



REVISTA DERROTERO

Oceanografía

Descripción de las condiciones meteorológicas y oceanográficas de la ciénaga de Portonaito, corregimiento de Santa Ana, Cartagena D. T. y C.; durante el periodo de muestreo en época seca

Zaid Yusseff Del Cairo Jiménez ¹ y Claudia Patricia Urbano Latorre ²

¹Especialista en política y estrategia marítima.

²P.h.D. en ciencias del mar. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Cartagena de Indias, Colombia



ARMADA
DE COLOMBIA

Recibido: 09/02/2021

Aprobado: 09/04/2021

 **Correspondencia:**

zaidyusseff
@gmail.com

curbano
@dimar.mil.co

Citación:

Z. Del Cairo y C. Urbano. Descripción de las condiciones meteorológicas y oceanográficas de la ciénaga de Portonaito, corregimiento de Santa Ana, Cartagena D. T. y C.; durante el periodo de muestreo en época seca. Derrotero 15, número 1 (Ene-Dic) 2021.

Resumen

La ciénaga de Portonaito ha cobrado relevancia en los aspectos ambiental, marítimo, social y económico, ya que se localiza en una zona de alto crecimiento turístico, por lo cual se consideró significativo avanzar en el conocimiento en esta área y realizar una descripción meteorológica y oceanográfica. Para este objetivo se planeó una campaña oceanográfica, la cual se efectuó durante un periodo de 48 horas en época seca; se realizaron cuatro estaciones dentro de la ciénaga, en diferentes tiempos de acuerdo con la pleamar y la bajamar, utilizando *conductivity, temperature and depth (CTD)* y *acoustic current meters (ACM)*, para obtener temperatura, salinidad y corrientes. Además, en la boca de la ciénaga se fondeó un *acoustic doppler current profiler (ADCP)* durante 39 horas, para obtener corrientes eulerianas, y también se incluyó información meteorológica a través de una estación ubicada provisionalmente en playa Puntilla por un lapso de 36 horas; para complementar se realizó la caracterización granulométrica del sedimento de 40 muestras.

De la información medida se concluyó que la dirección predominante del viento a 10 metros de altura provino del sentido noreste durante el tiempo de medición, con una influencia directa sobre las corrientes longitudinales en la boca de la ciénaga en la capa superficial, mientras la marea afecta en mayor proporción a las corrientes transversales en niveles más profundos. El tiempo de residencia obtenido fue de ocho días, los cuales corresponden a una renovación moderada de sus aguas.

Palabras clave: ciénaga, Portonaito, condiciones meteorológicas, condiciones oceanográficas, tiempo de residencia, corrientes, granulometría, viento a 10 metros de altura.

Description of the meteorological and oceanographic conditions of ciénaga de Portonaito, corregimiento de Santa Ana, Cartagena D. T. y C.; during the dry season sampling period

Abstract

The ciénaga of Portonaito has gained relevance in the environmental, maritime, social, and economic aspects since it is located in an area of high tourist growth, for which it was considered significant to advance knowledge in this area, making a meteorological and oceanographic description. For this objective, an oceanographic campaign was planned, which was carried out during a period of 48 hours in the dry season; Four stations were carried out within the ciénaga, at different times according to high and low tide, using CTD (conductivity, temperature and depth) and ACM (acoustic current meters), to obtain temperature, salinity and currents. An ADCP (Acoustic Doppler current profiler) was anchored in the mouth for 39 hours, to obtain Eulerian currents; In addition, meteorological information was included through a station provisionally located in Playa Puntilla for a period of 36 hours; and to complement the granulometric characterization of the sediment of 40 samples.

Obtaining as results: the predominant direction of the wind at a height of 10 meters comes from the NE and has a direct and parallel influence on the longitudinal ebb currents, affecting mainly shallower currents; Likewise, it was determined that the tide affects the transverse and deeper currents to a greater extent. The flushing time obtained was 8 days, which corresponds to a moderate renewal of its waters. With the results obtained, the impact of both meteorological and oceanographic conditions on the hydrodynamic processes in the ciénaga during the sampling time was verified.

Keywords: ciénaga, Portonaito, meteorological conditions, oceanographic conditions, flushing time, currents, granulometry, wind at a height of 10 meters.

Introducción

La zona costera es parte de los ejes del desarrollo económico del país, basado en las actividades de transporte marítimo, turismo y pesca (Ramos y Guerrero, 2010), por lo que es relevante fortalecer las capacidades de estas regiones, brindando conocimientos que soporten herramientas para la planificación de territorios y procesos de ordenamiento marino-costero, a fin de mitigar los impactos socioambientales de proyectos y obras que se gestionan en los estuarios y costas.

Cartagena, ubicado en el sector norte de la región Caribe, presenta gran desarrollo en la parte portuaria, el transporte marítimo y como destino turístico, en esto último toma relevancia el corregimiento de Barú como sitio estratégico para el crecimiento de diferentes proyectos con fines recreativos. En este sector y con especial interés está la ciénaga de Portonaito, la cual de acuerdo con el registro fotográfico del área de manejo integral de



Figura 1. Fotografías aéreas de la ciénaga de Portonaito, años: 2013 (izquierda) y 1961 (derecha)

Fuente: (Amizc y CIOH, 2012).

la zona costera (Amizc) (figura 1) ha sufrido cambios morfológicos desde hace décadas en boca de la ciénaga y otras modificaciones de origen antropogénico, pero debido a que no se cuenta con información histórica de mediciones en el área (disponible a la comunidad científica), no es posible relacionar alguna afectación hacia la sostenibilidad del sector que está en continuo desarrollo.

En tal contexto, se busca avanzar en el conocimiento de la dinámica en la ciénaga de Portonaito ubicada en la península de Barú, para comprender algunos procesos hidrodinámicos y su interacción con la atmósfera.

Para este propósito, se propuso levantar una línea base de información, medida a través de una campaña oceanográfica durante la época seca entre el 15 y el 17 marzo del 2013. Es de aclarar que esta investigación consideró que los datos específicos, resultados de la salida de campo y de los experimentos de laboratorio, son representativos solo para los días de la campaña ya que existen fenómenos locales impredecibles, además que las variables analizadas son aleatorias, desenvolviéndose en situaciones estocásticas en diferentes escalas temporales que los rigen (Losada, Medina, Losada y Vidal, 1995), lo cual no permite extrapolar hacia una caracterización del área para la época seca.

La presentación de esta investigación se organizó partiendo de mediciones oceanográficas, meteorológicas y geofísicas obtenidas in situ, donde se registró información de:

- **Condiciones meteorológicas** (instalando una estación meteorológica portátil), para conocer el comportamiento de las variables como viento, presión, temperatura y humedad relativa.
- **Variabilidad espacial y temporal de los flujos de corrientes** (fondeando un *ADCP*), para determinar las corrientes eulerianas.

- **Variación del nivel del mar a las afueras de la boca de la ciénaga** (fondeando un nivel Keller), para calcular el tiempo de residencia promedio, acuerdo el método de Dyer (1979) y Wright (1974).
- **Cambios en la distribución salina, temperatura y corrientes** en cuatro puntos al interior de la ciénaga durante los ciclos de marea (con un CTD y un ACM).
- **Caracterización granulométrica de sedimentos**, esto con el propósito de analizar y correlacionar a las diferentes variables como posibles forzadoras de la hidrodinámica en la ciénaga (Angulo, 2006).

Metodología

Para realizar una descripción de las condiciones oceanográficas y meteorológicas en el área de la ciénaga de Portonaito, se programó una salida a campo por un periodo de tiempo de 48 horas, las cuales corresponden a los días del 15 al 17 de marzo del 2013 durante la época seca. Luego, se procesó la información para obtener las series de tiempo o las variables secundarias que permitan realizar diferentes análisis y correlaciones, como se muestra en el esquema de la figura 2.

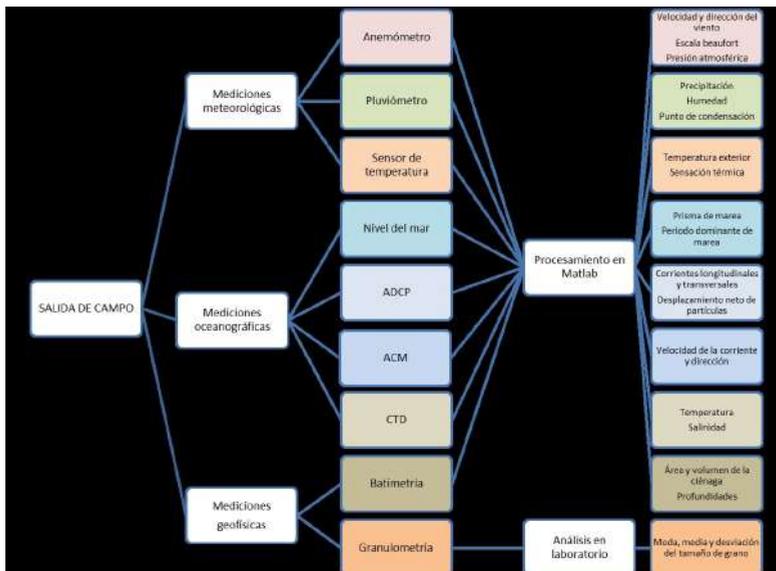


Figura 2. Mediciones *in situ*

Fuente: elaboración propia.

Medición de variables meteorológicas

Se realizó la instalación de una estación meteorológica portátil (de acuerdo con los estándares emitidos por la Organización Meteorológica Mundial) de referencia WS-1516-IT, en el área de playa Puntilla durante 36 horas, obteniendo datos con una frecuencia de 20 minutos. El total del tiempo medido es de 36 horas y 20 minutos, desde las 2000 R del 15 de marzo del 2013 a las 0820 R del 17 de marzo del 2013, con un dato cada 20 minutos, para un total de 109 datos procesados.

