

## ANÁLISIS DE REJAS DE CANALES SEGÚN PROPUESTA ANCESTRAL Y ACTUAL\*

Elvis Ávalos G.<sup>1</sup>, Emmanuel Munguía B.<sup>2</sup>, Glenda L. López B.<sup>3</sup>,  
Rosa E. Hernández J.<sup>4</sup>

### RESUMEN

*Este trabajo tiene la finalidad de mostrar la hidrodinámica de una Rejas de Canales como lo hacían los mexicas y, ahora, en Europa. Holanda las utiliza para almacenar el agua y hacerla fluir con rapidez cuando existe en demasía. Se piensa que esta técnica ayuda a controlar las inundaciones en zonas de planicie. Se modelaron rejas cuadradas y se simularon con diferentes caudales de entrada, en todos los casos, la Reja se comportó como si el agua estuviera en un lago, cambiando el tirante solo en la entrada y en la salida. Se concluye que la construcción de rejas de canales puede conducir gran cantidad de caudal sin inundar las partes interiores. Queda por investigar las dimensiones óptimas de las rejas de canales. Su relación entre ancho y distancia de la parcela, así como profundidad de los canales.*

**Palabras clave:** hidrodinámica de zanjas, enrejado de acequia, agua, Iber, simulación de escurrimientos.

### ABSTRACT

This paper have the purpose of showing the hydrodynamics of a channel grid made by

Mexicas and now in Europe. Holanda uses them to store water and make it flow quickly when it exists to much. This technique is thought to help control floods in lowlands areas. Square grids were modeled and simulated with different inflow rates in all cases, the grid behaved as if the water were in a lake, changing the tie rod only at the entrance and at the exit. It is concluded that the construction of channel grids can lead large amount of flow without flooding the interior parts. Remains to investigate the optimal dimensions of the channel grids. Its relation between width and distance of the plot, as well as depth of the channel.

**Keywords:** Channel grid, hydrodynamics of trenches, drainage ditch, wáter, iber, runoff simulation.

### ANTECEDENTES

En los años noventa se vio un mayor incremento en construcción de humedales artificiales, y se proponían como rejas de canales, no solo para tratamiento de agua residual municipal, sino también para agua de tormenta, industrial y residuos agrícolas. Autores como Kadlec Robert H. y Knight R. L dan cuenta de una buena historia del empleo de humedales naturales y construidos para el tratamiento de aguas residuales y disposición de agua parcialmente tratada. (Portal revistas peruanas.).

En las últimas décadas los sistemas de humedales artificiales se han venido utilizando de forma creciente gracias a sus características de construcción y funcionamiento: su costo de inversión suele ser económico, requieren de poco personal para su tratamiento, no presentan consumo energético o muy reducido, y no generan grandes cantidades de lodos de forma continua. (Rodríguez, 2007)

Durante los años 70 y 80 la principal utilización

<sup>1</sup> Egresado de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura (UJAT-DAIA). Elvis\_ted@hotmail.com.

<sup>2</sup> Profesor-Investigador de la UJAT-DAIA

<sup>3</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional/ (DCTS-CINVESTAV)

<sup>4</sup> Licenciatura en Ingeniería Civil. División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL-UJAT)

\*Este artículo es resultado parcial de tesis de doctorado de los coautores.

de los humedales artificiales, construidos con rejas de canales, fue como estaciones de depuración de aguas residuales urbanas. Pero es a partir de la década de los 90 cuando los humedales artificiales, además de los usos mencionados, se han utilizado con éxito en el tratamiento de distintas aguas residuales industriales. (madri+d EL AGUA, 2013). Otros vieron las aguas residuales como una fuente de agua y sustancias nutritivas para restauración o creación de humedales. (Chafloque & Guadalupe Gomez, 2006)

