigoyen 162, CP: 5000. Córdoba, Argentina. mcorral@com.uncor.edu*

Palabras clave: Hidrodinámica, Laguna del Plata, Mar Chiquita, COHERENS.

Resumen. El caso de estudio es la laguna de Mar Chiquita, el mayor sistema endorreico salado de América del Sur. Los principales agentes hidrodinámicos actuantes en el sistema son los factores meteorológicos como el viento y los eventos fluviales, a través del régimen de crecidas de los ríos Primero y Segundo en la Provincia de Córdoba y Dulce de Santiago del Estero. En la zona Sur-Oeste de la Mar Chiquita se encuentra la Laguna del Plata conectada mediante un canal a la laguna en períodos secos, mientras que en períodos húmedos se transforma en una bahía. En 1970 esta laguna no tenía conexión hidrológica con la Mar Chiquita, por lo que existían significativas diferencias en términos de salinidad, sin embargo a posterior se igualaron sus concentraciones y en consecuencia se han medido valores de salinidad mayores a 30 gr/l (agua salada). En este trabajo se han realizado simulaciones hidrodinámicas con el modelo 3D COHERENS, para caracterizar la influencia de las descargas fluviales en estos sistemas lagunares. En un primer caso de estudio se ha representado la laguna del Plata (7 Km. en dirección SO-NE y 3 Km. en dirección NO-SE, con una profundidad media de 4 m) y se presentan modelaciones numéricas y mediciones de campo asociadas a un escenario de una eventual descarga por una crecida de agua dulce proveniente del Río Primero, para caracterizar la dilución que provoca este tributario en la laguna y los procesos de flotabilidad y mezcla que se pueden presentar. Como segundo caso se ha representado la laguna Mar Chiquita completa (120 Km. en dirección E-O y 100 Km. en dirección N-S, con una profundidad media de 8 m) y se presentan los resultados de la descarga de los bañados del Río Dulce con elevada concentración de sedimentos, en la zona Norte de la laguna. Los resultados numéricos han sido comparados con los observados en imágenes satelitales del sector.

1 INTRODUCCIÓN

La laguna de Mar Chiquita o Mar de Ansenusa (Figura 1), es el sistema endorreico más importante de la República Argentina con una extensión de aproximadamente 6000 km². El sistema hidrológico constituido por la Laguna de Mar Chiquita y los Bañados del Río Dulce constituyen el más complejo y mayor sistema cerrado de lago salado de América del Sur, declarado “humedal de importancia internacional” por la convención RAMSAR debido a su gran biodiversidad ecológica (Hillman, 2003). Sin embargo a pesar de su importancia, su grado de estudio o nivel de conocimiento es muy inferior al compararlo a la Laguna de los Patos (Reati *et al.*, 1997).

La profundidad de la Laguna de Mar Chiquita (alrededor de 8 m) tiene marcadas variaciones, dependiendo fundamentalmente del caudal del río Dulce y de los demás tributarios en menor proporción (Ríos Suquía y Xanaes), como así también de los procesos de precipitación y evaporación en el espejo de agua (Hillman, 2003; Pagot, 2003).

Los principales agentes hidrodinámicos actuantes en el sistema son los fenómenos fluviales, a través del régimen de crecidas y los factores meteorológicos como el viento. Debido a la geometría de la laguna (120 km en dirección E-O y 100 km en dirección N-S, con una profundidad media de 8 m) la acción del viento puede llegar a ser dominante en la circulación y el intercambio de masas de agua.

Los vientos predominantes son del Norte (16,4%) seguidos por la dirección Sudeste (16,0%), con intensidades observadas de hasta 70 km/h que generan una sobreelevación o “setup” cercana a 1 m (UNC-LH, 2003). El viento tiene una influencia notable en las variaciones de nivel de la laguna, haciendo descender la cota en las costas de Miramar para vientos del N, NE o NO, siendo frecuentes oscilaciones (wind setup o marea meteorológica) de medio metro, de acuerdo a los trabajos más recientes (UNC-LH, 2003).

El contenido de sales de la laguna sufre grandes variaciones espaciales y temporales, asociadas a las condiciones meteorológicas que se dan a lo largo del área de aporte. En particular ocurren procesos de estratificación salina en la desembocadura de los tributarios de agua dulce, que hacen que la hidrodinámica se torne más compleja por la mezcla de masas de agua de diferente densidad.

Es importante destacar que en la zona Sur-Oeste de la Mar Chiquita se encuentra la Laguna del Plata conectada mediante un canal a la laguna en períodos secos, mientras que en períodos húmedos se transforma en una bahía. En 1970 la Laguna del Plata y Mar Chiquita, no tenían conexión hidrológica, y existían significativas diferencias en términos de salinidad. En períodos posteriores mientras la salinidad del agua en Mar Chiquita se incrementó, el Río Suquía, tuvo un efecto diluyente en la relativamente pequeña Laguna del Plata (UNC, 1998).

El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados numéricos obtenidos con el modelo tridimensional COHERENS (Luyten *et al.*, 1999) de dos escenarios típicos. El primer escenario ha sido un eventual ingreso de una crecida de agua dulce proveniente del Río Suquía, para observar la dilución que provoca este tributario en la laguna.

Como segundo escenario se ha representado la laguna Mar Chiquita completa (120 km en dirección E-O y 100 km en dirección N-S, con una profundidad media de 8 m) y se presentan

los resultados de la descarga de los bañados del Río Dulce con elevada concentración de sedimentos, en la zona Norte de la laguna



Figura 1: Laguna Mar Chiquita (derecha) y tributarios principales (izquierda)

2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada ha combinado simulación numérica con el modelo tridimensional COHERENS con selección y análisis de imágenes satelitales consideradas claves para visualizar patrones de circulación.

