

CARACTERIZACIÓN BÁSICA MAREOMOTRIZ DE LA LAGUNA DE TOBARI

Solis Tamayo Jorge Humberto¹, Uribe Chay Alvaro² y Aguilar Chávez Ariosto³

^{1,2} Posgrado en Ingeniería, Campus UNAM-IMTA, Universidad Nacional Autónoma de México.
Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550.

³ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550.
E-mail: jhst_14@hotmail.com, inguribechay@hotmail.com, ariosto.aguilar@posgrado.imta.edu.mx

Introducción

El funcionamiento hidrodinámico de la Laguna de Tóbari tiene una interacción directa de forzante de marea con el Golfo de California y además recibe una parte de los drenajes agrícolas del Distrito de Riego 041 Río Yaqui. Este sistema lagunar es una zona importante de producción pesquera y además tiene una conexión directa con una zona de explotación intensiva de granjas de camarón. La herramienta de soporte es un modelo hidrodinámico de simulación de flujo de aguas someras denominado ADCIRC (*ADvanced CIRCulation Model*), este sistema resuelve las ecuaciones de masa y cantidad de movimiento en dos dimensiones, con técnica discreta de elemento finito. El escenario hidrodinámico actual de la laguna Tóbari se estableció para un periodo lunar de 28 días y se verificó su funcionamiento con los datos medidos, indicando un tiempo de residencia muy alto (mayor a 51 meses), lo cual demuestra la baja comunicación mareal entre la laguna y el Golf, y por lo tanto los altos niveles de concentración salina (entre 38 a 41 UPS).

Ubicación de la zona de estudio

La laguna de Tóbari se ubica 26° 54' y 27° 10' de latitud norte y los 109° 50' y 110° 24' de longitud oeste, donde 8,274 corresponden a los cuerpos de agua, una profundidad media de 1.4 m y cuenta con una barra estable conocida como la isla de Huivulai, en este trabajo se analiza la laguna de Tóbari, ubicada en el estado de Sonora, donde interactúan las descargas de zonas cultivables con las mareas del golfo de California, y debido a su geomorfología tiene una bocanara frontal al mar, generando dos puntos de intercambio de corrientes, una al norte y otra a la sur figura 1.

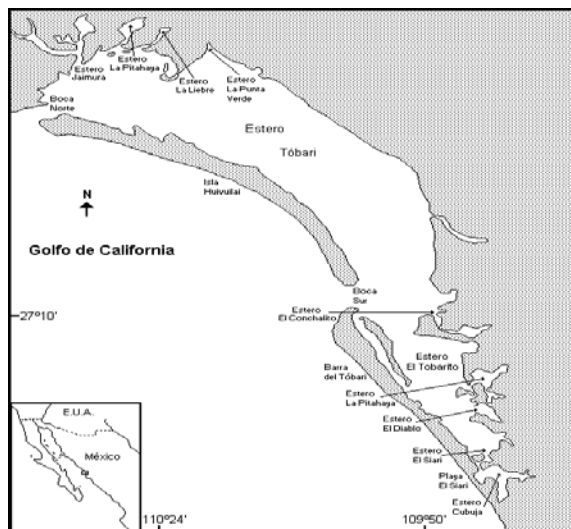


Figura 1.- Laguna de Tóbari, Sonora.

Objetivo

Evaluar la condición trófica del sistema determinando el nuevo comportamiento de la hidrodinámica de la zona, esto debido a su importancia ambiental, económica y social el potencial energético y determinar el tiempo de residencia de la laguna del Tóbari y los patrones de corrientes por efecto de marea dentro de la laguna.

Mediciones de campo

Las mediciones en la laguna fueron realizadas los días 24 y 25 de junio de 2017 debido a fechas próximas y según tablas de mareas de Guaymas y Yavaros, debido a que en la zona no se encuentra una estación mareográfica, esta sirvió para obtener el comportamiento de la marea, en la figura 2 se muestra el bajamar y pleamar en la visita a la laguna, las tablas de mareas, así como los equipos utilizados.

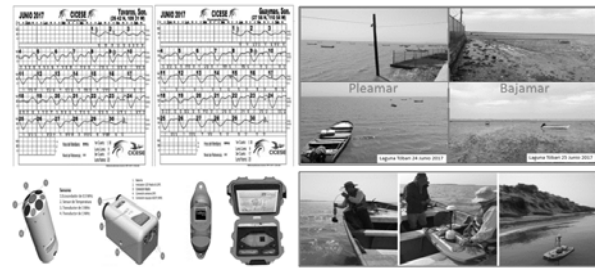


Figura 2.- Tablas de mareas del mes de junio de Guaymas (norte) y Yavaros (sur) se observa Pleamar y bajamar, equipo utilizado (ADCP y CTD)