Medición de variables oceanográficas

Nivel del mar

La variación del nivel del mar en la ciénaga de Portonaito se obtuvo con un sensor nivel Keller en las afueras de la boca de la ciénaga en posición $10^{\circ} 14' 18.8''$ N – $75^{\circ} 36' 24''$ W; la profundidad máxima obtenida durante el periodo de muestreo fue de 9,9 m y la profundidad mínima obtenida durante el periodo de muestreo fue de 9,6 m.

El tiempo total de medición fue de 39 horas y 21 minutos, desde las 1750 R del 15 de marzo del 2013 a las 0912 R del 17 de marzo del 2013; con una frecuencia de siete datos por minuto. Se asumió como el punto de referencia para los cálculos, el punto geodésico principal “SIRGAS-Cartagena”, conociendo que la distancia entre el *mean low water spring* (MLWS) y el nivel medio del mar (NMM) es de 0,17 m (Pulido, De lisa, Viteri y Guzmán, 2013) (lo anterior se efectuó relacionando el menor dato obtenido en la ciénaga de Portonaito, con el menor dato obtenido del pronóstico del CIOH), procesando 2361 datos.

Medición de corrientes eulerianas

La corriente en las afueras de la boca de la ciénaga de Portonaito se midió con un ADCP fondeado en posición $10^{\circ} 14' 18.8''$ N – $75^{\circ} 36' 24''$ W, durante 39 horas; la máxima profundidad obtenida en el punto fue de 9,96 m y la mínima fue de 9,68 m; asimismo, la columna de agua medida fue de 4,77 m (el primer punto medido quedó a 1,26 m del fondo (A) y el último a 6,03 m del fondo (T), divididos en 20 particiones de 0,25 m (indicados con las letras de la A hasta la T) como se indica en la figura 3.

El total del tiempo medido fue de 39 horas y 21 minutos, desde las 1750 R del 15 de marzo del 2013 a las 0912 R del 17 de marzo del 2013, con un dato por minuto, para un total de 2361 datos procesados.

Se verificó la calidad de los datos con la variación del ángulo con el *pitch* y el *roll*, como resultado el *roll* osciló entre $-3,9^{\circ}$ y $-3,0^{\circ}$ grados y el *pitch* osciló en un ángulo entre $0,6^{\circ}$

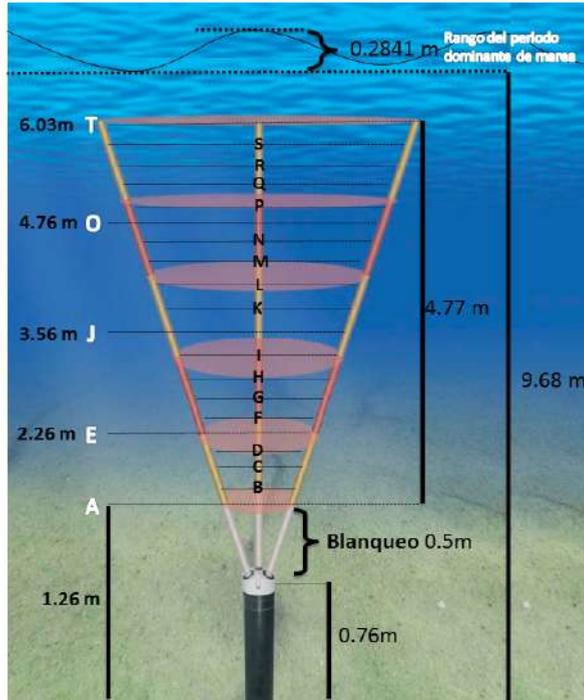


Figura 3. Toma de datos ADCP

Fuente: elaboración propia.

y 1,2° grados, lo cual indica que la posición del ADCP en la toma de datos fue adecuada (Montoya, 2011).

Se realiza la rotación de las corrientes según la configuración de la línea de costa para obtener las componentes longitudinal y transversal de la corriente en la boca de la ciénaga (figura 4), de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$L = (N \sin \alpha) + (E \cos \alpha) \quad (1)$$

$$T = (N \cos \alpha) + (E \sin \alpha) \quad (2)$$

Donde:

L equivale a las corrientes longitudinales en flujo y reflujo.

T equivale a las corrientes transversales.

N equivale a la corriente en dirección norte geográfico.

E equivale a la corriente en dirección este.

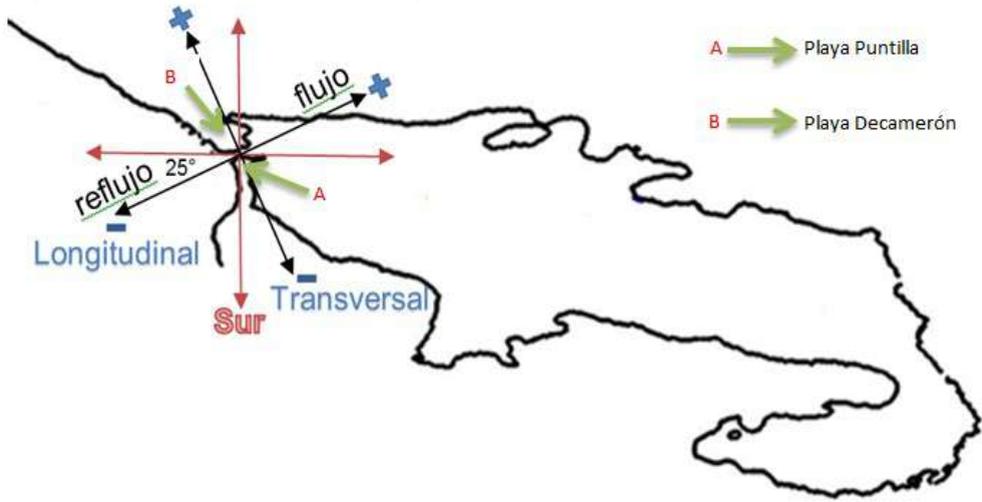


Figura 4. Componentes longitudinal y transversal

Fuente: elaboración propia.

α equivale al ángulo entre la dirección de la boca de la ciénaga respecto al norte geográfico, que para este caso es de 25° .

Estaciones oceanográficas

Para medir corrientes, temperatura y salinidad al interior de la ciénaga de Portonaito (figura 5), se usó un ACM y un CTD, a fin de caracterizar la columna de agua.

La toma de perfiles se realizó en cuatro estaciones distribuidas espacialmente según se observa en la figura 5 en las posiciones descritas en la tabla I.

Tabla I. Posición de los cuatro puntos

	LON	LAT
1	75.6055° W	10.2382° N
2	75.5995° W	10.2371° N
3	75.5892° W	10.2324° N
4	75.5888° W	10.2264° N

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Estaciones de medición CTD y ACM

Fuente: elaboración propia.

Las estaciones se realizaron en intervalos de tiempo que en adelante llamaremos transectos, coincidentes con las variaciones de la marea para establecer la afectación de la marea dentro de la ciénaga. Los intervalos en el tiempo se describen en la tabla II.

Tabla II. Transectos

Transectos	Intervalos
1	1604 R-1726 R del 16-Mar-13
2	1820 R-2016 R del 16-Mar-13
3	2053 R-2147 R del 16-Mar-13
4	2217 R-2302 R del 16-Mar-13
5	0523 R-0628 R del 17-Mar-13
6	0715 R-0816 R del 17-Mar-13

Fuente: elaboración propia.

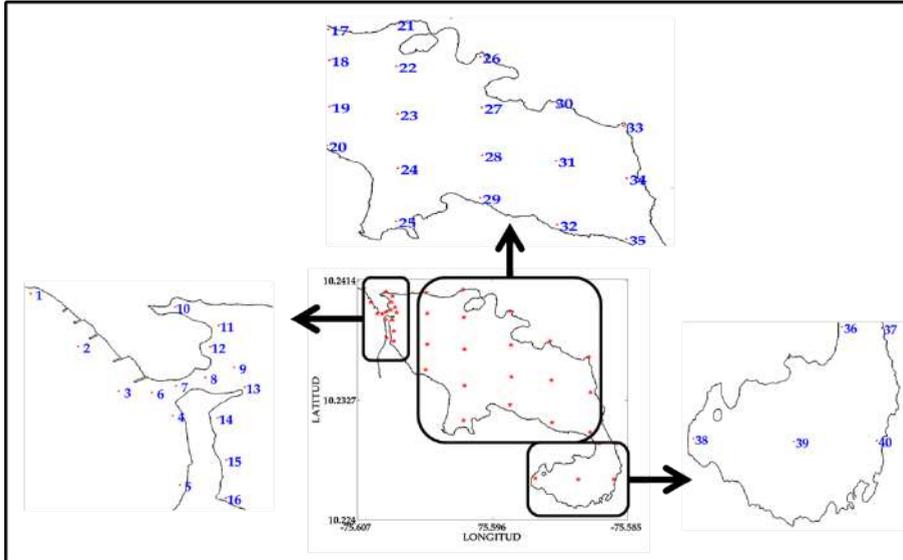


Figura 6. Malla con muestreo de sedimentos

Fuente: elaboración propia.

Medición de variables geofísicas

El levantamiento batimétrico se realizó con apoyo del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN) del CIOH, el planeamiento se efectuó teniendo en cuenta los lineamientos establecidos por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI-S44), utilizando un sistema de posicionamiento global diferencial (*DGPS*, según sus siglas en inglés), Trimble DSM 132 y una ecosonda monohaz Odom Hydrotrac MKII con transductor de 200 Khz. La toma de los datos duró dos días, en los cuales se efectuaron un total de 68 líneas y 32 630 metros. La proyección fue transversal Mercator, la cuadrícula U. T. M. zona 18N, el *datum* geodésico WGS 84 y el *datum* de sondeo, de acuerdo con el *MLWS*.