2.1 Modelo COHERENS

Para la simulación numérica se ha empleado el modelo numérico tridimensional COHERENS (Luyten *et al.*, 1999), desarrollado para costas y plataformas marinas. El mismo se compone de un módulo hidrodinámico, que se puede acoplar al módulo biológico y de contaminación para resolver procesos estacionales y de mesoescala. El código fuente ha sido desarrollado en el período 1990-1998 por un grupo multinacional como parte del proyecto MAST de la Unión Europea (Marine Science and Technology Programme).

Durante las últimas décadas una serie de modelos tridimensionales para costas y plataformas han sido desarrollados por diversas instituciones de investigación (Nihoul y Jamart, 1987; Dyke y Davies, 1992 y Lynch y Davies, 1995). Entre las principales ventajas del modelo COHERENS se destaca que utiliza la técnica “mode-splitting” para resolver la ecuación de momentum 2-D y 3-D como en el Princeton Ocean Model (POM). Además se dispone de diversos esquemas para la turbulencia que varían desde simples expresiones algebraicas de una o dos ecuaciones de energía turbulenta (Mellor, 1998) hasta modelos k-ε.

Las ecuaciones básicas del modelo son:

Continuidad

$$\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x_3} = 0$$

Momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x_1} + v \frac{\partial u}{\partial x_2} + w \frac{\partial u}{\partial x_3} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu_T \frac{\partial u}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \tau_{11} + \frac{\partial}{\partial x_2} \tau_{21}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x_1} + v \frac{\partial v}{\partial x_2} + w \frac{\partial v}{\partial x_3} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu_T \frac{\partial v}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \tau_{12} + \frac{\partial}{\partial x_2} \tau_{22}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho_0 g$$

u, v, w: componentes de corrientes en coordenadas cartesianas

ρ: densidad del fluido

p: presión

f: frecuencia de Coriolis ($2\Omega \text{ seno } \phi$)

Ω: frecuencia de rotación de la tierra ($2\pi/86164$ rad/s)

ν_T: viscosidad de remolino vertical

g: aceleración de la gravedad

φ: latitud local

τ_{ii}: componentes horizontales de las tensiones de corte

Ecuación de estado

$$\rho = \rho_0(1 + aS + bT)$$

a, b: parámetros de la ecuación de estado

ρ_0 : densidad de referencia

S: salinidad

T: temperatura

Ecuación de transporte (salinidad (S), temperatura (T))

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x_1} + v \frac{\partial C}{\partial x_2} + w \frac{\partial C}{\partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_T \frac{\partial C}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_H \frac{\partial C}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_H \frac{\partial C}{\partial x_2} \right)$$

λ_T, λ_H : coeficiente de difusión vertical y horizontal

El modelo COHERENS utiliza en el espacio el método de diferencias finitas conservativas. La grilla elegida para la discretización horizontal es conocida como “Arakawa C” y en la versión disponible no se puede variar el tamaño de los elementos para el detalle en sectores particulares, ya que utiliza una malla rectangular de paso constante.

El modelo COHERENS por ejemplo ha sido aplicado para el estudio de la intrusión de la cuña salina en el Río de La Plata (Destuynder, 2002).

2.2 Imágenes Satelitales

Con respecto a las imágenes satelitales, a través del convenio entre la C.O.N.A.E. (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) y la U.N.C. se obtuvieron 30 imágenes LandSat 7 y 5 de los años 2000, 2001, 2002 y 2003.

Los datos meteorológicos, particularmente los de vientos, que han sido suministrados por la estación Davis ubicada en Miramar se comenzaron a registrar en el año 2001, pero previamente se registraron con frecuencia diaria con anemómetro manual.

Mediante el empleo de software de procesamiento de imágenes se combinaron los colores primarios (rojo, verde y azul) con las diferentes bandas del satélite logrando una mejor observación de los patrones de circulación en la laguna.

3 ESCENARIOS MODELADOS

3.1 Laguna del Plata

En la modelación específica de la Laguna del Plata, de dimensiones 5 km en dirección

NW-SE y 9 km en dirección SW-NE) se ha utilizado una grilla rectangular de 91 x 91 celdas con una resolución horizontal de 100 m x 100 m y vertical de 10 capas. La grilla representa la laguna del Plata, la desembocadura del Río Suquía y la interconexión con la laguna de Mar Chiquita. En la Figura 2 se presenta una imagen satelital que muestra en color amarillo el dominio seleccionado para este análisis y en la Figura 3 la batimetría que se ha utilizado en la modelación con COHERENS.