### Humedales en la historia de México

En México varias culturas guardaron una estrecha relación con los humedales. Los olmecas surgieron en las planicies costeras inundables del sur de Veracruz y Tabasco, zona intensamente irrigada por los numerosos afluentes de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá. También hay copiosos reportes de la presencia de canales en la zona maya, lo cual implica un manejo de los humedales. Ciudades como Zempoala, en la costa de Veracruz, surgieron a orillas de ríos y en el momento del contacto con los españoles tenían una población entre 80 y 120 mil habitantes. Durante la época de la Colonia se registró que se tomaba agua para uso doméstico y para riego de huertos del río Actopan. Su sistema amurallado le permitía contener las inundaciones y evitar que la ciudad quedara anegada. Además, contaba con un complejo sistema de drenaje para dar salida al agua de lluvia, que a su vez era utilizada para riego. Algunas culturas mesoamericanas llegaron a desarrollar un uso ecológico muy sofisticado de los humedales, como son las chinampas y los campos elevados (terrazas elevadas). Otras culturas crearon depósitos de agua pluvial muy elaborados con recubrimientos de basalto en las paredes como los encontrados en la Huasteca meridional de Veracruz, en la Mesa de Cacahuatenco. Con el paso del tiempo han caído en desuso y ahora albergan plantas características de humedales. (Publicaciones costa)

Numerosos pueblos mesoamericanos desarrollaron agricultura sobre terrazas elevadas y existen huellas de canales en lagos en la zona maya del Petén (en los bajos de Belice, la región del río Bec), las márgenes del río Candelaria en Campeche y algunas zonas de Veracruz, entre otros. Los mayas crearon campos artificiales con tierra mezclada con lodo del mismo cauce del río. También utilizaron las zonas

de aguas poco profundas, de cauce lento o estancado, donde construyeron islas o terrazas elevadas. Es probable que el aprovechamiento de cada humedal variará en función de particularidades como profundidad del agua, origen y estacionalidad de la misma, etc.

### Los Guachimontones en Jalisco

El sitio arqueológico Guachimontones (Guachimontones pirámide circulares Teuchitlan, 2017) pertenece a la región Occidental Precolombina en México; la cual abarca los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, parte de Guanajuato y Guerrero. Los Guachimontones, se definen por sus pirámides circulares. (Weigand M., 2004). Ellos utilizaban en sistema de chinampas, con rejas de canales, para sus cultivos, lo que significa que no solo los aztecas lo hacían (ver Figura 1). El conocimiento de canales rodeando la zona de cultivo fue usado en una gran extensión de civilizaciones pre-coloniales. A manera de conclusión de este desarrollo agrícola mesoamericano, cabe decir que las chinampas y campos drenados prehispánicos se han logrado identificar en diversas partes de México y Centroamérica: valle de Teotihuacán, río Lerma, desembocadura del río Nautla, río San Juan, llanura aluvial del río Candelaria y región del río Bec, además del Petén en Guatemala y del río Motagua y Ulúa en Guatemala y Honduras. Con base en un análisis de la literatura y de los mapas generados por geógrafos, diversos autores concluyen que fue una práctica común la construcción de terrazas elevadas para desarrollar agricultura en humedales en aquellos sitios en



Figura 1. Arreglo de los camellones en las ciudades mesoamericanas (Ortega, 2017)

los que había núcleos de población y una hidrología adecuada. Se considera que el surgimiento de una agricultura intensiva en humedales se interrelacionó ecológicamente con el terraceo, la irrigación de canales y los agro ecosistemas intensivos, y finalmente que la agricultura intensiva en humedales fue una práctica productiva y sustentable en Mesoamérica. (Publicaciones costa)

### **Tenochtitlán, la ciudad más antigua de América**

Los aztecas se establecieron sobre un lago (ver Figura 1) y una buena parte de su agricultura estuvo ligada al uso de humedales, es decir de chinampas. Esta forma de agricultura intensiva se basaba en la construcción de un almacén de troncos amarrados con cuerdas de ixtle que luego se iba completando con un entramado de ramas, cañas y troncos delgados. Esta especie de cama era recubierta con capas de guijarros, grava y cieno del fondo del lago, rico en nutrientes. El resultado es un conjunto de terrazas rectangulares elevadas, rodeadas de canales, a cuya orilla se siembran ahuejotes (un tipo de sauce esbelto y alto) para evitar la erosión de las propias chinampas. En ellas se plantan diversas verduras y flores.

