ISSN 0798 - 0639

UNIVERSIDAD DE ORIENTE- CUMANÁ, VENEZUELA / VOLUMEN 59 / N° 2 - 2020



BOLETIN DEL INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE VENEZUELA

INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE

BOLETIN DEL INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE VENEZUELA

Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela 59 (2). 2020

CONTENIDO

Página

Quintero, A. & G. Terejova. Evaluación de olas y mareas en las épocas de sequía y lluvia en el valle submarino de Araya, Venezuela: III parte. 3

Brito, F., G. Martínez & A. Quintero. Comportamiento geoquímico del nitrógeno, fósforo y materia orgánica en sedimentos recientes de el morro de Puerto Santo, Venezuela. 19

Salazar, S.K., H. Salazar-Miranda, B. Gómez-Marval & C. Alfonsi-Rojas. El mataguaro *Crenicichla geayi* Pellegrin, 1903: a una década de su reporte en la cuenca hidrográfica del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. 34

Liscano, A., Fermin I. & Lemus M. Metales totales y biodisponibles en sedimentos superficiales de tres zonas del golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. 43

Quintero, A. & G. Terejova. Evaluación de Parámetros meteorológicos, corrientes y mareas (Abril - Junio 2019) en el archipiélago Los Roques, Venezuela. 58

EVALUACIÓN DE OLAS Y MAREAS EN LAS ÉPOCAS DE SEQUÍA Y LLUVIA EN EL VALLE SUBMARINO DE ARAYA, VENEZUELA: III PARTE

Quintero Antonio[1*] & Terejova Galina[2]

[1]*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Dpto. de Oceanografía, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. *autor de correspondencia: agqr2005@gmail.com*

[2]*Investigador Independiente sin filiación institucional. E-mail: galina_terejova@hotmail.com*

RESUMEN: A pesar de la importancia que representa las olas generadas por el viento (ondas de corto periodo) y las mareas (ondas de largo período) inducidas por factores astronómicos, sus mediciones son extremadamente escasas particularmente en el valle submarino de Araya. Para la evaluación del comportamiento de esos parámetros en la región se empleó información recabada en dos estaciones marinas. Se concluyó, que en la estación de sequía el promedio de la altura significativa de las olas está entre 14,9 y 15,42 cm, el promedio del periodo entre 4,86 s y 5,16 s y la dirección de las olas fue estable con preponderancia del NE y poca dispersión. En la temporada de lluvias los valores respectivamente fueron: 9,58 cm - 9,99 cm, 4,34 s - 5,00 s y la dirección bastante dispersa. La marea es mixta principalmente diurna con una amplitud de hasta 41 cm. La pleamar o "llenado" tiene lugar en las primeras horas de la tarde y la bajamar o "vaciado" en horas de la noche. Los constituyentes principales de armónicos son: tres de carácter diurno (K1, O1, Q1), tres de carácter semidiurno (M2, S2, N2) y la componente lunar mensual y lunisolar sinódica quincenal (Mm, Msf). Estos componentes contribuyen con el 78,32% de la amplitud de la marea. El presente trabajo junto con dos anteriores tratada de dar respuesta sobre comportamiento de los parámetros dinámicos atmosféricos (vientos) y marinos (corrientes, olas y mareas) en la región del valle submarino de Araya en el nororiente de Venezuela.

Palabras claves: Mar Caribe, nivel del mar, medición oceanográfica, datos oceanográficos.

ABSTRACT: Despite the importance of wind-generated waves (short-term waves) and tides (long-term waves) induced by astronomical factors, their measurements are extremely scarce particularly in the Araya underwater valley. Information collected at two marine stations was used to assess the behavior of these parameters in the region. It was concluded that in the drought season the average of the significant height of the waves is between 14.9 and 15.42 cm, the average period between 4.86 s and 5.16 s and the direction of the waves was stable with preponderance of the NE and little dispersion. In the rainy season the values respectively were: 9.58 cm - 9.99 cm, 4.34 s - 5.00 s and the direction quite dispersed. The tide is mainly daytime mixed with amplitude of up to 41 cm. The high tide or "filling" takes place in the early hours of the afternoon and the lowering or "emptying" in the hours of the night. The main constituents of harmonics are: three daytime (K1, O1, Q1), three semi-day (M2, S2, N2) and the monthly lunar component and fortnightly synodic lunisolar (Mm, Msf). These components contribute 78.32% of the tidal amplitude. This work together with two previous ones tries to respond to the behavior of atmospheric (wind) and marine dynamic parameters (currents, waves and tides) in the Araya underwater valley region in northeastern Venezuela.

Keywords: Caribbean Sea, sea level, oceanographic measurement, oceanographic data.

INTRODUCCIÓN

A pesar de ser las olas generadas por el viento y las mareas elementos importantes en los trabajos de ingeniería costera y en general para la economía del país, sus mediciones son extremadamente escasas. La ausencia de trabajos en publicaciones periódicas y mediciones instrumentales podría estar relacionada con la sensación de seguridad y protección que ofrece el arco antillano a las olas generadas sobre todo en la temporada de huracanes y la altura reducida que alcanzan las mareas.