La caracterización granulométrica de sedimentos en la ciénaga de Portonaito se realizó con una malla de muestreo (figura 6), compuesta por 40 muestras distribuidas a lo largo y ancho de la ciénaga: 16 muestras a las afueras y en la boca, 19 muestras en la parte central y cinco muestras en la parte más interna.

Las muestras fueron debidamente embaladas y rotuladas para su análisis en el CIOH, con apoyo del área de manejo integrado de la zona costera, donde 30 de las 40 muestras fueron procesadas por el método de tamizaje y a las otras 10 muestras se les efectuó el procesamiento por el método de dispersión láser, para obtener una mayor precisión con las muestras más finas, esto realizado con el equipo Horiba LA-300, consistente en el cálculo del tamaño del grano.

Lo anterior se basa en el teorema de dispersión de Mie, 1908, en el cual se analiza la distribución del tamaño de las partículas por medio de la detección de la dispersión angular y absorción de luz, emitida por un láser a la muestra dentro de un medio controlado (Amizc y CIOH, 2012, p. 1).

El método de tamizaje se estandariza con el método de Folk y Ward, 1957, teniendo como referencia para el tamaño del grano la escala de Udden de progresión geométrica, cuya base es 1 mm y la razón es 2 mm. Los datos de media y moda se interpretaron de acuerdo con la escala de Uden y Wenworth y la SD se interpretó según la escala de Folk y Ward, 1957 y Miller, 1977.

Resultados

Como resultados de las mediciones obtenidas en la parte meteorológica y oceanográfica se muestran los siguientes.

Análisis del viento (μ_{10})

Para analizar el comportamiento del viento durante las 36 horas de mediciones a 10 metros de altura se graficó la serie de tiempo (figura 7), donde se identifican las direcciones y las magnitudes más frecuentes eulerianamente.

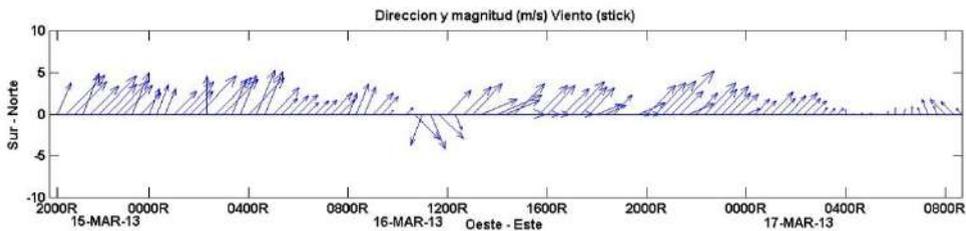


Figura 7. Dirección y magnitud del viento, *stick* del μ_{10} (las líneas rojas demarcan temporalmente la madrugada de 0500R-0800R y la línea amarilla las direcciones anómalas a la predominante)

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 7, la dirección de mayor incidencia es la proveniente del noreste y es coincidente con la dirección predominante para el Caribe colombiano; entre las 0500 R y 0800 R de los dos días de mediciones (entre líneas rojas) se observa que la magnitud de la velocidad del viento disminuye a diferencia de las horas de la noche donde tiende a aumentar, esto puede ser producto de la brisa marina. Entre las 1000 R y las 1300 R del

16 de marzo del 2013 (entre líneas amarillas) se visualiza una variación de la dirección del viento, la cual puede corresponder a efectos locales en la zona.

En la rosa de los vientos (figura 8), donde se relaciona la dirección y la magnitud del viento medido *in situ*, se confirma como dirección predominante el NE con una frecuencia del ~55 % en magnitudes entre siete y ocho m/s, seguido de la dirección NNE con ~ 15 % con magnitudes hasta seis m/s.

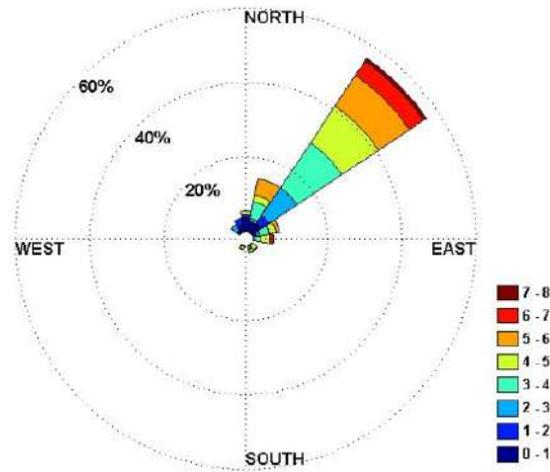


Figura 8. Rosa del μ_{10} en metros por segundo

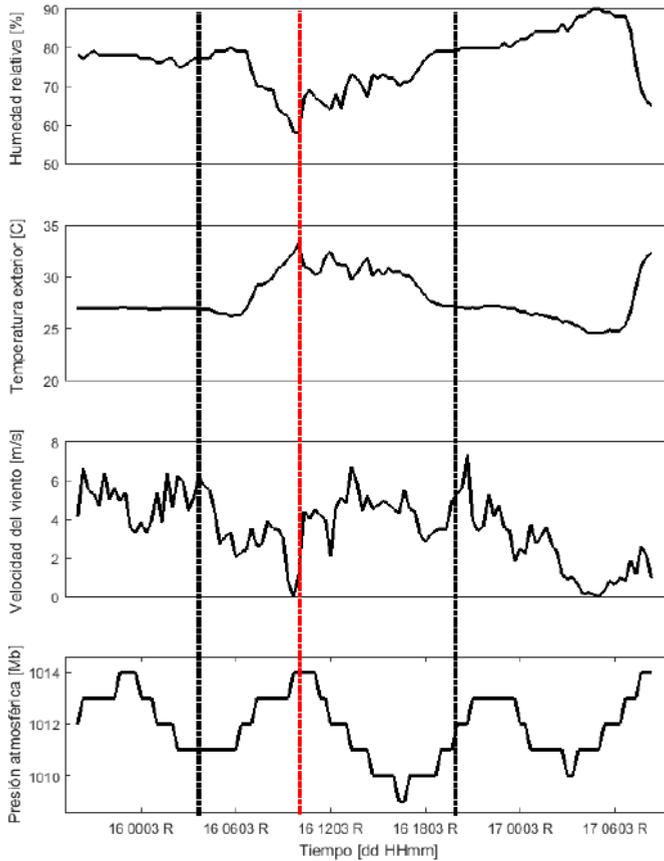
Fuente: elaboración propia.

Análisis cualitativo de las cuatro principales variables meteorológicas (μ_{10} , P, T, Hr)

El comportamiento de las series de tiempo obtenidas de: humedad relativa, temperatura del aire, viento y presión (figura 9), en general no presentan valores que indiquen cambios bruscos o repentinos debidos a algún evento meteorológico relevante.

En general se conoce que la humedad relativa es muy sensible a las variaciones de temperatura, ya que estas incrementan la presión de saturación, de acuerdo con la fórmula (ecuación 3) de humedad relativa, este factor como denominador hace que disminuya el resultado de humedad acuerdo a Parish y Putman, 1977.

$$HR = \frac{e_p}{e_{ps}} \cdot 100 \% \tag{3}$$



Se indica tres líneas azules, una central que corresponde a la media de la variable y una superior y una inferior que muestran la media +/- tres (3) desviaciones estándar.

Figura 9. Variables ambientales registradas en la estación meteorológica: humedad relativa, temperatura exterior, magnitud de $\mu 10$ y presión atmosférica

Fuente: elaboración propia.

Al tener en cuenta la relación que guardan los dos parámetros explicados anteriormente, se puede decir que el comportamiento de las series de tiempo de la humedad relativa y de la temperatura exterior es inversamente proporcionales, tal como se observa en la figura 9. Para el periodo comprendido de las 0400 R hasta las 2000 R (líneas punteadas negras) se describe un cambio en el comportamiento para la humedad relativa con variaciones que

están por debajo de la media, y para la temperatura por encima de la media se destaca un pico en la hora 10:00 R (línea punteada roja), la cual coincidente con un pequeño desfase de un pico en la disminución de la velocidad del viento y el aumento de la presión. Dentro de la serie de velocidad del viento no es tan evidente la relación con la presión, donde se conoce que la velocidad del viento debería ser directamente proporcional al gradiente de presión.

La serie de presión presenta aproximadamente valores altos a las 00:00 R, 12:00 R del día 16 y 00:00 R del día 17, y los valores bajos a las 04:00 y 16:00 R del día 16 y 4:00 R del día 17, lo cual muestra una evolución de la serie de manera periódica cada 12 horas que corresponde a la variación semidiurna de la presión, las cuales son los resultados del alternativo calentamiento y enfriamiento del aire por causa de la sucesión del día y la noche (Eslava, 1991).

De las series de tiempo de las variables μ_{10} , temperatura exterior, humedad relativa y presión atmosférica (figura 9), se obtienen las siguientes estadísticas básicas (tabla III):

Tabla III. Datos estadísticos de las variables meteorológicas

Variable	Vr mínimo	Vr máximo	Media	Desviación estándar
Viento	0 m/s	7,3 m/s	3,57 m/s	1,75 m/s
Temperatura	24,5°C	33,2°C	27,9°C	2,16°C
Humedad	58 %	90 %	76,57 %	7,07 %
Presión atmosférica	1009 mb	1014 mb	1011,9 mb	1,28 mb

Fuente: elaboración propia.