Hasta el momento se tiene poco conocimiento de las cualidades hidráulicas de los arreglos geométricos de las construcciones en Mesoamérica. Los arreglos mostrados en la Figura 1 se repiten no solo en Mesoamérica sino en muchas partes del mundo y en diferentes épocas.

### **Los canales holandeses**

En algunas partes del mundo se utilizan reja cuadradas de canales para lograr mover con mucha facilidad el agua cuando existen inundaciones, tal es el caso de Holanda donde en la mayor parte de sus ciudades existen este tipo de rejas con la finalidad de eliminar agua, también le dan el uso como vía de transporte.

Desde que empezaron a bombear agua de sus tierras, los holandeses no han dejado de construir canales para transporte, irrigación y eliminación del agua. Los famosos canales de Ámsterdam son el resultado de una buena planificación urbana y se utilizan sin problemas como vías de transporte adicionales.

Las ciudades de Leiden y Delft también se di-

señaron pensando en el transporte por los canales. Hoy en día, además de los autobuses acuáticos que navegan por estas vías fluviales, hay también barcos-restaurante, viviendas flotantes y todo tipo de barcos y botes que frecuentan estos canales, a menudo semicirculares.

Ámsterdam se creó con canales en círculos concéntricos frente a la bahía del lago IJ en el siglo XVII. Tres de ellos se diseñaron pensando en la construcción de zonas residenciales. El cuarto y más externo estaba concebido como línea de defensa, y para gestionar el exceso de agua. Estas vías fluviales estaban interconectadas mediante canales radiales formando un abanico. Se construyó desde oeste hacia el este, y se tardó mucho tiempo en irrigar la zona oriental. Delft es una ciudad de forma rectangular, con un entramado de canales. (Anabella Squiripa, 2017).

### **Recuperar los ecosistemas**

Dentro de la región hidrológica número 30 Grijalva -Usumacinta existen lluvias abundantes de tipo torrencial, que es necesario estudiar para obtener los escurrimientos. (Aguilar, 15 ABRIL 2016). Esta agua escurre hasta la planicie; en todo el recorrido se presenta la oportunidad de aprovechar los beneficios de los servicios ecosistémicos para una intensificación ecológica eficaz en la agricultura. Las próximas décadas serán testigo de un rápido aumento de la demanda de productos agrícolas. Esta creciente demanda se debe satisfacer en gran parte mediante la intensificación (aumento de la producción utilizando la misma superficie de tierra), ya que hay poco margen para un incremento de la superficie agrícola. La intensificación ecológica -la optimización de todos los servicios ecosistémicos de suministro, regulación y apoyo en el proceso de producción agrícola- ha sido propuesta como una solución prometedora. El objetivo de la discusión es fomentar el debate sobre los nuevos conocimientos derivados de la investigación sobre la intensificación ecológica utilizando el conocimiento ancestral.

### **Hipótesis**

Se pensó que por medio de la simulación con software se logra un acercamiento a los escurrimientos reales en humedales artificiales permitiendo con el modelaje encontrar las mejores soluciones para comprender la razón de que múltiples civilizaciones

utilizarán rejas de canales en sus cultivos.

### Objetivo

El objetivo de este documento es simular escurrimientos en rejas de canales para estudiar y deducir la hidrodinámica del agua según lo aplicaban las civilizaciones antiguas.

### Método

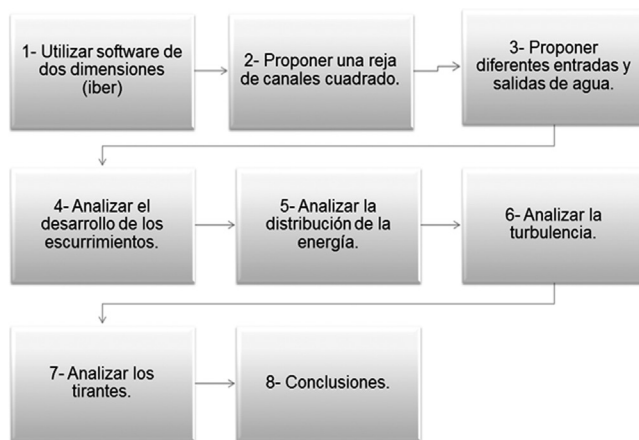


Figura 2. Diagrama del método utilizado para analizar el flujo en una reja de canales.