El área del valle submarino de Araya está protegida de la incidencia de olas de largo periodo generadas fuera del mar Caribe y que penetran por los pasos de La Mona (NW) y Anegada (NNW), así como las generadas dentro del Caribe y procedentes del NE por la Isla de Margarita y el arco Morro de Chacopata– Coche - Cubagua. Una segunda serie de obstáculos lo conforma el arco: Cabo Codera, La Tortuga, Margarita, Los Testigos, Isla Sola, Los Frailes y Tobago. Un tercer cinturón lo conforman las llamadas Islas de Sotavento compuesto por Aruba, Curazao, Bonaire, Aves de Barlovento y Sotavento, Los Roques, La Orchila y La Blanquilla. El cuarto cinturón de islas conformado por las Antillas menores (Islas de Barlovento) y las Antillas Mayores, ofrece protección a la penetración de olas desde el Atlántico producto de los huracanes que tienen lugar en el periodo de verano – otoño de cada año (de 1 jun a 30 nov). Además, el arco

antillano entorpece el avance de las ondas de marea, con lo que su amplitud se ve mermada en relación con las mareas del océano Atlántico contiguo.

Cuando las tormentas tropicales o eventuales huracanes se desplazan dentro del mar Caribe, su incidencia en la región del valle submarino es mayor. Así, pobladores de la zona de Guayacán reportan, que en ocasiones las marejadas penetran con dirección W – WNW y provocan inundaciones y "lavan la playa y el fondo" (C. Salazar & G. Saldado, *com. pers*. 15/09/2009). Otras zonas de la costa como norte de la isla de Margarita y la península de Paraguaná se ven afectadas en mayor medida debido a la falta de protección natural a la acción de las olas.

Observaciones realizadas en el área de Carúpano, muestran que las olas significativas generadas localmente tienen dirección NNW – NE con alturas de 1,0 – 1,5 m. La propagación de estas olas en la región del valle submarino es interferida, como se dijo anteriormente por el arco Morro de Chacopata – Coche – Cubagua. Es de esperarse, que las olas generadas en el área del valle submarino de Araya mismo, por tener el viento un espacio limitado de acción para su desarrollo (OMM 1998), tengan una altura inferior a las detectadas fuera de la zona, por ejemplo, en la región de Carúpano.

El fenómeno de las mareas en Venezuela es uno de los parámetros que cuenta con cierta sistematización en su observación (oceanografía operacional) y en la región nororiental del país se localizan al menos tres de los siete mareógrafos oficiales, instalados en el país, dependientes del Instituto Geográfico Simón Bolívar.

Se tiene, que en el occidente del país predominan los componentes diurnos de la marea, hacia el este la importancia de los componentes semidiurnos aumenta hasta hacerse predominantes (Ávila *et al*. 1980). Estimaciones realizadas en una localidad cerca de Carúpano (Kjerfve 1981) mostraron el carácter mixto semidiurno de la marea, caracterizado por una desigualdad en las alturas sucesivas de las mareas, presentando alternadamente ciclos de grandes y de pequeñas amplitudes y fluctuar de diurna a semidiurna a lo largo del mes lunar.

Por tanto, debido a la escasa información sobre olas y mareas en la región nororiental del país, el presente trabajo evaluó el comportamiento de las ondas de corto periodo (olas) inducidas por el viento y largo período (mareas) inducidas por factores astronómicos (Fig. 1), a través de la descripción de la evolución estacional de los parámetros de las olas, así como la oscilación del nivel medio del mar en el área del valle submarino de Araya.

METODOLOGÍA

La información seleccionada para lograr el objetivo propuesto comprende parte de los períodos climáticos de la zona (Terejova *et al*. 1998). La estación de sequía, correspondiente a los meses de enero a abril, que coincide con la surgencia regional observada en las costas venezolanas (Quintero & Lodeiros 1996) y la estación lluviosa que ocupa los meses que van de mayo a diciembre.

La información total recabada fue filtrada y se excluyeron los datos fuera del conjunto o fuera de orden

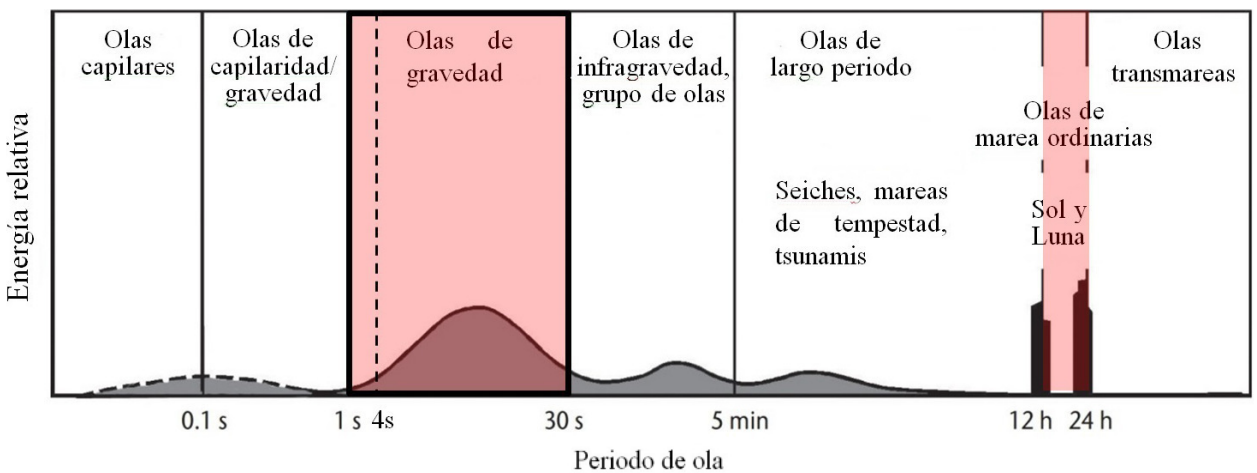


Fig. 1. Clasificación de las olas oceánicas por el periodo de la ola. Obtenido de OMM 1998