Metodología

ADCIRC es un modelo de circulación oceánica compuesto de robustos algoritmos de cálculo. La base matemática del modelo está constituida por las ecuaciones de Continuidad y de Momento en dos y tres dimensiones, Las ecuaciones descritas pueden llegar a ser tan complejas como se requiera. Por lo tanto, su complejidad (o simplificación) dependerá de la cantidad de variables y fenómenos físicos que se desee incluir Tanto en el modelo bidimensional como en el tridimensional. ADCIRC resuelve la ecuación de continuidad utilizando la Generalized Wave Continuity Equation (GWCE):

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UH) + \frac{\partial}{\partial y}(VH) \quad [1]$$

Además de la ecuación de continuidad, ADCIRC resuelve la ecuación de conservación de momento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV \\ = -g \frac{\partial \left[\zeta + \frac{P_s}{g\rho_o} - \alpha\eta \right]}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{H\rho_o} - \frac{\tau_{bx}}{H\rho_o} \\ + \frac{M_x}{H} + \frac{D_x}{H} - \frac{B_x}{H} \end{aligned} \quad [2]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - fU \\ = -g \frac{\partial \left[\zeta + \frac{P_s}{g\rho_o} - \alpha\eta \right]}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{H\rho_o} - \frac{\tau_{by}}{H\rho_o} \\ + \frac{M_y}{H} + \frac{D_y}{H} - \frac{B_y}{H} \end{aligned} \quad [3]$$

El proceso para realizar una modelación consiste en definir el dominio de calculo mediante una malla, el ingreso de la batimetría realizar el forzamiento de las mareas con la cantidad de variables a analizar y finalmente obtener los datos de salida que son las velocidades y elevaciones como se muestra en la figura 3.

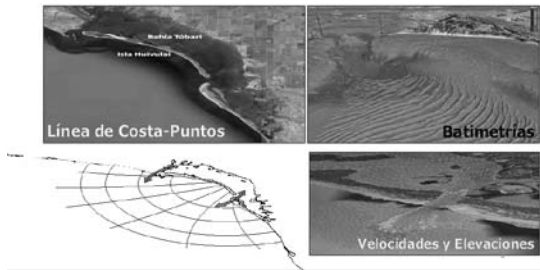


Figura 3.- Metodología de análisis, en el modelo ADCIRC.

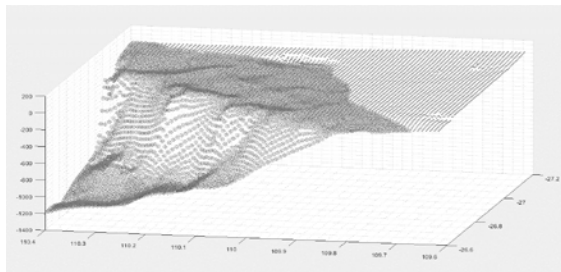


Figura 4.- Batimetría 3D de la laguna habiendo realizado la unión de datos satelitales obtenidos de la base de datos GEBCO's y datos tomados *in situ*.

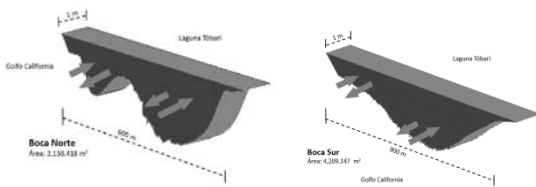


Figura 5.- Perfiles de la boca Norte y Sur.

Para determinar el potencial energético en cada una de las bocas de entrada y salida de la laguna, se realizó un análisis de los flujos marea, considerando el ancho y profundidad de cada boca y la energía potencial se calculó con la relación de:

$$E = \frac{1}{2} \rho g v^2 \quad [4]$$

donde g , es la aceleración de la gravedad; ρ , la densidad del agua, y v , es la velocidad del flujo.

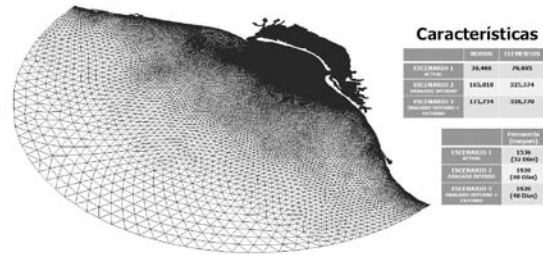


Figura 6.- Malla de análisis realizada para el escenario de modelación (39469 nodos y 76965 elementos), fueron realizadas dos mallas mas, una de 165,018 nodos y 325,374 elementos de análisis y finalmente una malla con una propuesta de mejora de 171,734 nodos y 338,770 elementos.