Se utilizó el software libre llamado Iber para hacer las simulaciones hidráulicas [1-, paso indicado en el diagrama de la Figura 2]. Se pensó en elaborar una reja de pequeñas dimensiones para evitar retado en el cálculo y optimizar el estudio (2-). Se proponen diferentes entradas y salidas del agua (3-). El software utiliza animación para mostrar los diferentes resultados obtenidos (4-), como son velocidades, densidades, tirantes (o calado), energía (5-), viscosidad turbulenta (6-) entre otros; en este documento solo se mostrará el tirante (7-). Es importante ver las animaciones con acercamientos y alejamientos, con el fin de analizar y sintetizar el resultado (8-).

### Rejas cuadradas de canales

Como primer caso se simularon las rejas de cuadrados reportadas en los antecedentes. La inquietud es revisar el comportamiento hidrodinámico de los arreglos prehispánicos y de las chinampas aztecas. Para ello se ideó una reja de canales con las dimensiones mostradas en la Figura 3.

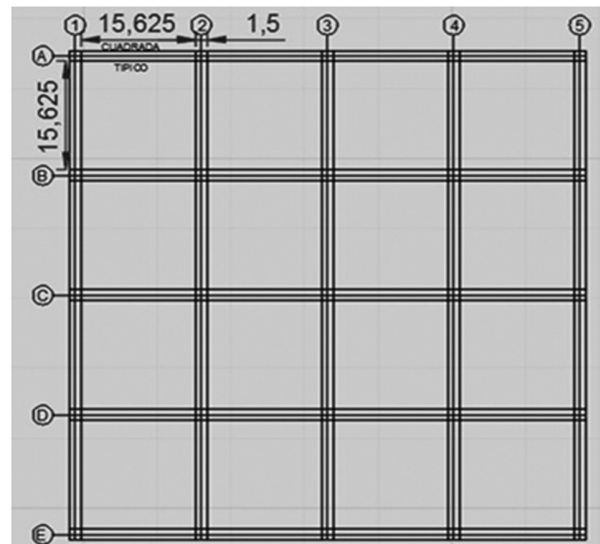


Figura 3. Dibujo de las rejas de canales con geometría cuadrada.

Esta construcción de la reja cuadrada de canales se hizo para analizar el comportamiento de las velocidades y turbulencia del agua, probando con diferentes números de entradas y salidas así como el gasto asignado.

Para las condiciones de contorno se asignan las paredes infinitas en de la reja y con diferentes entradas y salidas, para ello con la finalidad de definir un tirante o profundidad de los canales para los gastos asignados y velocidades calculadas. En la Tabla 1 se muestran las combinaciones de entrada y salida.

Para las rejas de canales se analiza el comporta-

Tabla 1. Asignación de gastos y entradas en la reja de canales para las diferentes simulaciones.

No	ENTRADAS	SALIDAS
1	Una Entre los ejes 2-3 y el eje A	Una Entre los ejes 2-3 y el eje E
2	Dos Entre los ejes 1-2, y 3-4 eje A	Una Entre los ejes 2-3 eje E
3	Dos Entre los ejes 1-2, y 3-4 eje A	Dos Entre los ejes 1-2 y 3-4 eje E
4	Dos Entre los ejes 1-2 y 3-4 eje A	Tres Entre los ejes 1-2, 2-3, y 3-4 eje E
5	Tres Entre los ejes 1-2, 2-3, y 3-4 eje A	Una Entre los ejes 2-3 eje E
6	Tres Entre los ejes 1-2,2-3 y 3-4 eje A	Dos Entre los ejes 1-2 y 3-4 eje E
7	Tres Entre los ejes 1-2,2-3, y 3-4 eje A	Tres Entre los ejes 1-2,2-3,3-4 eje E
8	Dos Entre los ejes 1-2 eje A y A-B eje 1	Dos Entre los ejes 3-4 y C-D eje 5

miento de la velocidad del flujo y su tirante. Se propone que se coloque la entrada y salida de agua en diferentes puntos. Ello para revisar las diferentes condiciones y comportamiento de la reja. Una de las partes importantes son los cruces dentro de la reja ya que suele generarse turbulencia por la distribución del flujo.