para el fenómeno observado. También se excluyeron los datos fuera de orden para la región y se corrigió la dirección con la declinación magnética (Quintero & Terejova 2016). Una vez verificada la calidad de los datos, estos fueron tabulados. Para el análisis de la información recabada se empleó el "Método Descriptivo", consistente en la adquisición de datos objetivos, precisos y sistemáticos que pueden usarse en la "Estadística Descriptiva".

Además, con la información obtenida se estimaron los componentes de la marea allende a la localidad de Taguapire según la metodología propuesta por Pawlowicz *et al.* 2002 (***t_tide***), basada en los trabajos de Godin (1972) y Foreman (1977, 1978) y los criterios de Courtier (Bracho-Magdaleno & DHN 1988) y Duvanin (Vorobev & Smirnov 1999, Malikov 2010). En nuestro caso la serie de tiempo de la oscilación del nivel del mar fue de más de 41 días de observación correspondiente al periodo del 20/02/2011, 0900 h al 02/04/2011, 1100 h.

Mediciones Realizadas

La información de los parámetros marinos: olas (altura significativa, período y dirección) y mareas (oscilación del nivel medio del mar) se obtuvieron a través de dos (2) correntómetros basados en el efecto doppler "ADP" de la firma SonTek de 1500 kHz, instalados en la Est. P_{01} situada frente a la población de Taguapire, 10°38´39" Lat. N 64°00´47" Long. W y en la Est. P_{02} localizada cerca de Morros de La Peña, 10°39´22" Lat. N 64°03´50" Long. W (Fig. 2).

En ambos casos los equipos estaban a profundidades de 13 m, alojados dentro de una caja metálica de protección. Las mediciones con frecuencia horaria se realizaron en las épocas de sequía (21/02/2011 – 31/03/2011) y lluvias (01/08/2011 – 30/09/2011).

Para la instalación de los equipos ADP, recolección de la información y reinstalación se empleó buceo autónomo. La localización de los equipos en las profundidades se realizó con ayuda de un localizador acústico "Sonotronic", fundamental en estas aguas por cuanto la visibilidad en la profundidad de 13 m no superó el metro lineal. Además, para evitar el vandalismo o pérdida casual de los equipos por el trabajo intenso de la pesquería artesanal, se diseñó un mecanismo de protección consistente en un sistema de boyas con ganchos adosados.

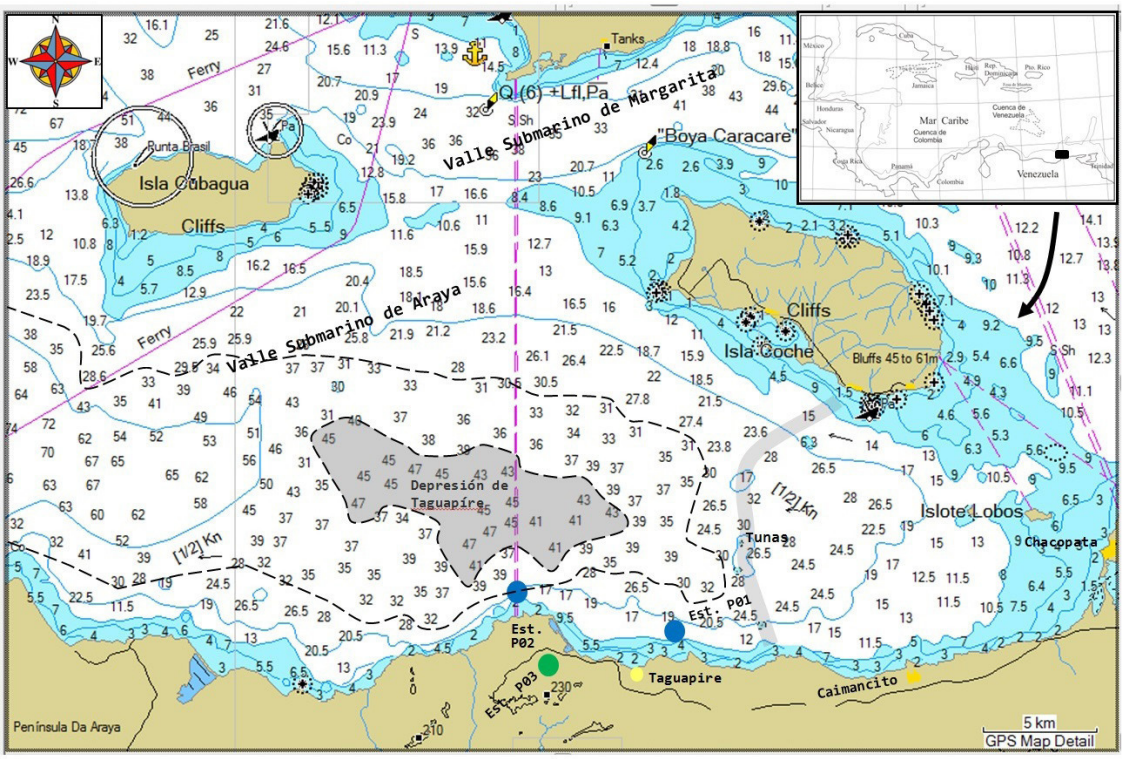


Fig. 2. Batimetría del valle submarino de Araya y ubicación de las estaciones de medición marinas ( ) y terrestre ( ). Obtenido de Quintero & Terejova 2016.