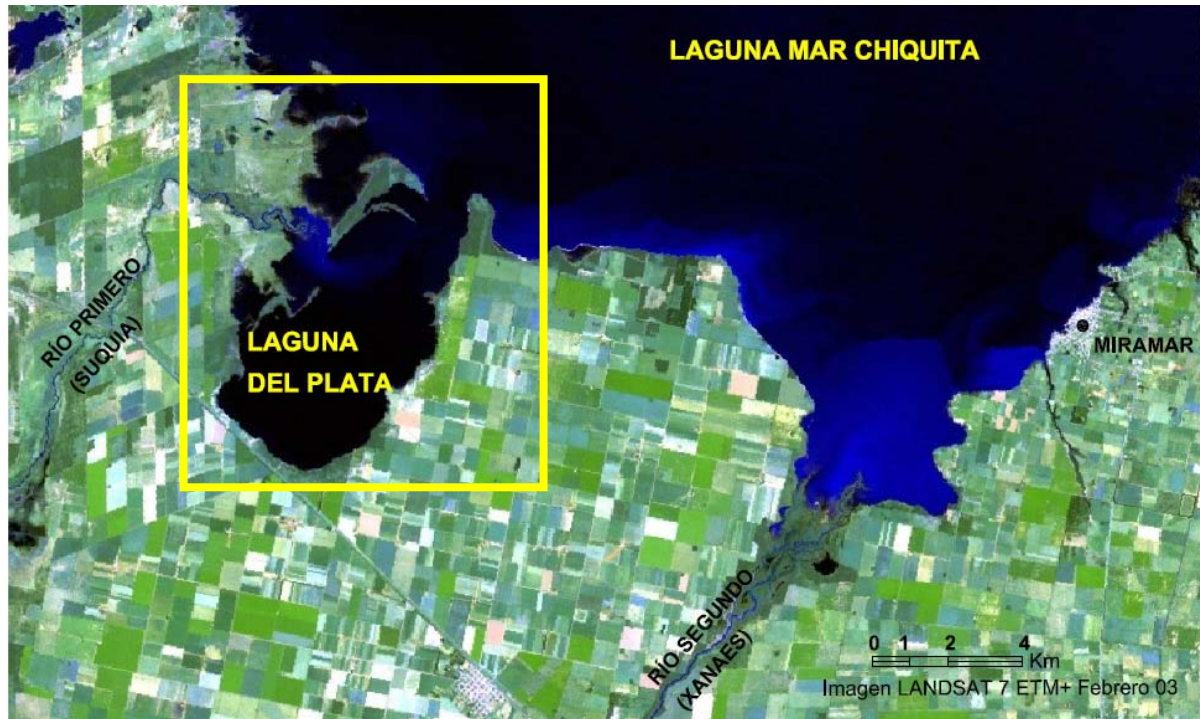


Figura 2: Laguna del Plata y su conexión con la Mar Chiquita

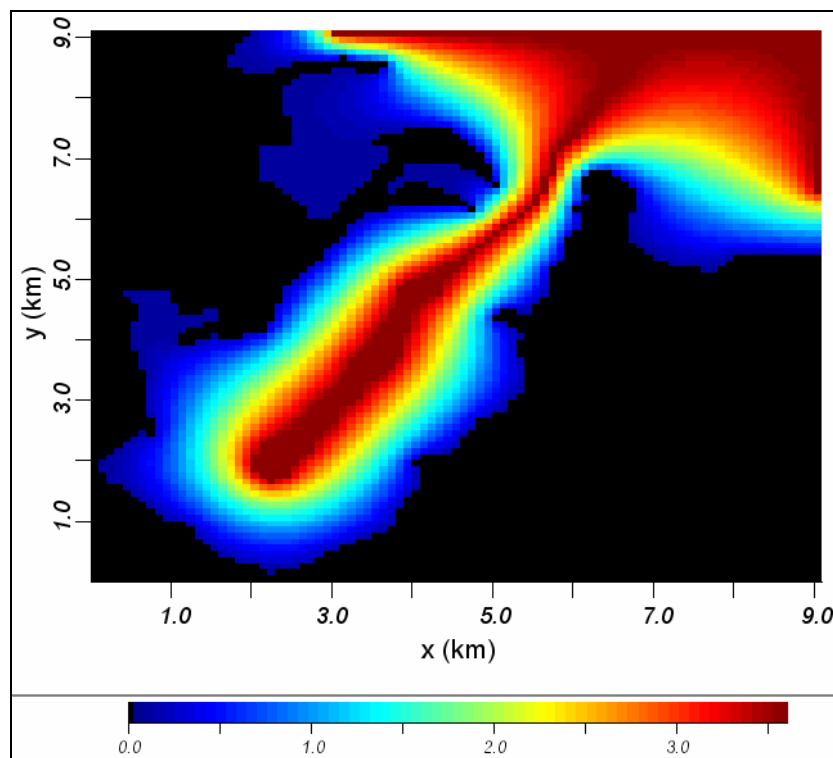


Figura 3: Batimetría de la Laguna del Plata utilizada con COHERENS

El paso de tiempo para el modo barotrópico (gradiente de presión) ha sido de 2,5 seg, mientras que para el baroclínico (gradiente de flotación) de 4,17 minutos, respetando la condición de Courant-Friedrichs-Levy. Para la turbulencia se ha adoptado un esquema de una ecuación, mientras que para la advección de momento se ha utilizado el esquema “upwind”.

Debido a las dimensiones de la laguna del Plata se ha incorporado para la modelación el efecto de Coriolis, ya que estimaciones preliminares del número de Rossby indican que debe tenerse en cuenta y el modelo COHERENS permite considerarlas.

El escenario consiste en un eventual ingreso de una crecida de agua dulce proveniente del Río Suquía (Figura 2), para observar la dilución que provoca este tributario en la laguna. Para esto se han realizado simulaciones hidrodinámicas del ingreso de la pluma de agua dulce a la laguna del Plata, la cual posee aguas salobres con concentraciones que superan la del mar.

En los puntos ubicados en el río se tomaron muestras para su posterior análisis en laboratorio y se realizó el aforo para determinar el aporte. Dentro de la Laguna del Plata y en la Mar Chiquita, se realizó la medición de parámetros in situ con una sonda multiparamétrica y se tomaron muestras para su análisis en laboratorio.

Las mediciones puntuales indicaron agua dulce para el Río Suquía (0,7 PSU), en la Laguna del Plata la salinidad es prácticamente uniforme (35 PSU) y con una concentración similar a la de la Mar Chiquita.

Para caracterizar la descarga del Río Suquía se han utilizado datos del relevamiento de la

sección transversal, tirantes y velocidades. Si bien durante la campaña en mayo se registraron caudales típicos del período de estiaje del río, para la modelación hidrodinámica se ha supuesto que la sección se encuentra a cauce lleno, lo que resulta en un aporte estimado de 100 /s (Figura 4).

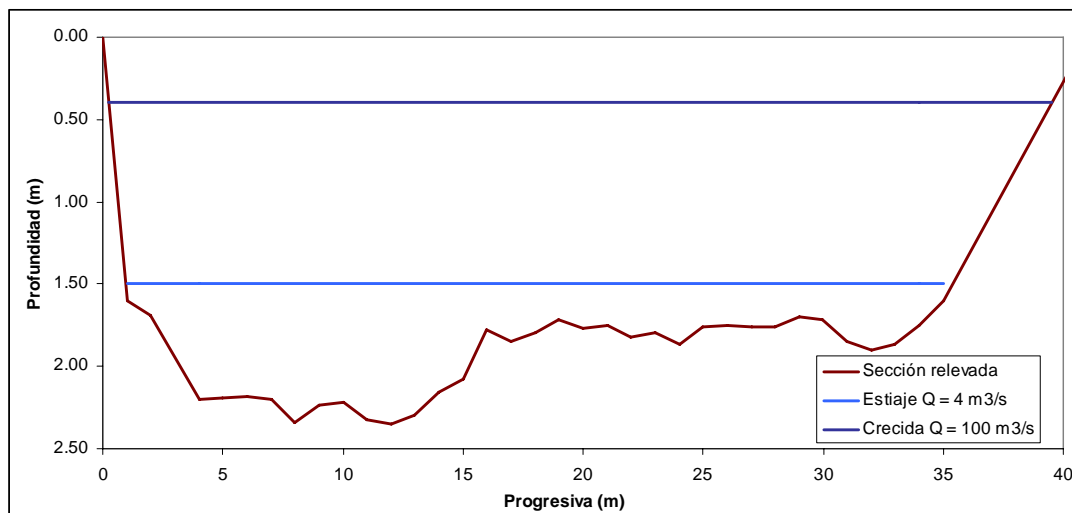


Figura 4: Sección transversal del Río Suquía para diferentes caudales

En resumen las condiciones de la simulación de la Laguna del Plata han sido:

Condiciones de Borde

- Tensiones de corte nulas en toda la superficie (velocidad del viento = 0)
- Tensiones de corte en el fondo por fricción (n de manning)
- (2D) Bordes abiertos (Norte y Este) en la conexión con Mar Chiquita con condición de nivel permanente en el tiempo, es decir que la descarga del Río Suquía no provoca cambios de niveles en el sector de la conexión de las lagunas
- (2D) Ingreso de Río Suquía puntual en una celda, con especificación del caudal unitario ($q = 1 \text{ m}^2/\text{s}$)
- (3D) Perfil logarítmico de la velocidad en el ingreso del Río Suquía
- Salinidad constante en los bordes abiertos (Norte y Este) en la conexión con Mar Chiquita
- Salinidad 0,7 PSU en Río Suquía

Condiciones Iniciales

- Velocidades x e y nulas en todo el dominio
- Salinidad 35 PSU en todo el dominio

Es importante comentar que la laguna de Mar Chiquita incluye a la laguna del Plata, por lo que en la simulación completa de la laguna no resulta necesario establecer condiciones de borde en la conexión entre ambas. Además debido a las dimensiones relativas entre éstas, la laguna del Plata se asemeja a una pequeña bahía y por su escala no produce modificaciones en la hidrodinámica completa de la laguna Mar Chiquita.

3.2 Laguna Mar Chiquita

Debido a las dimensiones de la laguna (120 km en dirección E-O y 100 km en dirección N-S) se ha utilizado una grilla rectangular con de 122 x 111 celdas con una resolución horizontal de 1 km x 1 km. En la dirección vertical se utilizaron 10 capas, cuyo espesor varía con el tiempo, ya que el tamaño del paso vertical se adapta a la profundidad local. En la siguiente figura se presenta la batimetría que se ha utilizado en la modelación con COHERENS.

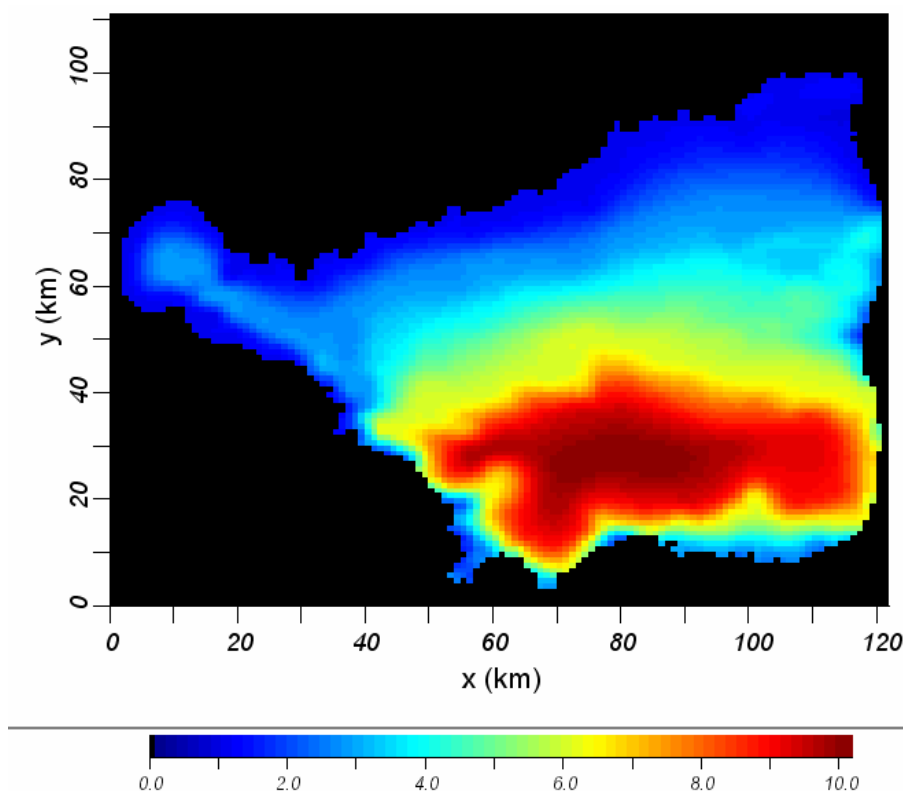


Figura 5: Batimetría de la Laguna de Mar Chiquita utilizada con COHERENS

El paso de tiempo para el modo barotrópico ha sido de 10 seg, mientras que para el baroclínico de 5 minutos, respetando la condición de Courant-Friedrichs-Levy. Para la turbulencia se ha adoptado un esquema de una ecuación, mientras que para la advección de momento se ha utilizado el esquema upwind.

Como condición inicial se ha tomado que la superficie del agua es horizontal en la laguna

y con cota 71,40 m con respecto a cota IGM, mientras que las velocidades iniciales en el sentido x e y se tomaron nulas.

Para considerar la acción del viento se han establecido velocidades de 5 y 10 m/s y con direcciones Norte, Nor-Este y Sur. Para obtener la permanencia del flujo se realizaron simulaciones preliminares de 24, 48 y 72 hs de duración. Estos resultados permitieron fijar en 24 hs (dirección S y NE) y 48 hs (dirección Norte) el tiempo necesario para establecer el régimen permanente debido a la acción del viento.

Se ha supuesto que la velocidad del viento es constante en toda la grilla y para el cálculo de las tensiones de corte por viento se ha utilizado la expresión de Smith y Banke, la cual se presenta a continuación.

$$C_D = 10^{-3} (0.63 + 0.066|U_{10}|)$$

C_D : coeficiente de arrastre superficial

U_{10} : velocidad del viento a una altura de referencia de 10 m

Se ha incorporado para la modelación el efecto de Coriolis, ya que las dimensiones de la laguna hacen que el número de Rossby sea menor a la unidad y por lo tanto se debe considerar.

En resumen las condiciones de la simulación de la Laguna Mar Chiquita han sido:

Condiciones de Borde

- Tensiones de corte en superficie por viento Norte (velocidad 52 Km/h)
- Tensiones de corte en el fondo por fricción (n de manning)
- (2D) Ingreso de Río Dulce en forma distribuida, en 27 celdas (27 Km) por ser zona de Bañados y con especificación del caudal unitario ($q = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$). Caudal total 270 m³/s.
- (3D) Perfil logarítmico de la velocidad en el ingreso del Río Dulce
- Salinidad 0 PSU en Río Dulce
- Concentración de Sedimentos de 200 g/L en Río Dulce (conservativo)
- No se han considerado los ingresos de los ríos Suquía y Xanaes.

Condiciones Iniciales

- Velocidades x e y nulas en todo el dominio
- Salinidad 35 PSU en todo el dominio
- Concentración de Sedimentos de 0 g/L en todo el dominio

Circulación para Imagen Satelital del 13 de abril de 2000

En la Figura 6 se inserta el comportamiento del viento en los días previos a la imagen. Es importante comentar que la serie denominada “9 HS” es la velocidad del viento y la serie denominada “dirección” es la dirección del viento. Como se observa en los 9 días previos a la imagen hay alternancia entre viento Norte y Sur, pero el día 12 y 13 de abril es predominante del Norte y la intensidad medida el día 13 es de 52 km/h (14,4 m/s).

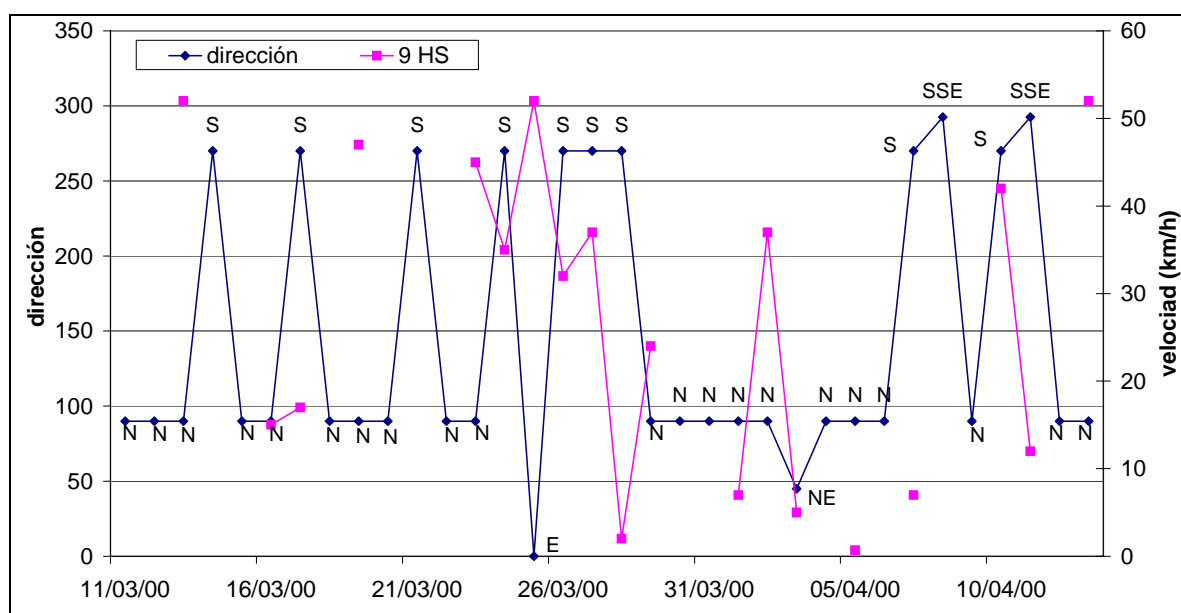


Figura 6: Intensidad y dirección del viento. Período 11-03-2000 a 13-04-2000

Analizando la zona de la isla del Mistolar (Figura 7) se puede observar una estela que indica que el sentido del flujo es hacia el Sureste, funcionando este sector como una contracción.

En el sector Norte o de ingreso distribuido de los Bañados del Río Dulce, la coloración del flujo entrante se desplaza hacia el Oeste en forma paralela a la costa, mientras que en la desembocadura del Río Xanaes se visualiza una pluma que se desplaza hacia el Norte. Observando la laguna en su totalidad se puede apreciar una celda de circulación en sentido anti-horario (Figura 7).

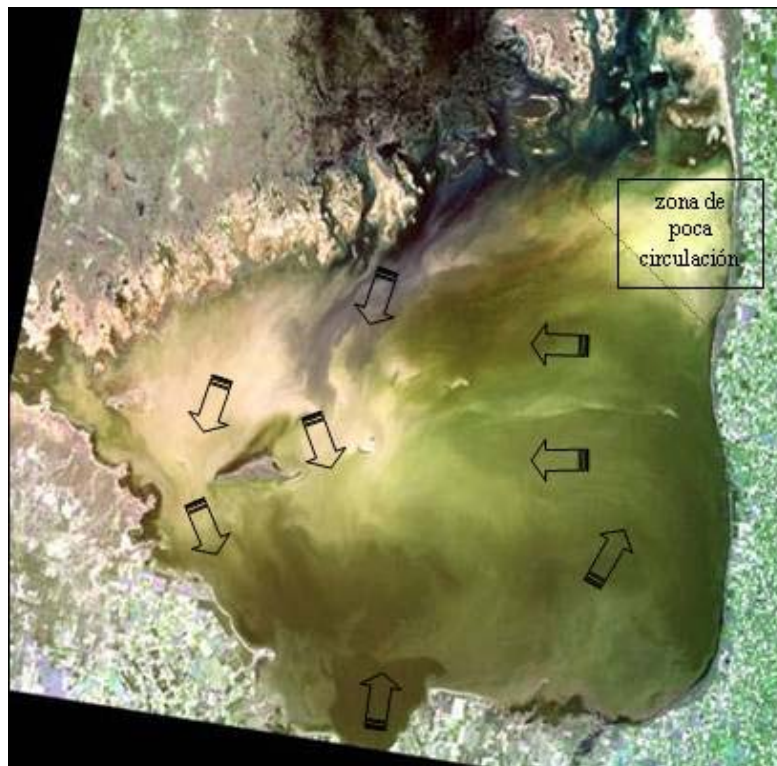


Figura 7: Circulación superficial de la laguna para el 13 de abril de 2000

4 RESULTADOS DE MODELACIÓN

4.1 Laguna del Plata

Se presentan en la Figura 8 la elevación de la superficie del agua en el entorno del ingreso del Río Suquía con el caudal estimado para crecida de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (condición típica de crecida). Tal como se observa la superficie del agua se eleva como máximo hasta $0,08 \text{ m}$ y la influencia de la descarga afecta una extensión radial menor a 1 km . Esto permite estimar que la descarga del Río Suquía no tiene influencias importantes en la hidrodinámica del sistema y por lo tanto se necesitan condiciones de crecidas importantes para que este tributario se comporte como un agente forzante de la circulación en el sistema.

Para estabilizar el modelo se han planteado los niveles en función del tiempo en el sector de la descarga y por inspección visual de los niveles se ha obtenido el tiempo de estabilización, el cual estuvo en el orden de 8 hs y fue finalmente utilizado como tiempo de simulación.

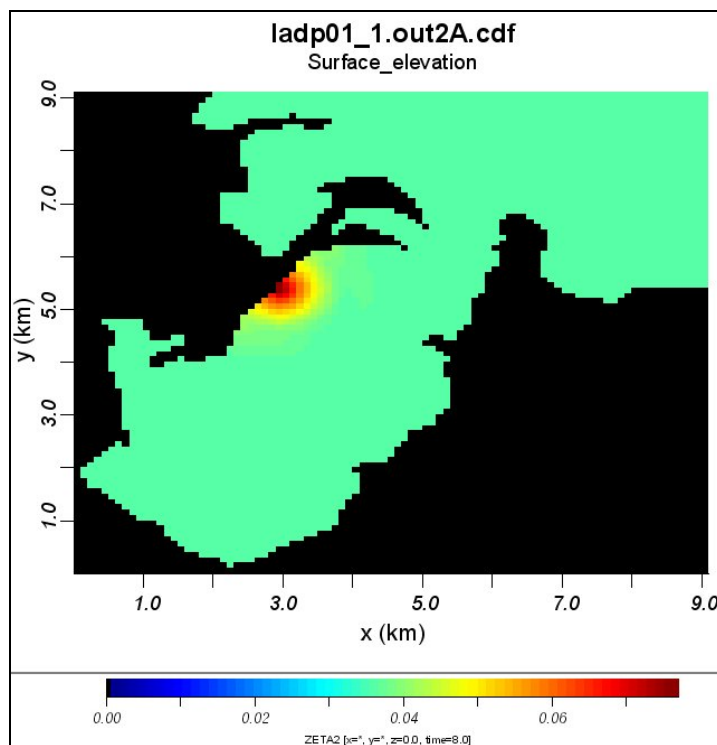


Figura 8: Diferencia de niveles respecto al valor inicial

En la Figura 9 se presenta el campo de salinidad obtenido en la simulación. Se puede observar que el gradiente de salinidad y por lo tanto de densidad es abrupto en una extensión radial menor a 1,5 km y que fuera de esta zona la salinidad es uniforme. A su vez el gradiente de salinidad se presenta en todas las capas verticales, por lo que se comporta como un frente uniforme en vertical que avanza hasta lograr la dilución total. Esto permite estimar que bajo condiciones de crecidas, sólo una porción pequeña de un radio aproximado de 500 m conserva la salinidad por debajo de 10 PSU mientras que para caudales menores como el de estiaje ($4 \text{ m}^3/\text{s}$) esta zona se reduce considerablemente y prácticamente la totalidad de la laguna se encuentra en condiciones salobres.

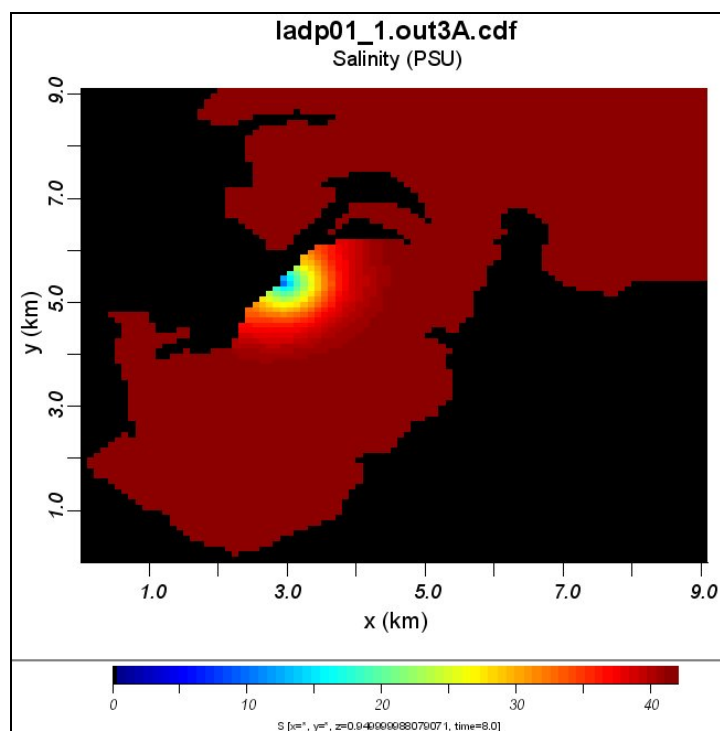


Figura 9: Simulación de salinidad en la laguna del Plata con $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

4.2 Mar Chiquita

El análisis de la circulación debida a viento Norte se ha realizado, debido a la disponibilidad de la imagen satelital del **13 de abril de 2000** y a registros de la velocidad y dirección del viento. A partir de estos datos se ha observado que durante los días 12 y 13 de abril del 2000, el viento registrado ha sido de dirección Norte y con una velocidad media de 52 km/h (14,4 m/s). Esta condición se ha mantenido prácticamente durante 48 hs, el tiempo mínimo necesario según la modelación, para establecer el régimen permanente del sistema.

Los resultados obtenidos con COHERENS se presentan en la Figura 10 y Figura 11.

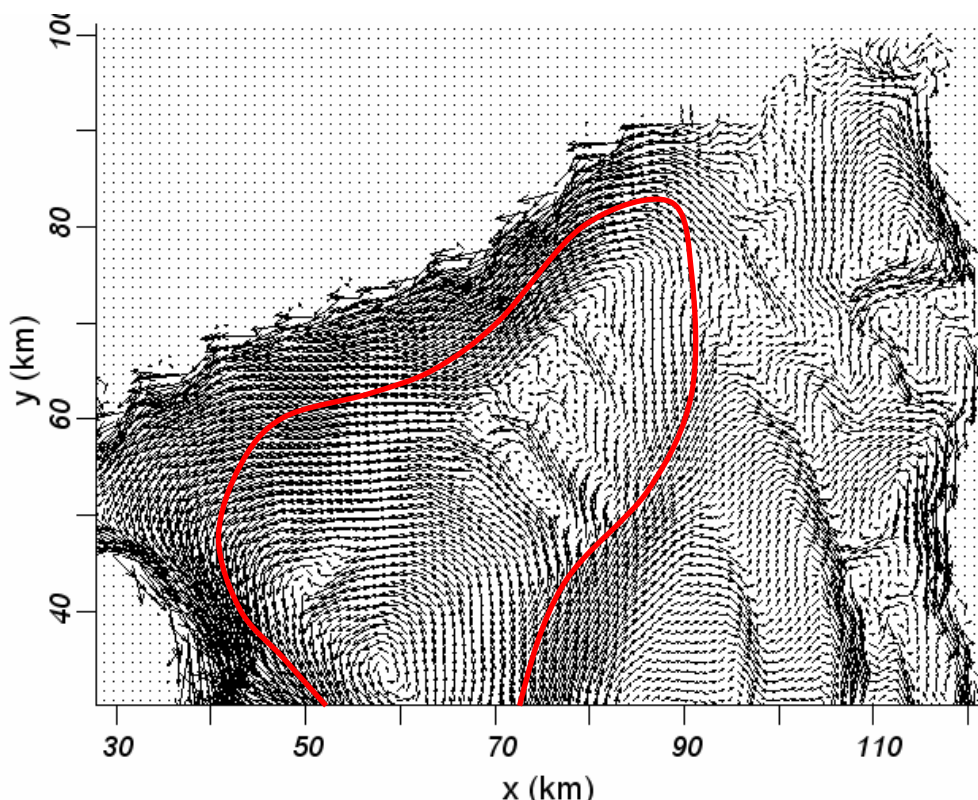


Figura 10: Velocidad promediada en la vertical en el sector de descarga del Río Dulce

Observando la laguna en su totalidad se puede apreciar en la simulación (Figura 10) una celda de circulación de gran escala en sentido antihorario (resaltada en color rojo), centrada en la isla del Mistolar (coordenadas $x = 60$ km, $y = 35$ km), la cual se puede observar también en la imagen satelital del 13 de abril del 2000.

En forma complementaria, de la observación de la Figura 11 surge en detalle que en el sector Norte o de ingreso distribuido de los sedimentos provenientes del Río Dulce, el flujo entrante se desplaza hacia el Oeste en forma paralela a la costa. Esta situación se ha visualizado también en la imagen satelital del 13 de abril del 2000 (Figura 7).

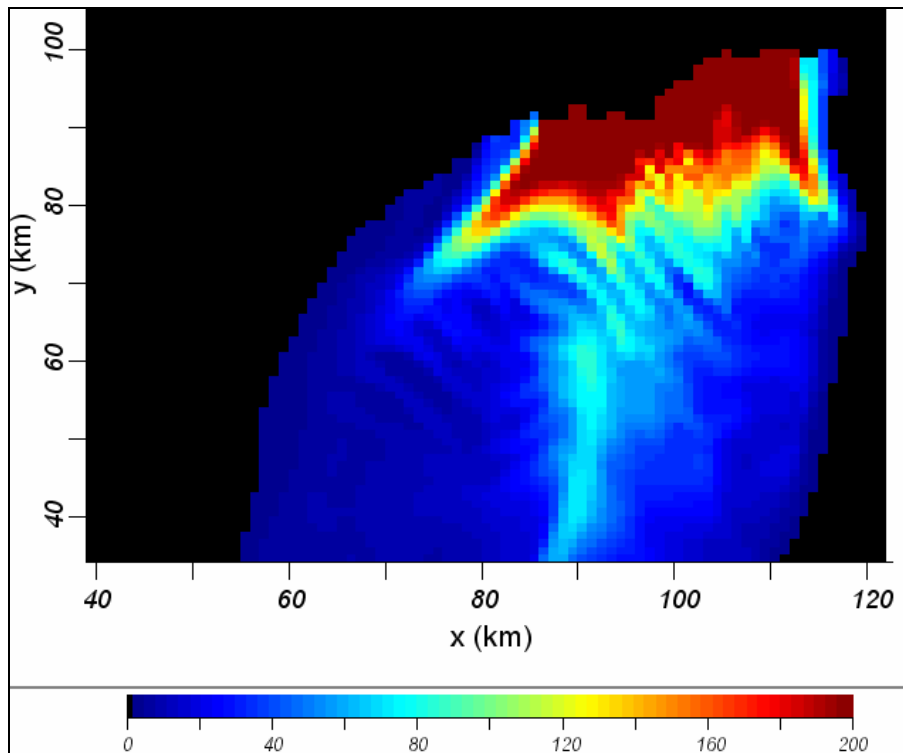


Figura 11: Dispersión de sedimentos en suspensión en el sector de descarga del Río Dulce

5 CONCLUSIONES

El modelo utilizado brindó resultados aceptables de acuerdo a la comparación cualitativa con el apoyo de las imágenes satelitales.

La descarga del Río Suquía no tiene influencias importantes en la hidrodinámica del sistema y por lo tanto se necesitan condiciones de crecidas del orden de los $100 \text{ m}^3/\text{s}$ para que este tributario se comporte como un agente forzante de la circulación en el sistema.

Para viento proveniente del Norte, en el sector Norte o de ingreso distribuido de los Bañados del Río Dulce la descarga del flujo entrante se desplaza hacia el Oeste en forma paralela a la costa. Además se produce una celda de giro de gran escala centrada en la isla del Mistolar que produce en la zona Norte vectores paralelos a la costa y hacia el Oeste. Estas observaciones de la circulación han sido determinadas numéricamente y con el apoyo de imágenes satelitales.

6 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado desde el Laboratorio de Hidráulica de la FCEFyN de la UNC en el marco de proyectos de investigación financiados por el CONICET, Agencia Córdoba Ciencia, Secretaría de Investigación y Postgrado de la UNC (Secyt) y el programa de la Comunidad Europea denominado ECOSUD (Estuaries and Coastal Areas, Basis and Tools for a more Sustainable Development) (ICA-CT-2001-10027).

7 REFERENCIAS

- Destuynder, V., *Modelación Hidrodinámica Tridimensional del Río de la Plata*, Tesis de ingeniería para la Universidad de Lyon (Francia). Director: Tarela, P.A. (2002)
- Dyke P.P.G. and Davies A.M. (Editors), *Mathematical models of the North Sea and surrounding continental shelf seas*. Proceedings of JONSMOD 90, Birkenhead, U.K., 2–5 April 1990. *Continental Shelf Research*, 12(1), 211 pp.(1992).
- Hillman, G., *Análisis y Simulación Hidrológica del Sistema de Mar Chiquita*. Tesis de Maestría. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina. (2003)
- Luyten P.J., Jones J.E., Proctor R., Tabor A., Tett P. and Wild-Allen K., *COHERENS – A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas: User Documentation*. MUMM Report, Management Unit of the Mathematical Models of the North Sea, 914 pp. (1999)
- Lynch D.R. and Davies A.M. (Editors), *Quantitative skill assessment for coastal ocean models*. *Coastal and Estuarine Studies*, Vol. 47, American Geophysical Union, Washington D.C., 510 pp. (1995).
- Mellor, G., *User Guide for a Three Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model*, Princeton University, 1-43. (1998)
- Nihoul J.C.J. and Jamart B.M. (Editors), *Three-dimensional models of marine and estuarine dynamics*. Elsevier Oceanography Series, Vol. 45, 624 pp. (1987).
- Pagot, M., *Análisis y Simulación Hidrológica del Sistema Bañados del Río Dulce*. Tesis de Maestría. F.C.E.F. y N., UNC. Córdoba, Argentina. (2003).
- Reati, G.J., Florin, M., Fernandez, G.J. Y Montes, C., *The Laguna de Mar Chiquita (Córdoba, Argentina): a little know, secularly fluctuating, saline lake*. *International Journal of Lake Research*, Vol. 5. (1997).
- Smith S.D. and Banke E.G., *Variation of the sea surface drag coefficient with windspeed*, *Quarterly Journal Meteorological Society*, 101, 665–673 (1975).
- Universidad Nacional de Córdoba, *Valoración del Impacto Ambiental en la Región de Mar Chiquita y la Cuenca afectada por el Canal Federal*, Informe Final al CFI, Cba. Argentina. (1998).
- Universidad Nacional de Córdoba, Laboratorio de Hidráulica, *Diseño de Defensas para la localidad de Miramar, Mar Chiquita, Córdoba*. Informe Final para DIPAS, Cba. Argentina. (2003).