También se propone el análisis en algunas secciones del canal donde permita conocer las velocidades en diferentes puntos de la reja, como también el promedio de dichas velocidades. Las secciones analizadas coinciden con el reporte de Munguía (2016).

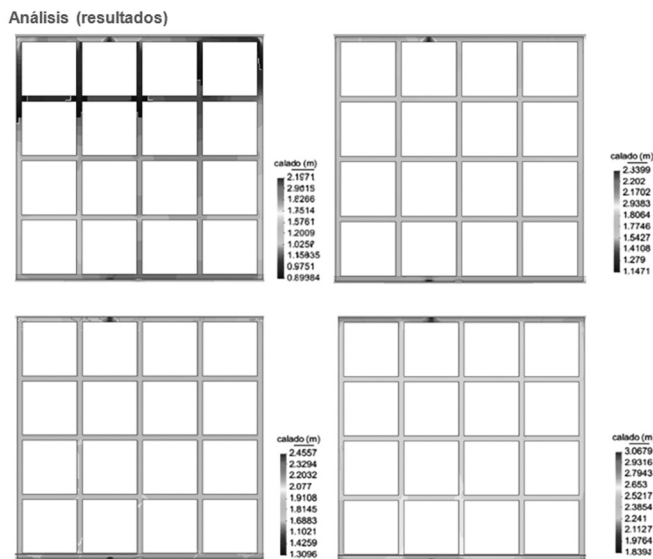


Figura 4. Evolución del tirante en la reja de canales hasta llegar al régimen permanente. Imágenes del caso 1 de la Tabla 1.

### Análisis de escurrimientos en rejillas cuadradas

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el software para los 8 casos mencionados en la Tabla 1. En todos los casos las entradas y salidas del agua tienen un ancho de 2 metros. Los muros son infinitos y el caudal de entrada es de 10 m<sup>3</sup>/seg por cada entrada. Se consideró en régimen estable cuando el gasto de entrada igualaba al gasto de salida. Para el caso 1 (ver Figura 4), en donde solo hay una entrada y una salida el tirante que se muestra es de 2.49 metros en promedio. Este tirante es el mayor de todos los casos considerados. Si agregamos más caudal como en el caso 5, donde hay 3 entradas y una salida

el tirante promedio es de 2.38, es decir, triplicamos el gasto y el tirante casi es el mismo que con una sola entrada. Para el caso 2, donde existen 2 entradas y una salida el tirante promedio es de 2.39, es decir, los tirantes promedio son semejantes aun cuando se aumenta el caudal. Para los casos 2, 3 y 4 en donde existen 2 entradas y 1, 2 y 3 salidas respectivamente, el tirante disminuye al momento que se incrementan las salidas. La diferencia entre una salida y dos salidas hace variar el tirante en 0,78, mientras que la diferencia entre dos y tres salidas es de 0.25. Por lo que el aumento de salidas no tiene gran significado si rebasa el número de entradas.

Como se mencionó al inicio el aumento del caudal no necesariamente aumenta el tirante. Para tres entradas y 1, 2 y 3 salidas (casos 5, 6 y 7) los tirantes promedios son: 2.38, 1.59 y 1.32. De igual manera que para dos entradas los tirantes se comportan muy similares. Es decir, la diferencia entre 1 y 2 salidas es de 0.79, mientras que la diferencia entre 2 y 3 salidas es de 0.27, se observa que es muy similar el comportamiento de dos entradas con tres entradas.

Para los casos donde son el mismo número de entradas que de salidas el tirante disminuye al incrementar el número. Para una entrada y una salida el tirante promedio disminuye cuando son dos entradas y dos salidas; este tirante disminuye en 0.88. El cambio de tirante entre dos y tres es de 0.29. Mostrándose el mismo caso en donde el incremento de entradas y salidas no es lineal.