La implementación en ADCIRC se realizó de la manera más simplificada posible, sin considera condiciones de fuerzas externas como la acción del viento ni transporte de sedimentos, y resolviendo únicamente la ecuación de la continuidad sobre el espacio predeterminado bajo las condiciones iniciales adecuadas. Se asumieron las componentes de marea mas importantes K1 M2 N2 O1 y S2.

Resultados

Los resultados obtenidos permiten analizar algunas opciones para mejorar el sistema ambiental de la laguna Tóbari, en este caso se propusieron dos escenarios de dragados y se observó que tiempo de residencia actual es de 51 meses y para el primer escenario de dragado es de 45 meses y el segundo 37 meses. No obstante, estos escenarios de dragado el sistema lagunar mantienen su comportamiento como un sistema anti-estuario.

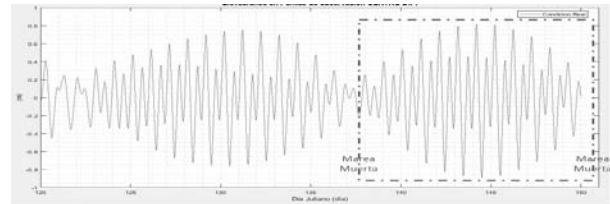


Figura 6.- Variación de la marea.

Tabla 1.- Comparación de los diferentes escenarios.

Escenario	Actual	Escenario dos	Escenario tres
Velocidad Máxima	2.22 m/s	2.86 m/s	1.86 m/s
Tiempo de Residencia	51.3 meses	45.9 meses	37.5 meses
Volumen ingresado por ambas bocas	2,259,633.064 m ³	2,521,760.059 m ³	3,094,845.047 m ³
Área de las bocas	Norte 2,138.41 m ²	Norte 2,459.2 m ²	Norte 3,100.7 m ²
	Sur 4,209.147 m ²	Sur 4,840.5 m ²	Sur 6,103.348 m ²
Potencial Energético	67.41 Mega Joules	67.11 Mega Joules	78.5 Mega Joules

La propuesta para mejorar este sistema es realizar un dragado más extenso, no sólo canales y además incluir sistemas de control de sedimentos de los drenes que descargan a la laguna.

Referencias

ADCIRC. (4 de Julio de 2018). *The University of North Carolina at Chapel Hill*. Obtenido de <https://adcirc.org/home/documentation/users-manual-v50/>

Calzada Estrada, A. E., Fernández Castillo, K., Pérez Acuña, F. E., Reyes Perdomo, D., & Carracedo Hidalgo, D. (2016). Método de generación de mallas complejas no estructuradas para la modelación de procesos marinos. *Revista Cubana de Meteorología*, 22, 188-198.

CICESE. (2016). Obtenido de <http://predmar.cicese.mx/calendarios/>

Farreras, S. (2004). *Hidrodinámica de Lagunas Costeras*. México: Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Gaona, D. E., & Portilla, J. (2014). Elaboracion de mallas computacionales para al implementacion del Modelo ADCIRC (Advance three Dimensional Circulation Model) en el Archipiélago de Galápagos. *Avances en ciencias e ingenierías*, 1-9.

García, F., Palacio, C., & García, U. (Marzo de 2009). Unestructures Mesh Generation For Numeric Models Implementatio. 17-25.

Garrido Hoyos, S. E., Aguilar Chávez, A., Esteller Alberich, M. V., Jara Marini, M. E., Saldaña Fabela, P., Gómez Balandra, M. A., . . . Mejía Astudillo, V. (2017). *Estimacion y Dispersión de contaminantes en el río Yaqui (Sonora, México); evaluación y riesgos ambientales*. Morelos.

GS Ingeniería Integral, S.A de C.V. (2008). *Manifestacion de Impacto Ambiental, Modalidad particular para la obra de dragado en la bahia del Tóbari, Municipio de Benito Juárez, Sonora*. SAGARPA-CONAPESCA.

Herrera Silva, J., & Morales Ojeda, S. (s.f.). *Lagunas Costeras*.

Laurel Castillo, J. A., Aguilar Chavez, A., Morales Perez, R., Vélez Muñoz, H. S., & Vergara Urquiza, J. G. (2010). *Estudio complementario con el analisis de escenarios de modelacion de la union de la laguna de las garzas con la Dársena de San Pedrito en MAnzanillo, Colima*. IMTA.

Marinone, S., & Lavín, M. (1997). Mareas y corrientes Residuales en el Golfo de California. *Contribuciones a la oceanografía Física en México*, 113-139.

Morales Pérez, R. A., & Gutierrez de Velasco, G. (1988). Corrientes en el Golfo de California. *Geofísica Internacional*, 25-46 vol 28-1.

Ruiz Sarrazola, D. A. (2015). *Metodología para simular la dinámica marina en el Mar Caribe usando DELF3D*. Medellin, Colombia.