El gradiente o la diferencia entre el mínimo y el máximo en cada variable fueron:

- Viento 7,3 m/s
- Temperatura exterior 8,7 °C
- Humedad relativa 32 %
- Presión atmosférica 5 mb

La variación significativa en las magnitudes de las cuatro variables analizadas influye sobre la dinámica en la ciénaga de Portonaito.

Batimetría

La batimetría procesada por el CIOH (figura 10) toma como referencia el *MLWS* (0,2 m), el cual se encuentra a 0,17 m por debajo del nivel medio del mar (0,37 m). El promedio

de la profundidad, teniendo en cuenta los 1166 datos obtenidos, fue de 1,69 metros.

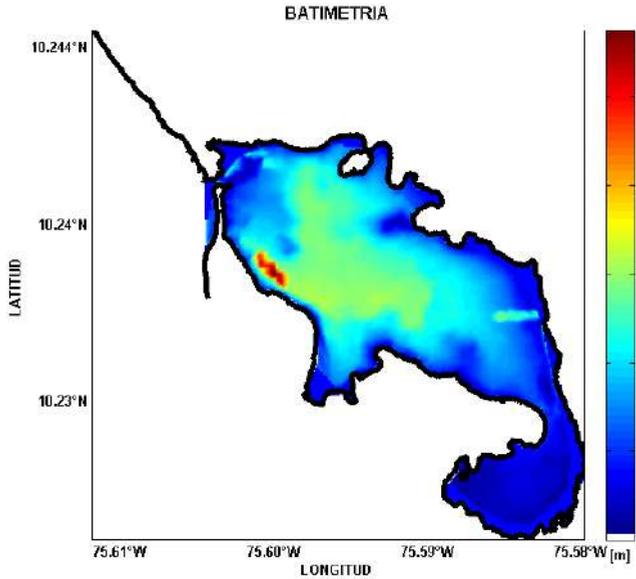


Figura 10. Batimetría

Fuente: elaboración propia.

Variación del nivel del mar

La variación del nivel del mar en la ciénaga de Portonaito es un factor de importancia para las lagunas costeras y radica principalmente en dos situaciones: la primera es la afectación de la variación del nivel sobre el tiempo de residencia y la segunda es la variación como forzador de las corrientes, tanto en las afueras de la boca como al interior de la ciénaga.

La serie de tiempo del nivel del mar fue obtenida del mareógrafo (figura 11) y se aclara que el cero de la gráfica está referenciando el NMM, el cual se encuentra situado a 0,17 m por encima del *MLWS*. El valor mínimo fue de -0,0237 m en la fecha el 16 de marzo del 2013 a las 1018 R y el valor máximo fue 0,2604 m el día 17 de marzo del 2013 a las 0431 R; la variación del nivel obtenido (rango del periodo dominante de marea) fue de 0,2841 m, el promedio de los datos fue de 0,1067 m y la desviación estándar de 0,0809 m.

El periodo dominante de marea en la variación del nivel comprende desde las 0308 R del 16 de marzo del 2013, hasta las 0431 R del 17 de marzo del 2013 para un total de 1523 minutos o 25,38 horas.

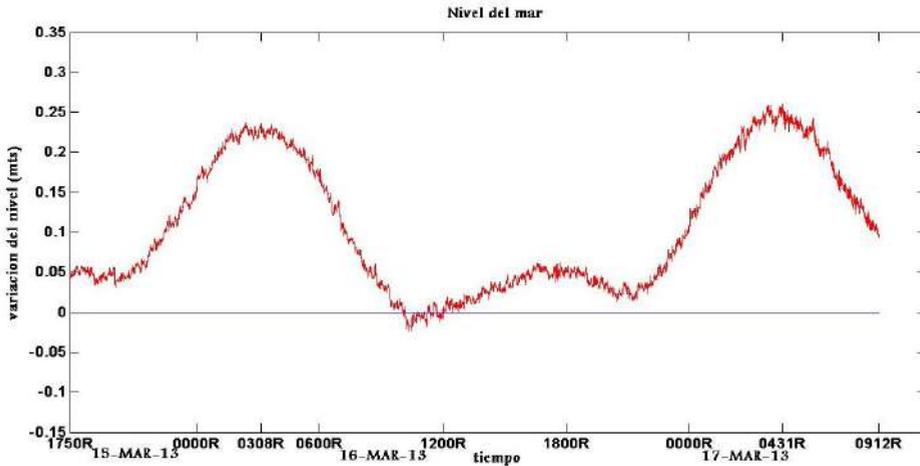


Figura 11. Variación del nivel del mar

Fuente: elaboración propia.

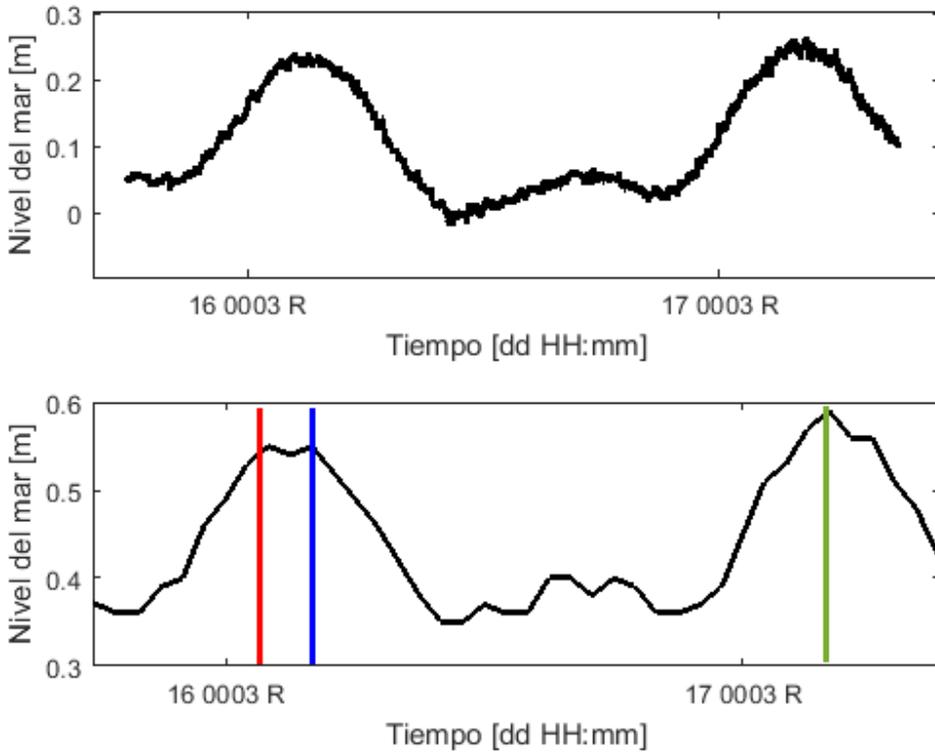
De acuerdo con Wiedemann citado por Molares, 2004, “las mareas del Caribe son débiles, con un rango mareal que varía de los 20 a 30 cm y rara vez excede los 50 cm, por lo cual fue catalogada como micromareal (rango < 2 m)” (p. 106); y de acuerdo con los resultados de Molares, 2004 se encontró (según una caracterización local en las islas del Rosario) que los principales componentes de marea se encuentran dentro de la clasificación de marea mixta, principalmente diurna, que según lo registrado en la figura 11 coincide con ser micromareal y mixta.

Adicionalmente, se efectúa la comparación de los datos obtenidos *in situ* en la ciénaga de Portonaito, con los datos obtenidos en la bahía de Cartagena por el CIOH (figura 12), en el mismo tiempo. La variación del nivel del mar en la bahía de Cartagena es influenciada minoritariamente (10 %) por el canal del dique (Molares, 2011), lo cual no debe mostrar una variación significativa entre las dos series.

La variación del nivel del mar tiene dos componentes principales, la marea meteorológica influenciada por el viento y la presión atmosférica y la marea astronómica. Esta última se compone de oscilaciones fácilmente identificables por la frecuencia, por lo que al realizar comparaciones con las corrientes es posible relacionar la afectación de la marea.

De acuerdo con la data de las series se calculó que la diferencia entre la amplitud de las dos señales fue de 0,04 m, un valor mínimo, lo cual da confiabilidad a la información medida.

El periodo dominante de marea para la ciénaga de Portonaito fue de 25 horas y 23 minutos; y para Cartagena se visualizaron dos: una de 24 horas (franjas de azul a verde) y otra de



El periodo dominante de 24 horas es la franja de azul a verde y el periodo dominante de 26 horas es la franja de roja a verde.

Figura 12. Comparativo de las variaciones del nivel del mar, datos de la ciénaga de Portonaito (superior) y datos de la bahía de Cartagena (inferior)

Fuente: elaboración propia.

26 horas (franjas de roja a verde). Se puede considerar que la ubicación de los sensores haya ocasionado un tiempo de retraso de la onda entre los diferentes puntos (en la ciénaga el sensor estaba en las afueras de la boca, o sea a mar abierto, a diferencia de la bahía de Cartagena que se encontraba en la parte más interna); sin embargo, la similitud de la variación del nivel del mar obtenida en la ciénaga (isla Barú) con la bahía de Cartagena podría corresponder a la hipótesis (con las restricciones de que la serie de tiempo es limitada) según lo dicho por Andrade, citado por (Molares, 2011), donde la presencia de otros forzantes a nivel de mesoescala estarían generando influencias importantes en la zona.

Tiempo de residencia promedio en la ciénaga de Portonaito

El tiempo de lavado de la ciénaga o la renovación de sus aguas interiores es de relevancia ambiental, ya que pertenece a un ecosistema estuarino. Para determinar el tiempo de residencia es imperativo conocer: profundidad promedio, el periodo dominante de marea o ciclo mareal, área, volumen (pleamar), volumen (bajamar) y prisma de marea. Información que se obtuvo de las mediciones realizadas.

El área se calculó con el programa Hypack, con apoyo del SHN del CIOH, teniendo como base la línea de costa suministrada por el Amizc del CIOH, dando como resultado un área interna aproximada de: 1,59 km².

Al multiplicar el área por la profundidad promedio obtenida de la batimetría de la ciénaga, el volumen (según el *MLWS*) da como resultado:

$$V(\text{MLWS}) = 1590000 \text{ m}^2 \times 1,69 \text{ m} = 2687100 \text{ m}^3$$

El prisma de marea es el volumen de diferencia entre la pleamar y la bajamar del ciclo mareal, que a su vez es lo mismo que multiplicar el área de la ciénaga por el rango mareal.

$$P = A \times R \quad (4)$$

Donde

P equivale al prisma de marea, *A* al área de la ciénaga y *R* al rango.

$$P = 1590000 \text{ m}^2 \times 0,28 \text{ m} = 445200 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen en bajamar se tuvo en cuenta que la batimetría se efectuó según el *MLWS* que está a 0,17 metros por debajo del NMM; asimismo, el dato más bajo obtenido está a 0,0236 metros por debajo del NMM, por tal motivo el volumen de agua que hay desde el *MLWS* hasta el dato de bajamar es:

$$V_{\text{min}} = 1590000 \text{ m}^2 \cdot (0,17 \text{ m} - 0,0236 \text{ m}) = 232776 \text{ m}^3$$

A este valor hay que sumarle el volumen de la ciénaga hasta el nivel del *MLWS* que es de: 2 873 000 m³. Por lo cual el volumen en bajamar es:

$$V = V_{\text{min}} + V(\text{MLWS}) = 232776 \text{ m}^3 + 2687100 \text{ m}^3 = 2919876 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del volumen máximo de la ciénaga (volumen en pleamar), se determinó sumando el volumen en bajamar más el prisma de marea.

$$V_{\text{max}} = V + P = 2919876 \text{ m}^3 + 445200 \text{ m}^3 = 3365076 \text{ m}^3$$

El cálculo del tiempo de residencia se efectuó teniendo en cuenta el método del prisma de marea de ? y ?. Este consiste en suponer que el agua que entra en el flujo de la marea se encuentra completamente mezclada con la que se encuentra dentro y que los volúmenes introducidos de agua de mar y de agua de la ciénaga igualan al volumen del prisma de marea. Este método supone que las masas de agua que entran y salen de la ciénaga no se mezclan entre sí. Su fórmula es:

$$\mathbf{T} = (\mathbf{V} + \mathbf{P})/\mathbf{P} \quad (5)$$

Donde

T es el tiempo de residencia en términos de ciclos mareales o periodo dominante de marea.

V es el volumen en bajamar.

P es el prisma de marea.

Se reemplazan los valores encontrados producto de la salida de campo en la ecuación (5) y se obtiene:

$$\mathbf{T} = (2919876 \text{ m}^3 + 445200 \text{ m}^3)/445200 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{T} = 3365076 \text{ m}^3/445200 \text{ m}^3 = 7, 5586 \text{ ciclos de marea}$$

El T en horas = 7,5586 ciclos de marea \times 25,38 = 191,84 horas.

El T en días = 191,84 horas / 24 = 7,99 días, que se aproxima a **ocho días**.

Con este tiempo de residencia obtenido se concluye que la renovación del agua al interior de la ciénaga tiene un comportamiento moderado de recirculación (buena circulación), coadyuvando a la renovación de sus aguas y propiciando un ambiente más sano para la flora y la fauna de esa laguna costera de características estuarinas.

Características granulométricas en la ciénaga de Portonaito

De los datos estadísticos obtenidos (tabla IV) de las tres características granulométricas en las tres áreas de la ciénaga, se tiene que: en la boca (16 muestras) se obtiene: una moda de 336,75 micromicras, una media geométrica de 458,74 micromicras (arenas medianas) y una desviación estándar de 2,35 (muy pobremente seleccionado); en el área central (19 muestras) se obtiene: una moda de 124,19 micromicras, una media geométrica de 221,57 micromicras (arenas finas) y una desviación estándar de 2,96 (muy pobremente seleccionado); y en el área interna (cinco muestras) se obtiene: una moda de 91,21 micromicras, una media geométrica de 136,88 micromicras (arenas finas) y una desviación estándar de 1,99 (pobremente seleccionado).

Tabla IV. Características granulométricas principales en la Ciénaga de Portonaito

Área	Moda	Media geo		SD geo	Selección
	(micromicras)	(micromicras)	Arenas		
Boca	336,75	458,74	Medianas	2,35	Muy pobremente
Área central	124,19	221,57	Finas	2,96	Muy pobremente
Área interna	91,21	136,88	Finas	1,99	Pobremente

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se analiza que en la boca de la ciénaga de Portonaito hay un mayor tamaño promedio del grano (458,74), relacionando este valor con una mayor energía cinética de la masa de agua en la ciénaga; no obstante, en la parte más interna se encuentra todo lo contrario, el valor del tamaño medio del grano (136,88) muestra una menor energía cinética, es decir, una menor corriente en la parte más interna.

Esto se justifica debido a que el tamaño medio del grano refleja la proporción de las corrientes, donde en el área de mayor fluidez se van a encontrar arenas más gruesas y a menor fluidez lo contrario; en este sentido, en la boca de la ciénaga de Portonaito se presentan mayores corrientes, a diferencia de la parte más interna (Spalletti, 2007).

Corrientes longitudinales y transversales

Según la corrección realizada para las corrientes medidas con el *ADCP* en la boca de la ciénaga, se grafica la magnitud de la velocidad de la corriente transversal y longitudinal en los diferentes niveles de profundidad (figura 13), se observa que la mayoría del tiempo la magnitud de las corrientes transversales son de mayor magnitud que las corrientes longitudinales, siendo más fuertes en el nivel T (6,03 m con respecto al fondo) más superficial. No se observan diferencias marcadas entre los niveles O, J y E, por tal razón se analiza el nivel A más profundo y T el más superficial de la columna, acorde la tabla V.

De acuerdo con la tabla V, el máximo de las corrientes transversales son aproximadas del quintuple de las longitudinales; a diferencia de las mínimas que son aproximadamente del mismo orden; por tanto, las corrientes transversales son más fuertes y positivas en dirección hacia las playas ubicadas al norte de la boca, lo que puede ocasionar procesos de inestabilidad, por un lado erosión en las playas al norte de la boca y por otro lado sedimentación en las playas al sur de la boca (playa Puntilla).

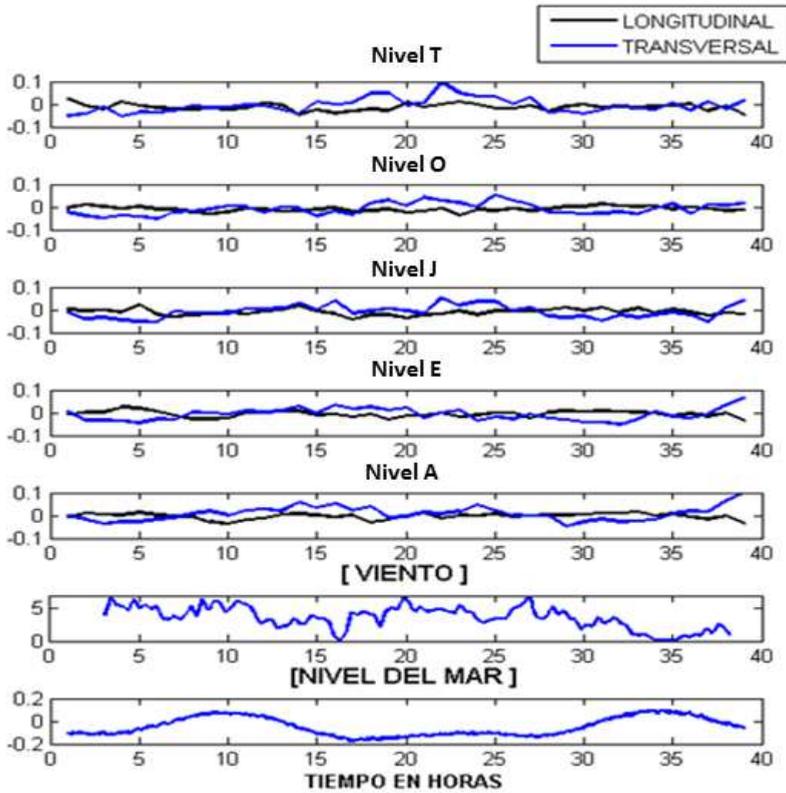


Figura 13. Corrientes longitudinales y transversales (nivel más profundo A (1,26 m con respecto al fondo) al menos profundo T (6,03 m con respecto al fondo) vs. la serie de tiempo del viento y la variación del nivel del mar

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Valores corrientes

Longitudinales			
Nivel ADCP	Máximo	Mínimo	Rango
Nivel A	0,0164 m/s	- 0,0368 m/s	0,0532 m/s
Nivel T	0,0215 m/s	- 0,0467 m/s	0,0682 m/s
Transversales			
Nivel ADCP	Máximo	Mínimo	Rango
Nivel A	0,0961 m/s	- 0,0490 m/s	0,1451 m/s
Nivel T	0,1003 m/s	- 0,0552 m/s	0,1555 m/s

Fuente: elaboración propia.

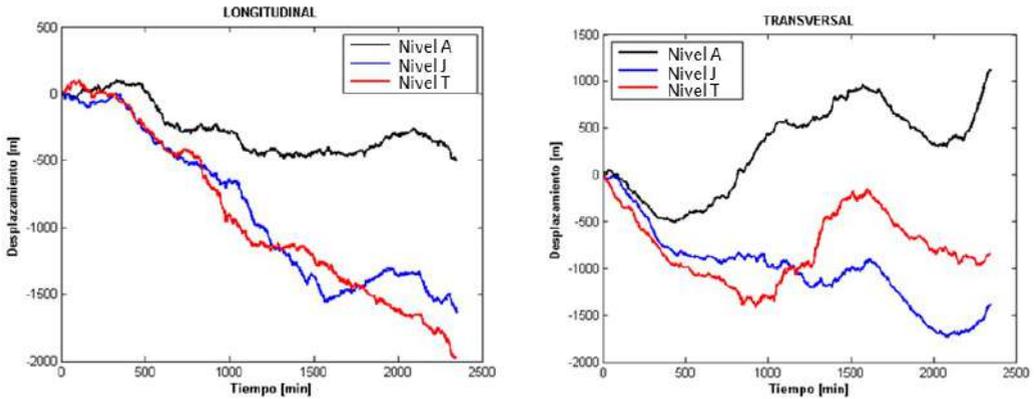


Figura 14. Desplazamientos netos de la corriente longitudinal (izquierda) y transversal (derecha)

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del desplazamiento neto de las partículas

El cálculo del desplazamiento neto de la rapidez de la corriente, por componente longitudinal y transversal (figura 14, izquierda y derecha respectivamente) se efectúa teniendo como consideración que su inicio es el lugar de la posición del ADCP (0, 0), donde cada medición suma a la anterior, de acuerdo con Marinone y Lavín, 1997, este proceso se realizó para tres niveles de profundidad A, J y T del ADCP.

El desplazamiento neto de las corrientes longitudinales (figura 14 superior izquierda) tiene tendencia de signo negativo indicando reflujos (revisar figura 4 para las convenciones de las direcciones), esto principalmente al efecto del viento sobre las corrientes más someras (niveles T y J), donde domina la dirección NE (45 °) favoreciendo el reflujos.

Para las corrientes transversales (figura 14 superior derecha), el nivel más profundo (nivel A) tiene tendencia positiva, es decir, con dirección a playa Decamerón o más al norte, es de recordar que el transporte transversal o transporte de litoral cobra importancia ya que este puede causar serias consecuencias de erosivas; para los dos niveles más someros (niveles T y J) estos tienen tendencia negativa, es decir con dirección playa Puntilla, lo cual es coherente con la dirección NE del viento. Ahora, se perciben además movimientos oscilatorios, esto es principalmente porque las corrientes transversales son más influenciadas por la marea (Trasviña, Aburto, Ezcurra y Zaytsev, 2012) y en este caso el más afectado sería el nivel A, el más profundo.

En la tabla VI se resumen los valores totales del desplazamiento en cada profundidad y para cada componente de la corriente de la figura 14.

Tabla VI. Corriente final (desplazamiento neto) longitudinal y transversal

Nivel ADCP	Magnitud longitudinal	Magnitud transversal
A	-499,8 m	1125,6 m
J	-1635,0 m	-1394,4 m
T	-1980,0 m	-1426,2 m

Fuente: elaboración propia.

La capa más somera (nivel T) es la que más aporta al desplazamiento o que es más dinámica, tanto longitudinal como transversalmente, pero con mayor desplazamiento en reflujo. La capa más profunda (nivel A) aporta menos al desplazamiento simulado de la partícula o que es menos dinámica, pero con un mayor aporte en las corrientes transversales positivas hacia playa Decamerón.

Análisis de las corrientes al interior de la ciénaga de Portonaito

Con el fin de determinar las variaciones de la corriente, la temperatura y la salinidad al interior de la ciénaga, se realizaron mediciones con *CTD* y *ACM* en cuatro puntos a seis diferentes tiempos, como se estableció en la metodología como transectos, estos están influenciados por el nivel del mar (figura 15), por lo cual es importante ubicar la variación del nivel del mar y el tiempo de la medición.

Análisis del perfil de salinidad al interior de la Ciénaga de Portonaito

Según las estaciones realizadas en los cuatro puntos, en los perfiles de salinidad (figura 16) se pueden observar unas ligeras cuñas salinas (especialmente en los puntos 2, 3 y 4), menos salina a menor profundidad y más salina a mayor profundidad, lo anterior se debe al efecto producido principalmente por la alta evaporación en la zona que hace que las más superficiales sean menos densas que las más profundas, ya que las últimas se han hundido después de haberse evaporado parte de su porcentaje de agua, haciéndolas más pesadas.

La salinidad en el tiempo muestra variación entre los perfiles nocturnos y los diurnos. Al observar el perfil azul que marca el transecto 4, realizado en horas de la noche (aproximadamente a las 22:00 R) y comparado con los otros dos transectos 5 y 6 realizados en la madrugada (5:00 R hasta las 8:00 R), se notó que los valores de salinidad aumentan en la columna de agua.

También se observa una variación espacial entre los puntos, el punto P₁ es el menos salino, ya que se encuentra por fuera en la boca, y el más salino P₄ se encuentra en la zona

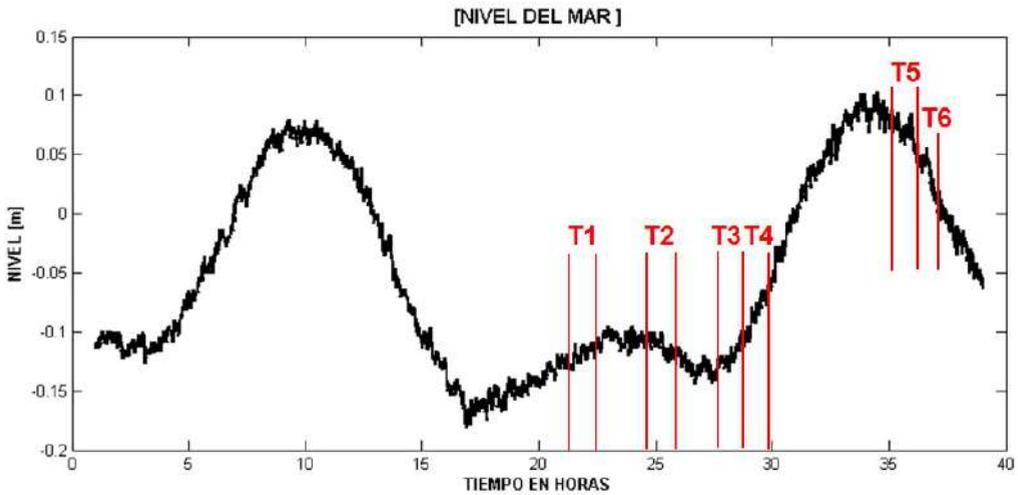


Figura 15. Transectos sobre la variación del nivel del mar

Fuente: elaboración propia.

más interna y de menor profundidad. Esto refleja el concepto definido en la descripción de la zona, donde se define a la ciénaga como un estuario de tipo inverso con nulo aporte de ríos, la parte más cercana al mar es menos salina y la más interna es más salina (Tomczak, 2002).

Análisis del perfil de temperatura al interior de la Ciénaga de Portonaito

Según los perfiles tomados, se observa que la temperatura (figura 17) tiene una variación muy marcada espacialmente, como se muestra en la estación en el punto P4, a diferencia de la estación del punto P1, donde prácticamente se mantiene constante, esto se explica por la ubicación, ya que el punto P4 es más susceptible a las variaciones del ciclo diario por encontrarse en el área más interna de la ciénaga y además tiene poca profundidad, al igual que para las estaciones de los puntos P2 y P3 que están en la parte interna.

Además, se ven afectados por otros factores como temperatura exterior, evaporación, etc. que los hacen más inestables y presentan mayores variaciones en sus gradientes de temperatura. Adicionalmente presentan variación en el tiempo, de acuerdo con el ciclo diario, con mayores valores de temperatura para la madrugada (transectos 5 y 6) y menores que para los valores en la noche (transectos 2 y 4).

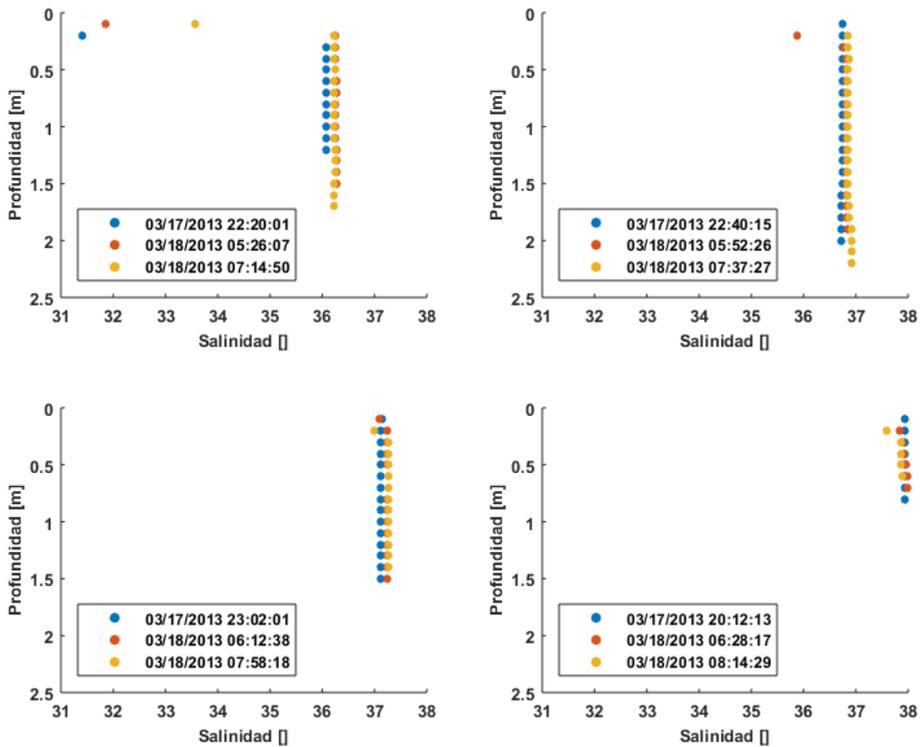


Figura 16. Perfiles de salinidad en la ciénaga de Portonaito, a. perfil 1, b. perfil 2, c. perfil 3, d. perfil 4.

Fuente: elaboración propia.

Comparativos de corrientes vs. temperatura y salinidad a 0,5 m de profundidad

Para tener una visión espacial completa de la dinámica de la ciénaga, se realiza una revisión conjunta de corriente, temperatura y salinidad en los diferentes transectos a una sola profundidad estándar común a los cuatro puntos (0,5 m), como se observa en la figura 18.

La información que se presenta en la figura 18 es importante para lograr relacionar las corrientes con la fluctuación de la marea, específicamente esto es posible verlo en el transecto 2, donde las direcciones de la corriente en las cuatro estaciones encajan con la marea bajando (figura 15), mientras que en los demás transectos no es tan claro el patrón. Se debe tener en cuenta que la marea no es el único forzante de la hidrodinámica y las variaciones se pueden deber a cambios de la densidad por las fluctuaciones de salinidad y temperatura.

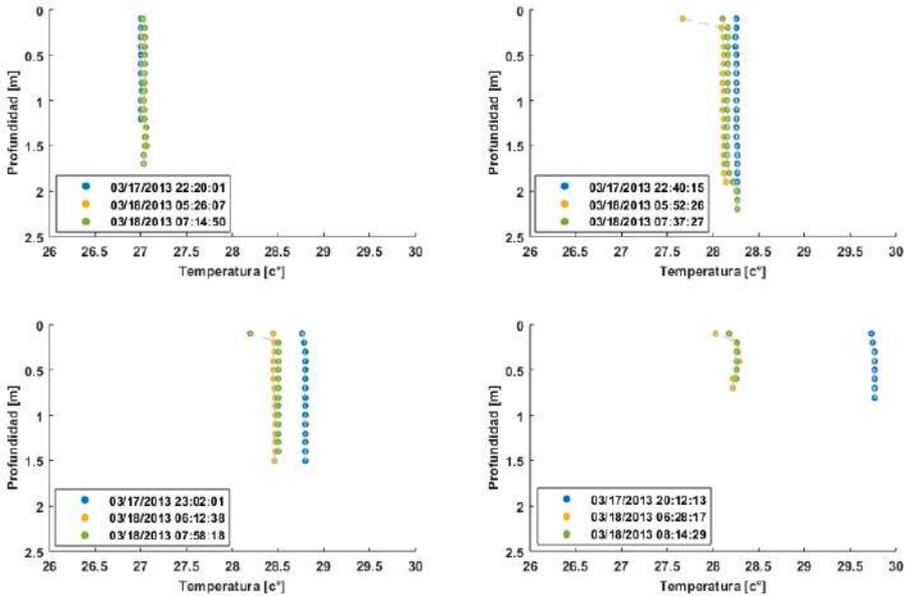


Figura 17. Perfiles de temperatura en la ciénaga de Portonaito, a. perfil 1, b. perfil 2, c. perfil 3, d. perfil 4.

Fuente: elaboración propia.

Al contrastar los datos de corrientes vs. los datos de salinidad y temperatura se evidencia que en el transecto 1 para la estación en el punto 3 al punto 2 se desplazan las corrientes más cálidas y salinas (29,6 °C - 36,6 PSU), hacia las menos cálidas y salinas (28,6 °C - 36,0 PSU); en el transecto 2 de la estación del punto 4 al punto 3 y de este al punto 2 se desplazan las corrientes más cálidas y salinas (29,7 °C - 37,9 PSU), pasando por (29,2 °C - 37 PSU) hacia las menos cálidas y salinas (28,6 °C - 36,7 PSU).

A diferencia del transecto 6 del punto 2 al punto 3, y de este al punto 4, donde se desplazan las corrientes menos cálidas y salinas (28,2 °C - 36,8 PSU), pasando por las más cálidas (28,5 °C - 37,2 PSU) hasta llegar a las más salinas (28,3 °C - 37,9 PSU).

A continuación se resume en la tabla general (tabla VII) la información de los cuatro puntos de muestreo durante los seis transectos a 0,5 metros de profundidad. Con el fin de determinar en cada uno de los puntos sus cambios en corrientes, temperatura y salinidad.

Para el transecto 1, la temperatura fue máxima para tres de las cuatro estaciones, esto probablemente por las altas temperaturas correspondientes a las 1600 R. La estación con mayor temperatura para esta hora fue la estación en el punto 3 con 29,6 °C y mínima en la estación en el punto 4 con 27,2 °C.

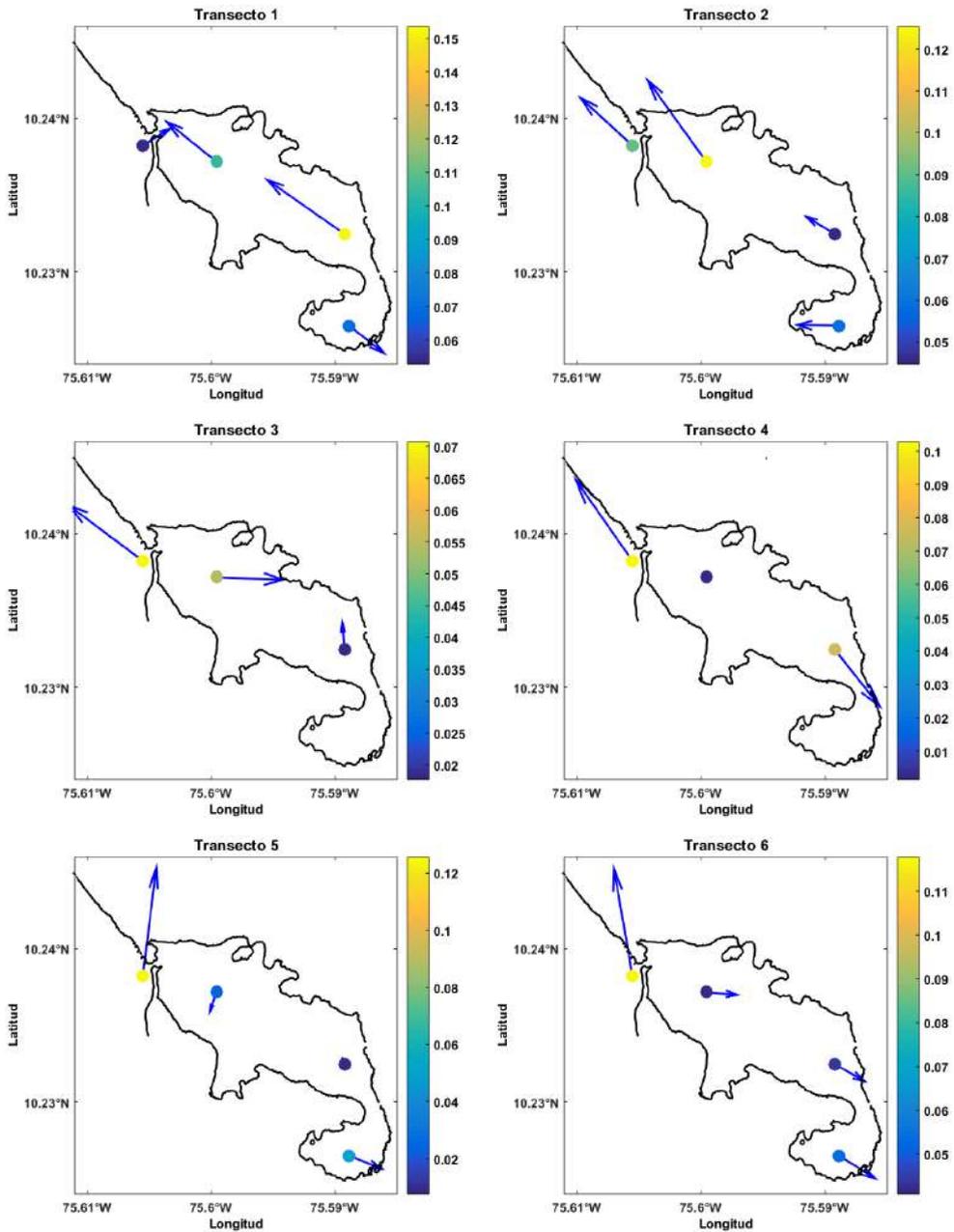


Figura 18. Comparativo de corrientes, salinidad y temperatura a 0,5 metros de profundidad en la ciénaga de Portonaito

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Datos CTD y ACM de los cuatro puntos de muestreo

Transectos	Temperatura	Salinidad	Vel. norte	Vel. este
1	27,8 °C	35,5 PSU	0,024 m/s	0,048 m/s
2	-----	-----	0,054 m/s	-0,073 m/s
3	27,1 °C	36,1 PSU	0,036 m/s	-0,060 m/s
4	26,9 °C	36,0 PSU	0,078 m/s	-0,066 m/s
5	27,1 °C	36,3 PSU	0,125 m/s	0,020 m/s
6	27,0 °C	36,2 PSU	0,115 m/s	-0,025 m/s

Transectos	Temperatura	Salinidad	Vel. norte	Vel. este
1	28,6 °C	36,0 PSU	0,056 m/s	-0,086 m/s
2	28,6 °C	36,7 PSU	0,093 m/s	-0,083 m/s
3	28,0 °C	36,8 PSU	-0,002 m/s	0,055 m/s
4	28,3 °C	36,7 PSU	0,000 m/s	0,000 m/s
5	28,1 °C	36,8 PSU	-0,022 m/s	-0,010 m/s
6	28,2 °C	36,8 PSU	-0,003 m/s	0,042 m/s

Transectos	Temperatura	Salinidad	Vel. norte	Vel. este
1	29,6 °C	36,6 PSU	0,075 m/s	-0,133 m/s
2	29,2 °C	37,0 PSU	0,020 m/s	-0,040 m/s
3	29,1 °C	37,2 PSU	0,018 m/s	-0,002 m/s
4	28,8 °C	37,1 PSU	-0,055 m/s	0,055 m/s
5	28,5 °C	37,2 PSU	0,006 m/s	-0,003 m/s
6	28,5 °C	37,2 PSU	-0,018 m/s	0,040 m/s

Transectos	Temperatura	Salinidad	Vel. norte	Vel. este
1	27,2 °C	35,8 PSU	-0,038 m/s	0,060 m/s
2	29,7 °C	37,9 PSU	0,000 m/s	-0,060 m/s
3	-----	-----	-----	-----
4	-----	-----	-----	-----
5	28,3 °C	38,0 PSU	-0,015 m/s	0,047 m/s
6	28,3 °C	37,9 PSU	-0,025 m/s	0,048 m/s

Fuente: elaboración propia.

La salinidad máxima se registró en el transecto 5 para las cuatro estaciones, probablemente debido a la influencia de la no renovación de las aguas dada la cercanía de la hora en el estado la pleamar (punto máximo nivel de marea con ocho horas de llenado), es de-

cir que la marea no había permitido la renovación de una parte de esas aguas a diferencia del transecto 1, donde horas antes la marea baja renovando las aguas y disminuyendo así la salinidad.

Las estaciones que están en la parte más interna de la ciénaga registran especialmente una mayor salinidad.

Conclusiones

La ciénaga de Portonaito es una laguna costera de características estuarinas (estuario de tipo inverso) donde no se encontró evidencia de afluencia de agua dulce. No obstante, existe una relación de las condiciones meteorológicas y oceanográficas sobre los procesos hidrodinámicos en la ciénaga en el tiempo de muestreo, como se comenta a continuación:

Las corrientes longitudinales y transversales calculadas a las afueras de la boca de la ciénaga con *ADCP* indican que las corrientes máximas obtenidas de la componente transversal son mayores que la longitudinal. Asimismo, para el desplazamiento neto partícula se observa claramente que el viento afectó en mayor medida a las corrientes longitudinales más someras y la marea afectó en mayor proporción a las corrientes transversales más profundas. Además, las corrientes del fondo son de menor magnitud en comparación con las más superficiales que tienen mayor magnitud.

Del resultado del análisis del desplazamiento neto de las corrientes longitudinales y transversales se infiere que las corrientes transversales influyen más (movimiento oscilatorio, bidireccional entre playa Decamerón y playa Puntilla) que las longitudinales (unidireccional, reflujo). Con base en lo anterior se puede afirmar que la incidencia geográfica de la dirección de la boca (ángulo de 25° respecto al N) sobre las corrientes favorece a las corrientes transversales durante el periodo de muestreo.

Según la información granulométrica, la boca de la ciénaga de Portonaito tiene una mayor energía cinética debido al oleaje y al flujo continuo de agua, esto dado que el mayor tamaño de grano fue encontrado en esa área, y una menor energía cinética en la parte más interna (granos más finos), siendo estas aguas más calmadas.

La dinámica de la ciénaga también está afectada por las variaciones de salinidad, la influencia mareal y el gradiente de profundidad, dado que esos tres procesos están asociados y de los cuales se puede concluir:

- El tiempo de residencia calculado es de aproximadamente ocho días, lo cual caracteriza a la ciénaga de Portonaito como un estuario con un intercambio moderado de sus aguas con el mar.
- La variación máxima de salinidad corresponde al estado de pleamar (transecto 5), don-

de la marea (observación de la variación del nivel del mar) no había permitido la renovación de parte de esas aguas internas, siendo la salinidad dentro de la ciénaga mayor que en la boca.

- El menor valor de salinidad se encontró en el transecto 1, en comparación con los otros cinco. Esto obedeció principalmente a la poca cantidad de volumen de agua ingresada al momento de la medición.
- Los gradientes de temperatura en el perfil son mayores en la parte más interna, comparándolos proporcionalmente a los otros tres puntos. Lo anterior, al parecer es debido a un posible efecto dominante del mar en conservar sus características (siendo más notable en la boca y menos notable en la parte más interna).

Respecto a las diferencias de salinidad encontradas en los transectos 1 y 5, se puede deducir que existe una relación de dependencia entre la salinidad y la marea (visualizada en el análisis de la variación del nivel del mar y los datos de salinidad obtenidos).

Al comparar dos cuerpos de agua, la bahía de Cartagena y la ciénaga de Portonaito, que difieren en profundidad, volumen y sección transversal pero que son afectados por la misma marea y tienen similares condiciones atmosféricas, el rango de la marea en la ciénaga fue de 0,28 m, mientras que para la bahía fue de 0,24 m. No obstante, el periodo dominante de marea fue muy similar en ambos casos, hecho que indica que independiente de la forma, la profundidad y el área de sección transversal, ambas están afectadas por las mismas condiciones de marea, siendo mínima la diferencia en el rango (0,04 m).

En referencia a la presión atmosférica, se observó una evolución de la serie de manera periódica cada 12 horas, lo que corresponde a la variación semidiurna de la presión.

Referencias

- [Amizc y CIOH, 2012] Amizc y CIOH. (2012). *Metodología análisis LA-300*. Cartagena: Dimar CIOH. ↑Ver página 32, 39
- [Angulo, 2006] Angulo, N. (2006). *Hidrodinámica de la Bahía de San Quintín, Baja California* (tesis doctoral). Universidad Autónoma de Baja California, México ↑Ver página 33
- [Eslava, 1991] Eslava, J. (1991). Variación temporal de la presión atmosférica en Bogotá. *Academic Science Colombia*, 18(69), 175-181. ↑Ver página 42
- [Folk y Ward, 1957] Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957). A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D> ↑Ver página 39

- [Losada, Medina, Losada y Vidal, 1995] Losada, I., Medina, R., Losada, M. y Vidal, C. (1995). Modelos hidrodinámicos y de transporte de sedimentos. *Ingeniería del agua*, 2(1). <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2667> ↑Ver página 32
- [Marinone y Lavín, 1997] Marinone, S. y Lavín, M. (1997). *Contribuciones a la oceanografía física en México*. México: Unión Geofísica Mexicana. ↑Ver página 50
- [Mie, 1908] Mie, G. (1908). *Ann. Physik.* (IV) 25, 25. ↑Ver página 39
- [Miller, 1977] Miller, M.C. (1977) The Threshold of Sediment Motion under Unidirectional Fluid Flow. Ph.D. Dissertation, Oregon State Univ., in prep. ↑Ver página 39
- [Molares, 2004] Molares, R. (2004). Clasificación e identificación de los componentes de marea del Caribe Colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 22, 105-114. <https://doi.org/10.26640/22159045.132> ↑Ver página 44
- [Molares, 2011] Molares, R. (2011). *La influencia de la descarga del canal del Dique en el nivel del mar de la Bahía de Cartagena-Colombia* (tesis doctoral). Delft University of Technology, Países Bajos. ↑Ver página 44, 45
- [Montoya, 2011] Montoya, R. (2011). Mediciones de Corrientes. *Instrumentación Oceanográfica*, 55. ↑Ver página 35
- [Parish y Putman, 1977] Parish, O., Putman, T., (1977). Equations for the determination of humidity from dewpoint and psychrometric data. Dryden flight research center. Nasa Technical note D-8401. Washington, D. C. ↑Ver página 40
- [Pulido, De lisa, Viteri y Guzmán, 2013] Pulido, D., De lisa, A., Viteri, D. y Guzmán, R. (2013). Determinación de los datum de referencia vertical con fines hidrográficos para la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*, 31, 175-190. <https://doi.org/10.26640/22159045.258> ↑Ver página 34
- [Ramos y Guerrero, 2010] Ramos, A. y Guerrero, D. (2010). *El Suelo Costero. Propuesta para su reconocimiento*. Bogotá, D.C.: Instituto de Estudios del Ministerio Público, Procuraduría General de la Nación, Fundación Mar Viva. ↑Ver página 31
- [Spalletti, 2007] Spalletti, L. (2007). *Textura de las rocas sedimentarias Clásticas*. UNLP: Facultad de ciencias naturales y museo. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14247915/textura-de-rocas-clasticas-facultad-de-ciencias-naturales-y-museo> ↑Ver página 48

- [Tomczak, 2002] Tomczak, M. (2002). *Una introducción a la oceanografía física*. Recuperado de <https://incois.gov.in/Tutor/IntroOc/notes/contenido.html>
↑Ver página 52
- [Trasviña, Aburto, Ezcurra y Zaytsev, 2012] Trasviña, A., Aburto, O., Ezcurra, E., y Zaytsev, O. (2012). Observaciones de corrientes en el Parque Nacional de Cabo Pulmo, Baja California Sur: mediciones eulerianas en verano, otoño e inicios del invierno. *GEOS*, 32(2), 323-341. ↑Ver página 50