Para el caso 8 se modificaron las entradas y salidas en forma diagonal. Para este caso el tirante se incrementó comparándolo con el caso 3. Por lo que la colocación de entradas y salidas puede hacer variar el tirante, aunque estén en el mismo número de entradas y salidas. Este incremento es de 0.14

Tabla 2. Resultados de las corridas de los canales cuadrados de los 8 casos de estudio

No	ENTRADAS	SALIDAS	TIRANTE		
			Maximo	Mínimo	Promedio
1	Una	Una	3.11	1.87	2.49
2	Dos	Una	2.92	1.87	2.39
3	Dos	Dos	2.03	1.19	1.61
4	Dos	Tres	1.78	0.93	1.36
5	Tres	Una	2.88	1.88	2.38
6	Tres	Dos	1.98	1.19	1.59
7	Tres	Tres	1.7	0.95	1.32
8	Dos	Dos	2.28	1.22	1.75

## CONCLUSIONES

Con lo anterior se puede observar que las rejas de canales tienen un buen comportamiento hidráulico, es decir, solo hay una modificación de tirante al entrar y salir el agua, el resto de la reja se comporta como si toda ella fuera un lago, es decir, los canales tienen una marcada tendencia a tener el mismo tirante. Ello se observó en las 8 simulaciones.

En tiempo de estiaje es posible que se reduzca la cantidad de agua almacenada en los canales. Por lo que hay que verter agua en ellos para que no pierdan tirante. Además es la intención que circule el agua en los canales para que no se acumule lodo y se oxigene el líquido acumulado. Con base en lo anterior, se reivindica el uso de reja de canales como una forma de almacenar el agua en zanjas, al tiempo de una eficiente forma de drenar grandes áreas en forma rápida. Propuesta que se puede aplicar a ciudades. Queda por simular grandes extensiones y verificar la uniformidad del calado, o de proponer medidas ideales para la reja de canales aplicada en la agricultura.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M. A. (15 ABRIL 2016). Regionalización de lluvias para el diseño de obras hidráulicas en la cuenca de Chi-coasen, Chiapas. PAKBOL.
- Anabella Squiripa. (20 de septiembre de 2017). Sobre Holanda. Obtenido de GUIA OFICIAL HOLANDA: <http://www.holland.com/es/turista/informacion/historia-de-los-canales-holandeses.htm>
- Ancient origin. (07 de Abril de 2014). Obtenido de Chinampas, The Floating Gardens of Mexico: <http://www.ancient-origins.net/ancient-places-americas/chinampas-floating-gardens-mexico-001537>
- Chafloque, W. A., & Guadalupe Gomez, E. (2006). Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9\\_n17/a11.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf)
- Demirel, Z. (2010, 2). The Influence of Seawater on a Coastal Aquifer in an International Protected Area, Gökü Delta Turkey. *J. Water Resource and Protection*, 651-659.
- Gomez, Wilmer\_Alberto\_Llagas\_Chafloque Enrique\_Guadalupe. (Junio de 2006). Portal revistas peruanas. Obtenido de Revista del Instituto de investigación de la facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica.: [http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?pid=S1561-08882006000100011&script=sci\\_arttext](http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?pid=S1561-08882006000100011&script=sci_arttext)
- Guachimontones pirámide circulares Teuchitlan. (20 de septiembre de 2017). Obtenido de <http://guachimontones.co/guachimontones/significado-guachimontones-2/>
- López\_Álvarez, B., Ramos\_Leal, J., & et\_al. (Vol.5, No.2A, 2013). Subsidence associated with land use changes in urban aquifers with intensive extraction. *Natural Science*, 291-295.
- Munguía-Balvanera, E., Alavez-Ramirez, J., & Blanco-Piñon, A. (2016). Análisis hidrodinámico de rejas de canales mediante simulaciones numéricas bidimensionales. *Ingeniería y Ciencia*, 193-212.
- Ortega, J. (2 de Febrero de 2017). Audio en el cine. Obtenido de <https://docsjo.info/author/joeortega/page/2/>
- Reygadas-Prado, F., Franco-Caceres, C., & Gongora-Gonzalez, S. (may 2013). Desarrollo de criterios e indicadores para el manejo sustentable de selvas tropicales. *AGROProductividad*, de inicio 63.
- Tovilla\_Hernández, C., Infante\_Mata, D., & et\_al. (2013). Inventario del manglar y avance de la intrusión salina. Tapachula, Chiapas: Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula.