

PROYECCIÓN DE LOS NIVELES DE INUNDACIÓN ACTUAL Y FUTURA EN EL SISTEMA DE LAGOS Y CAÑOS DE CARTAGENA- COLOMBIA

Diana Cañate, Maria Guzman y Javier Mouthon

Universidad de Cartagena, Colombia.

E-mail: dcanatel@unicartagena.edu.co, mguzmant@unicartagena.edu.co, jmouthonb1@unicartagena.edu.co

Introducción

La Ciudad de Cartagena se encuentra rodeada por una serie de caños y lagos internos (Laguna de San Lázaro, Ciénaga de Las Quintas, Caño Bazurto, entre otros) que ocupan 93 hectáreas, conectados en sus extremos con la Ciénaga de la Virgen y la Bahía de Cartagena, como se observa en la Figura 1.



Figura 1.- Composición del sistema de Lagos y Caños.

En el 2014, el Plan 4C contempló que los impactos más notables por el ascenso del nivel del mar en Cartagena son la erosión costera y el retroceso de las playas, daños en la Vía al Mar, afectación del Centro Histórico, cambios en la dinámica del sistema de humedales costeros e intrusión marina en el Canal del Dique (Alcaldía de Cartagena de Indias, et al, 2014). También, a partir del estudio del comportamiento del nivel del mar desde el año 1952 a 1993, se determinó que el máximo ascenso estimado para el 2040 es de 20 cm con respecto al año 2010, y de 14 cm, con un aumento lineal del orden de 0.36 cm a 5 cm constantes por año (INVEMAR, et al., 2014).

Teniendo en cuenta que el nivel del mar influye directamente en las láminas de agua presentadas en los cuerpos de agua de la ciudad, el objetivo de este trabajo fue determinar los puntos y niveles de inundación en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena mediante el análisis del comportamiento de la variación de niveles de los cuerpos de agua y el modelo matemático desarrollado a través del software MIKE HYDRO RIVER con el fin de sugerir estrategias para la mitigación de los impactos en la urbe, teniendo en cuenta los escenarios del ascenso del nivel del mar para el año 2040.

Metodología

Para realizar el monitoreo del sistema de caños y lagos, la metodología se llevó a cabo en tres etapas desarrolladas durante cuatro meses. La primera etapa consistió en una campaña de monitoreo por medio de la instalación de nueve sensores medidores de presión marca HOB0 colocados estratégicamente en el fondo de cada cuerpo de agua, los cuales registraron los niveles en intervalos, de acuerdo a lo presentado en la Figura 2, cada cinco minutos y la recolección de la información semanal

a través del Software "HOBOWare Pro", propiedad de la Universidad de Cartagena, que permitió obtener las gráficas de las variaciones de nivel del Sistema lagunar.

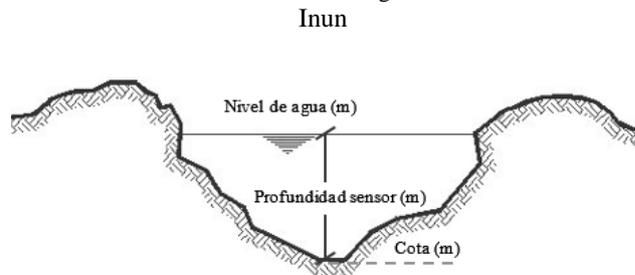


Figura 2.- Esquema del nivel de agua del sistema lagunar.

La segunda etapa comprendió el procesamiento de los parámetros fundamentales en la simulación como el coeficiente de Manning, el cual fue incluido de manera global con un valor de 0.033 determinado por las características del fondo lagunar (Ven Te Chow, 1994); la batimetría realizada con una ecosonda digital de alta precisión (Universidad de Cartagena; EPA, 2015); el factor viento utilizando una estación meteorológica con la que se comprobó que su influencia es insignificante, las condiciones de contorno y las condiciones iniciales establecidas a partir de las variaciones obtenidas.

Por último, se realizó un análisis de la tendencia del ascenso del nivel del mar y se proyectaron los niveles de inundación futura del sistema de caños y lagos en el año 2040, para diferentes escenarios presentados época seca y época lluviosa, y con ascensos del nivel mar mínimos y máximos según lo estimado como se presenta en la Tabla 1, por medio del software Mike Hydro River, suministrado a través de una licencia educativa suministrada por DHI.

Tabla 1.- Escenarios proyectados para el año 2040.

Escenario a modelar	Ascenso del Nivel del Mar [mm/año]	Descarga por lluvia [m3/s]
1	3.7	0
2	3.7	Promedio Q, Tr = 25 años
3	5	0
4	5	Promedio Q, Tr = 25 años
5	7.2	0
6	7.2	Promedio Q, Tr = 25 años

El modelo hidrodinámico planteado para la modelación por el software MIKE HYDRO RIVER se basa en un método de volumen finito de dos o tres dimensiones utilizando las ecuaciones de Navier-Stokes simplificadas sujetas a las hipótesis de Boussinesq y de la presión hidrostática para flujos incompresibles (densidad constante) de superficie libre en coordenadas cartesianas y considerando los postulados de Reynolds. Así, el modelo consiste de continuidad de caudal, de momento y de la temperatura.

Para el modelo en 3D la superficie libre se toma en cuenta utilizando un enfoque de transformación a coordenadas cartesianas, así la ecuación de continuidad se escribe como: (DHI, 2015)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad [1]$$

Donde S es la magnitud de descarga en un punto; x, y, z las coordenadas cartesianas y u, v y w las componentes de velocidad del flujo respectivamente.

Resultados

A partir del registro histórico del ascenso del nivel del mar, suministrado por el IDEAM, se observó que la tendencia general durante los 39 años analizados es ascendente, donde al determinar la tasa promedio anual a partir del mínimo y máximo valor presentado en el año 1989 se obtiene que será de 3.71 mm/año a 7.2 mm/año, para la última variación se presenta una diferencia con la literatura puesto que dice será de máximo 5 mm/año, por lo que se tuvo en cuenta esta proyección para la simulación al 2040.

Desde la Figura 3 a la Figura 5 se presentan los escenarios de inundación para el 2040 teniendo en cuenta la proyección mínima, máxima y de 5 mm/año. En los eventos sin lluvia la lámina de agua por encima del borde oscilaba entre los 10 cm y 80 cm, donde uno de los cuerpos (Laguna del Cabrero) no se ve afectada en ninguno de los tres crecimientos; en los eventos con lluvia se nota un crecimiento importante en el caño Juan Angola puesto que este alcanza una lámina de 1.2 m por encima del borde, además de que se ve afectada la Ciénaga de las Quintas con una lámina de 10 cm, siendo el cuerpo que presentó en dos zonas la misma columna de agua para los seis escenarios, 80 y 40 cm respectivamente. En general, en la mayoría de las zonas afectadas sin lluvia se presentaba la misma columna de agua para los tres crecimientos, de igual manera para los tres casos con lluvia.

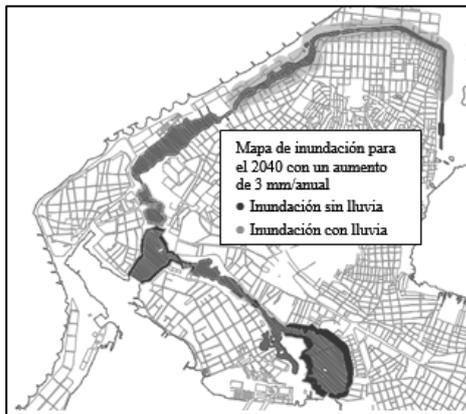


Figura 3.- Plano de proyección mínima (3.6 mm/año).

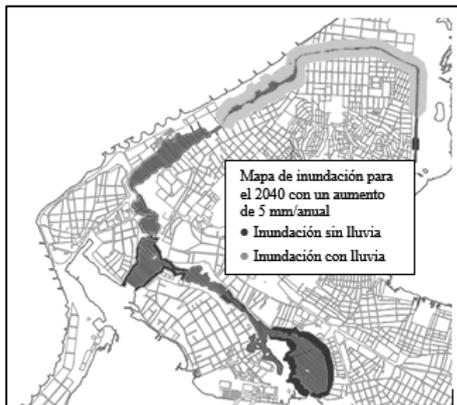


Figura 4.- Plano de proyección mínima (5.0 mm/año).



Figura 5.- Plano de proyección mínima (7.0 mm/año).

Conclusiones

Se resalta la influencia de las precipitaciones en el aumento de los niveles, principalmente en la Ciénaga y en el caño Juan Angola, producto de la gran extensión de la primera y de la comunicación directa que tiene con el caño. Finalmente se infiere que la entrada del mar por la bahía y principalmente la Bocana rige el comportamiento (ascenso y descenso) en los cuerpos de agua del sistema, ya que estos al ser más pequeños, reciben los volúmenes suministrados por el mar.

Todos los escenarios proyectados sufren inundaciones que afectarían diferentes sectores y poblaciones de la ciudad de Cartagena teniendo en cuenta que la lámina de agua en los tres escenarios sin lluvia era muy parecida, pero diferían en que a medida que aumentaba el crecimiento se presentaba más zonas inundables, lo mismo para los casos con precipitaciones, siendo el Caño Juan Angola el más perjudicado por la presencia de una lámina de agua de 1.2 m por encima del borde. A partir de lo anterior, las soluciones sugeridas, principalmente en el Caño Juan Angola, es realizar un dragado; controlar el crecimiento de los asentamientos y el desplazamiento de las viviendas existentes a zonas seguras para impedir que sean damnificadas en cada evento de lluvia que se presente en la ciudad, mientras se implementan soluciones definitivas frente al cambio climático; crear conciencia en los ciudadanos cartageneros para evitar que arrojen desperdicios, escombros o basuras al sistema de Caños y Lagos; y la implementación de estructuras de protección costera y de los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), que están basados en la planificación y evolución territorial en conjunto con la naturaleza para la gestión de las aguas pluviales.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Cartagena de Indias, et al. (2014). Plan 4C: Cartagena de Indias Competitiva y Compatible con el Clima.
- Dhi. (2015). Mike 21 and Mike 3 Flow Model Fm. Hydrodynamic Module, Short descriptions.
- Invemar, et al. (2014). Integración de la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y gestión sectorial de Cartagena de Indias. Editores: Rojas G., X., M. Ulloque R. y M. Lacoste. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 62, Santa Marta, 222.
- Universidad de Cartagena; EPA. (2015). Diseño de Sistema Inteligente de Monitoreo de Calidad Ambiental del Distrito de Cartagena. Cartagena.
- Ven Te Chow. (1994). Hidraulica de canales abiertos.