Cabe destacar, que el equipo ADP no detectaba períodos de ola por debajo de 3,9 - 4,0 s, aunque claro está, ellas si existen en la gama del espectro de olas presentes en el valle submarino de Araya.

En la Est. P_{03} (10º 38' 02,8" Lat. N, 64º 02' 57,7" Long. W, 35 msnm) situada frente a Pta. La Playa, fue instalada una estación meteorológica automática (EMA) Campbell modelo CR 1000. La información meteorológica recabada para el presente trabajo correspondió a los periodos de sequía (feb – mar 2011) y lluvias (ago – sep 2011) y consistió en observaciones horarias de la velocidad y dirección del viento (Quintero & Terejova 2016).

En la Est. P_{01} se realizaron observaciones puntuales del oleaje durante tres días (18/08/2011 – 20/08/2011), en horas de la mañana y la tarde por períodos de 18 minutos. Las observaciones se hicieron con ayuda de una regla de mareas preparada para el caso e instalada en el sitio de la estación (Fig. 3). Así mismo se grabó el proceso de oscilación de la superficie (olas) con una cámara filmadora Sony situada sobre la regla misma.

A la par de las mediciones y observaciones realizadas en las estaciones señaladas, también se emplearon imágenes del satélite GOES (NOAA 2013a) y productos del programa Reanálysis NCEP/NCAR (NOAA 2013b).

La Información batimétrica necesaria para la instalación de los equipos marinos, se obtuvo a través de las cartas marinas generadas por la Armada de Venezuela y compiladas en el programa "Blue Chart" de GARMIN (Garmin 2007). De igual manera, se empleó una ecosonda portátil Valeport modelo Midas Surveyor de 210 kHz y un localizador GPS Magellan modelo Map 330 para el posicionamiento de las estaciones.

Altura Significativa de las Olas

Para describir correctamente el estado del mar, las condiciones deberán ser estadísticamente estacionarias durante el período de muestreo con un equipo de registro continuo como el ADP-1500 de SonTeck. De allí la importancia de la elección óptima de la duración de los registros. En la práctica, los campos de olas suelen evolucionar y para reducir la dispersión estadística, el registro de olas debe contener el mayor número de estas en torno a la línea media. El período óptimo durante el cual se acostumbra medir las olas es de 15 - 35 minutos, tiempo que se adapta razonablemente a ambas condiciones (OMM, 1998). En las estaciones de estudio, la cadencia de muestreo fue de 1 muestra por segundo (1Hz) y el período de observación cada hora fue de 1024 segundos, es decir, 17,07 minutos. En este periodo se registraron altura y período de las olas, así como la dirección de su procedencia.

Es necesario tener en cuanta, que la altura de las olas registrada por los equipos ADP, se refiere a "La Altura Significativa de las Olas" y se denota frecuentemente como "Hs". Esta es una medida estadística, empleada comúnmente para indicar aproximadamente la altura media de las olas determinada por un observador entrenado. Debe tenerse en cuenta que la máxima altura de una ola individual será mayor a la altura significativa (Hs).

La altura máxima de las olas correspondientes a una secuencia de N olas de las que conocemos Hs (OMM 1998) se calcula de manera conservadora por la siguiente ecuación:

$$H_{max} = Hs\ 0{,}5\ ln\sqrt{1{,}45\ N} \quad (1)$$



Fig. 3. Observación puntual del oleaje en la Est. P_{01} de la región de Taguapire.

Otras fórmulas que se pueden emplear son:

$$H_{max} = H_s\sqrt{0{,}5 \ln N} \qquad (2);$$

$$H_s = 2{,}0\, H_s \cong 1{,}9\, H_{mo} \qquad (3);$$

$$H_m = 1{,}05\, H_s \qquad (4)$$

Componentes armónicos de las Mareas

Las componentes en el análisis armónico de la marea, supone que la forma de la curva de la oscilación del nivel del mar es igual a la suma de una serie de componentes armónicos de determinado periodo, relacionados con los movimientos de la Luna, la Tierra y el Sol. Es decir, las variaciones de nivel del mar pueden ser descritas en función de un número finito de curvas (contribuciones armónicas) de la forma:

$$Z_0 + \sum_{k=1}^{n} A_k \cos(\sigma_k t - a_k) \qquad (5)$$

Dónde: Z_0 es el nivel medio del mar; σ_k - Frecuencia angular del armónico k. Estas frecuencias no tienen valores aleatorios, sino que vienen determinadas por los ciclos de las fuerzas astronómicas que dan origen a las mareas; n - Número de componentes armónicos significantes o resolubles; A_k, a_k - Amplitud y desfase de la componente k en el punto geográfico considerado, a determinar en al análisis armónico.

Los armónicos se dividen principalmente en diurnos y semidiurnos. Los principales componentes semidiurnos, son M2 y S2 y los principales componentes diurnos son K1 y O1. La importancia relativa de los constituyentes diurnos y semidiurnos se expresa por el *factor de forma "F"*, cociente entre la suma de las amplitudes de los armónicos principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estado del Mar (oleaje)

Condiciones Generales del Área

Antes de pasar a las observaciones y análisis del oleaje registrado en las dos estaciones de observación marina en el valle submarino de Araya, consideraremos una visión "sinóptica" de sus parámetros. Así, los valores tanto de la altura significativa como del período, en la región al sur de la isla de Margarita son realmente bajos, en comparación con las demás zonas del mar Caribe y zona atlántica adyacente (Fig. 4). La altura significativa es inferior a 0,5 m y el período de alrededor de 4 s. En todos los casos se logra ver valores disminuidos para los sitios relativamente someros y cercanos a las costas continentales, así como del lado de sotavento por el efecto de barrera que ofrecen las Antillas Mayores y Menores.

La dirección de las olas en el mar Caribe durante el período de observación osciló entre el NE y el E. Este oleaje se relaciona con la circulación atmosférica obedeciendo la interacción del anticiclón de las Azores y la Convergencia Intertropical. La altura significativa no sobrepaso 1 m en las zonas adyacentes a las costas. Los mayores oleajes se sitúan hacia el centro del mar, en dirección NE – SW y E - W.

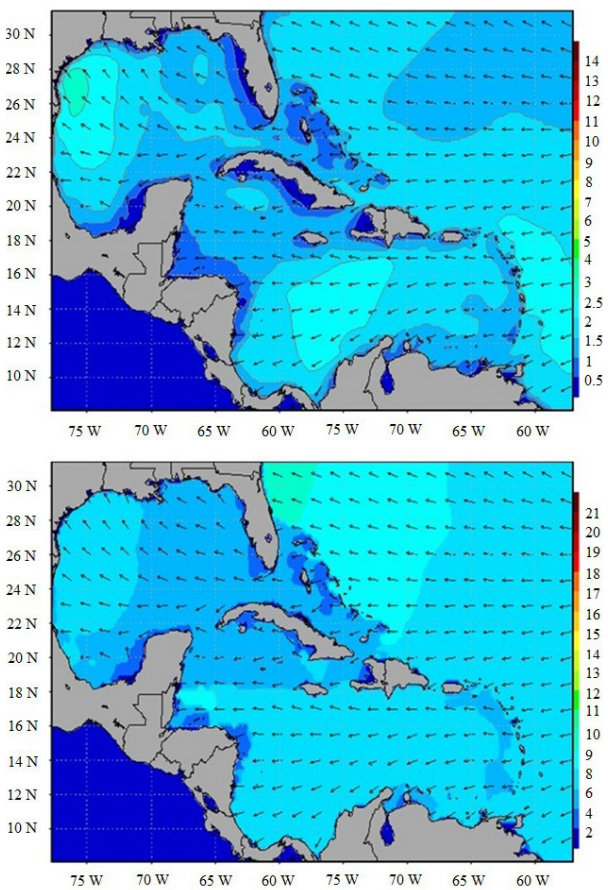


Fig. 4. Altura significativa "Hs" y período "t" de las olas para el 21/II/2011 en la región del Caribe. Obtenido de NOAA 2013b.

Condiciones Puntuales del sitio

Altura Significativa de las olas

El comportamiento del oleaje en la zona del valle submarino de Araya se caracteriza por la altura significativa "Hs" y período de las olas "t", así como la dirección (procedencia, de donde "vienen" las olas).

Para la estación de sequía, cuando se intensifican los vientos alisios, en la Est. P_{01}, el promedio de la altura significativa de las olas fue 15,42 cm. Sobre este promedio destacaron valores por encima a finales de los meses de febrero y marzo.

La altura máxima alcanzada por las olas "H_{max}", se consideró el doble de la altura significativa Hs calculada por la fórmula (3). En nuestro caso, para finales del mes de febrero sobresalieron dos máximos de altura significativa: el 24/02/2011 con 35,1cm (H_{max}=70,2 cm) y el 27/02/2011 con 37,5 cm (H_{max}=75,0 cm). Finalizando el mes de marzo se registró un nuevo aumento del oleaje y el 30/03/2011 alcanzó un pico de 33,6 cm (H_{msx}=67,2 cm). En el resto del período los picos no superaron los 30 cm, es decir, no se registraron olas mayores a 60 cm de altura máxima (1). En la Est. P_{02} la altura significativa promedio fue de 14,9 cm y presentó una estructura similar a la descrita para la Est. P_{01}: mayor oleaje a finales de los meses de febrero y marzo, con un intervalo de calma del mar que ocupó prácticamente las tres primeras semanas de marzo y en el que las olas no superaron los 32 cm.

Los picos de oleaje se registraron los días 24/02/2011 con 32,3 cm (H_{max}=64,6 cm) y el 27/03/2011 con 37,0 cm (H_{max}=74,0 cm). Para finales de marzo después de un prolongado período de calma

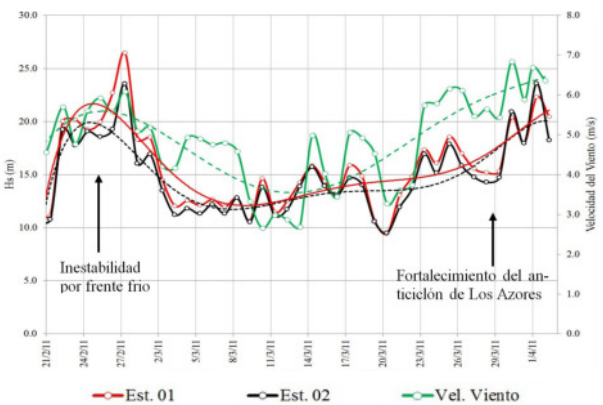


Fig. 5. Variación de la altura significativa "Hs" de las olas y la velocidad del viento en la estación de sequía.

del mar se observaron dos periodos de turbulencia: el 25/03/2011 cuando la altura significativa alcanza 33,4 cm (H_{max}=66,8 cm) y el 30/03/2011 con el valor máximo registrado para el periodo de 39,9 cm de altura significativa (H_{max}=79,8 cm).

Al comparar las series de ambas estaciones es indudable su similitud en la forma y tiempo de registro de los máximos oleajes, lo que nos lleva a pensar igualmente en la similitud de los campos que provocan el oleaje en la zona (Fig. 5). Recordemos, que a finales del mes de febrero se formó una inestabilidad atmosférica causada por los restos de un frente frío en el mar Caribe y una vaguada en la tropósfera alineados ambos con las costas de Venezuela y la región nororiental en particular. Mientras que finalizando el mes de marzo se fortaleció el anticiclón de los Azores y los alisios fueron persistentes y fuertes.

En la estación lluviosa la altura significativa disminuyó, relacionada indudablemente con la disminución de la velocidad del viento para esta época. Así, en la Est. P_{01} el promedio de la altura significativa bajó a 9,99 cm, mientras que en la Est. P_{02} disminuyó a 9,58 cm.

Los registros horarios en la Est. P_{01} mostraron un comportamiento alterado, pero agrupados en altibajos sucesivos, dentro de los cuales destacó el mes de septiembre, conformado este por dos "crestas", las mayores alturas significativas registradas y que correspondieron a olas de más de medio metro de altura máxima. La primera hacia el 15/09/2011 (38,2 cm) y el 23/09/2011 (26,7 cm). Los valores bajos de "valles" pronunciados se registraron el 02/09/2011 (5,8 cm), el 13/09/2011 (5,0 cm) y el 29/09/2011 (4,0 cm). Esos días, la apariencia de la superficie del mar era la de "un plato" y se concluye que fueron de calma generalizada en todo el área del valle submarino de Araya. La mayor altura significativa en la Est. P_{02} se registró el 23/08/11 con un valor de 49,1 cm (H_{max}=98,2 cm). En esta estación al igual que en la Est. P_{01} se sucedieron grupos de días con mayor y menor oleaje. En los días de oleaje reducido destacó el período del 27/09/2011 al 30/09/2011.

El coeficiente de correlación entre los valores diarios de la altura significativa en la Est. P_{01} y la velocidad del viento fue igual a $r_{vien–Est.01}$ = 0,64 y en la Est. P_{02} de $r_{vien–Est.02}$ = 0,55, mientras que la correlación de la altura significativa entre ambas estaciones resultó aún mayor $r_{Est.01-\ Est.02}$ = 0,87. Sin embargo, cuando se correlacionó

la velocidad del viento con la altura significativa de las olas que tuvo lugar tres horas después del accionar del primero (correlación asincrónica) en la Est. P_{01}, el coeficiente alcanzó el valor de $r_{vien\text{-}P01,\ t=3} = 0{,}91$ el día 23/09/2011. En la Est. P_{02} el coeficiente de correlación mostró el mayor valor el 22/09/2011 $r_{vien\text{-}P02,\ t=6} = 0{,}93$ en las siguientes seis horas después de actuar del viento.

En general, la acción del viento y la reacción de la superficie del mar pueden tener retardos hasta de seis horas. Esto apunta, a que la acción del viento y la reacción de la superficie del mar es mucho más compleja, que un simple mecanismo de "acción y reacción", por lo que es conveniente en el futuro considerar, además de la velocidad del viento, el intervalo de tiempo durante el cual actúa sin variaciones significativas en la velocidad (± 2,0 m/s) y la dirección (± 25°) del viento y el espacio de superficie de mar (en millas o kilómetros lineales) en la que actúa "*fetch"*(Egorov 1974; Bernot 2006). Igualmente es necesario tener en cuenta los procesos de reflexion y refraccion de las olas en esta región. En ocasiones el estado del mar en el valle submarino de Araya, parece mas inclemente de lo que es en realidad y da la sensación que las olas provienen de todos lados.

Para verificar la certeza de las mediciones realizadas, fue instalada una regla para medición de olas dotada con una filmadora adosada (Fig. 3). En la grabación correspondiente al día 19/08/2011 entre las 09:59 y 10:14 horas, se apreció que la amplitud de las olas no sobrepasó los 80 cm. Con este material se demostró plenamente que la naturaleza del oleaje de la zona del valle submarino de Araya corresponde a un mar de grado 3 en la escala de Douglas (SOHMA 2017), que comprende olas entre 0,2 m y 0,5 m, que se rompen formando frecuentes borreguillos.

Período de las olas

En la estación seca, el promedio del período (t) de las olas, en la Est. P_{01} fue de t = 5,16 s y el máximo se registró el 21/02/2011 a las 0400 h con un valor de 15,3 s. En la Est. P_{02} el periodo de la ola promedio fue t = 4,86 s y el máximo de 15,9 s se observó el 04/03/2011 a la misma hora (0400 h). En general, el comportamiento de este parámetro es similar en ambas estaciones, aunque en la Est. P_{02} ocurrió una mayor cantidad de "picos" con períodos relativamente mayores. Es necesario destacar y tal como se señaló anteriormente, los periodos inferiores a 4,0 s no se medían con los equipos empleados.

Hay ciertos registros que no se "ven" simultáneamente en ambas estaciones, por ejemplo, los máximos de periodo del 08/03/2011 de la Est. P_{01} no se "observaron" en la Est. P_{02}. Igualmente los picos del 23/02/2011 y del 04/03/2011 en la Est. P_{02} no se registraron en la Est. P_{01}.

Al comparar los máximos períodos del oleaje con las alturas no encontramos correspondencia, pues la correlación entre ambas series fue $r_{Hs,t} = 0{,}09$. Lo anterior podría ser indicativo de que, incluso las olas con períodos mayores se pueden formar en el valle submarino de Araya. Sin embargo, esta hipótesis debe ser sustentada. Se puede esperar, que olas con períodos largos y alturas superiores a los registrados necesariamente deben generarse fuera del área y tener dirección del oeste – noroeste (desde La Tortuga).

Para la época de lluvias en el valle submarino de Araya, encontramos una disminución del período del oleaje, relacionado indudablemente con la disminución en la velocidad de los vientos Alisios durante esta época del año. Así, en la Est. P_{01} el período de las olas fue de 5,00 s y en la Est. P_{02} de 4,34 s. El valor máximo del periodo en la Est. P_{01} fue igual a 13, 9 s y se registró el 03/09/2011 (1000 h) mientras que en la Est. P_{02} este resultó inferior (12,9 s) ocurrió el 04/09/2011 a las 0900 h. En los registros de la Est. P_{02} la cantidad de picos no fue tan pronunciada como en la Est. P_{01}, registrándose los mayores valores del período en los primeros días de septiembre.

La evaluación conjunta de la velocidad del viento y el periodo en la Est. P_{01}, empleando la media móvil de 24 horas para filtrar las oscilaciones de alta frecuencia mostró, que cuando las velocidades alcanzadas por el viento son relativamente considerables, los períodos disminuyen, y cuando la velocidad del viento disminuye, los períodos tienden a aumentar. El ejemplo más claro de esta afirmación tuvo lugar el día 22/08/2011.

Dirección de las olas

La dirección de las olas en la estación de sequía tuvo poca dispersión, así en la Est. P_{01} el 54,81% del total provinieron del NE, el 16,56% de los casos del ENE y 9,08% del NNE. Estas tres direcciones acapararon el 80,45% de los casos. Los restantes 13 rumbos concentraron sólo 19,55%. En la Est. P_{02} se registró un leve giro a la derecha y la mayor cantidad de oleaje tuvo dirección del ENE 48,08%, seguidos del NE con un 17,84% y del E con el 15,38% (81,30%). Aun cuando

la distribución del oleaje en las estaciones evaluadas fue similar, en la Est. P_{01} se mostró algo más dispersa.

En la estación lluviosa cuando aminoraron los vientos alisios, la dirección de procedencia de las olas fue bastante dispersa en comparación con la temporada seca. Así, en la Est. P_{01} las direcciones preponderantes sumaron el 47,93% de los casos, distribuidos de la siguiente manera: 20,30% del ENE, 14,30% del E y 13,33% del NE. En la Est. P_{02} la dispersión fue mayor y las direcciones principales (NE-ENE-E) sólo englobaron el 29,30% del total (NE=9,12%, ENE=13,20%, E=6,98%).

Variación diaria de las olas.

La variación diaria de la altura significativa de las olas "Hs", a pesar de tener altibajos, se pudo apreciar un máximo y un mínimo, un aumento continuo desde horas de la mañana hasta el final de la tarde y luego una disminución hasta primeras horas de la mañana del siguiente día. Así, en el período seco del año, en la Est. P_{01} (Fig. 6) la mayor altura promedia de 17,4 cm se registró a las 1900 h, mientras que en la Est. P_{02} esta fue de 16,7 cm observándose a la misma hora. La menor altura en la Est. P_{01} tuvo lugar cerca de las 1000 h de la mañana (14,3 cm) y en la Est. P_{02} a las 1100 h (14,1 cm).

El período de las olas en ambas estaciones alcanzó su mayor valor (5,5 s) en horas de la madrugada (0500 h) en la Est. P_{01} y a las 0400 h en la Est. P_{02}. Mientras los menores períodos de 4,7 s y 4,5 s en las estaciones P_{01} y P_{02} se registraron a las 2200 h y 2000 h respectivamente.

En la temporada de lluvias se mantuvo la misma estructura que para la estación seca. El valor más alto de

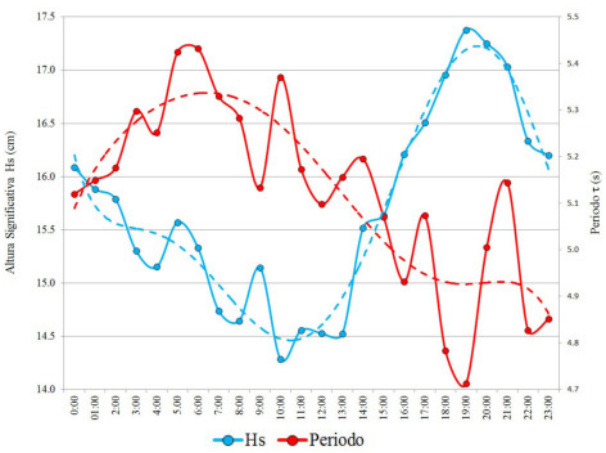


Fig. 6. Variación diaria en la Est. P01 de la altura máxima (arriba) período (abajo) en la estación de sequía.

la altura significativa en la Est. P_{01} fue de 11,29 cm y en la Est. P_{02} 11,19 cm registrados ambos valores a las 2100 h. Luego disminuyó sostenidamente hasta alcanzar 9,20 cm a las 1100 h en la Est. $_{P01}$ y 8,67 cm a las 0700 h de la mañana en la Est. P_{02}.

La distribución diaria del período de las olas tuvo un carácter más complicado que en la estación seca. A groso modo, el máximo periodo se registró a las 0800 h de la mañana en ambas estaciones siendo los valores 5,28 s (Est. P_{01}) y 4,65 s (Est. P_{02}), mientras que los menores valores de 4,80 s y 4,25 s se alcanzaron en horas de la noche (0000 h) y tarde (1800 h) en las estaciones P_{01} y P_{02} respectivamente.

Los mayores períodos estarían relacionados con una mayor tranquilidad de la superficie del agua (menor actividad del viento) y de una mayor penetración de ondas generadas fuera del valle submarino de Araya. Mientras que la disminución del período se relacionaría con una mayor generación de ondas dentro del valle submarino producto de la intensificación del viento y que por su número solaparon las ondas largas.

La variación de la dirección de las olas para el período de sequía tuvo la siguiente distribución: en la Est. P_{01} la mayor cantidad de olas provino del ENE (54,17%) y en mucho menor proporción del NE (19,66%), mientras que la dirección del E apenas representó un 6,84%. En la Est. P_{02}, predominaron las olas provenientes del ENE (35,68%) y del E (34,94%), seguidos por las del ESE (9,94%).

En relación a la variación diaria de la dirección del oleaje (Est. P_{01}) pudimos apreciar una ligera fluctuación en las direcciones del ENE (de 66,67% a las 0900 h a 48,72% a las 2100 h) y del NE (de 25,64% a las 1200 h a 12,82% a las 1800 h). La variación diaria en la Est. P_{01} estuvo caracterizada por la alternancia de las dos direcciones que prevalecieron en el trascurso del día. El mayor número de olas con dirección ENE (43,59%) se registró a las 0000 h y el menor valor de 30,77% a las 0900 h. Las olas provenientes del E registraron un mínimo a las 0000 h (28,21%) alcanzando un máximo a las 0900 h de la mañana (46,15%).

En la estación lluviosa, cuando disminuyó la intensidad de los alisios y estos perdieron algo de estabilidad, la dirección del oleaje no fue tan unidireccional como en la estación seca. Así, en la Est. P_{01} el 56,91% de las olas registradas provino desde

cuatro direcciones NE-ENE-E-ESE (NE=13,33%, ENE=20,30%, E=14,30% y ESE=8,98%). Dentro del porcentaje correspondiente a los restantes 12 rumbos, se destacaron sobre manera los del componente S y en menor medida del NW (Fig. 7).

En el trascurso del día, esas direcciones alcanzaron la mayor frecuencia de 65,00% en horas de la tarde (1500 h), mientras que el menor porcentaje de 45,01% se registró al mediodía.

En la Est. P_{02} se apreció la preponderancia de dos grupos de direcciones: NE-ENE-E con el 32,99% de la frecuencia total y WSW-SW-SSW con el 32,17%. Las restantes 10 direcciones representaron el otro tercio de la dispersión de la dirección de las olas (34,84%). Esta distribución bimodal en la dirección de las olas tuvo su origen en los procesos de refracción y reflexión, por el efecto de la costa que dista del sitio de observación escasos 775 m.

La variación diaria de la dirección del oleaje fue una alternancia de las direcciones del noreste y suroeste con las demás direcciones. Mientras que la mayor suma de las olas NE-ENE-E se registró en horas del mediodía (1200 h) y la menor a las 1500 h, la incidencia de olas con direcciones SSW-SW-WSW fue contraria, mayor a las 1500 h (42,62%) y menor en horas del mediodía (36,07%).

Oscilación del Nivel Medio del Mar

En la región del valle submarino de Araya, la oscilación del nivel medio del mar alcanzó las mayores alturas en la madrugada y en horas de la mañana, mientras que las menores se registraron entre la tarde y la noche. Durante todo el tiempo de observaciones la oscilación del nivel medio del mar no superó un metro. En contraste, en el golfo de Paria, las oscilaciones van desde 1,20 m en Macuro a 2,50 m en el engolfamiento de Turuépano y en algunos casos se habla hasta de 3,20 m (Fig. 8).

En el período de la estación seca, la oscilación del nivel del mar en la Est. P_{01} exhibió un carácter semidiurno mixto y el nivel medio del mar resultó igual a 12,826 m. La mayor marea, también llamada "viva" o de "sicigia" fue registrada el 23/03/2011 cuatro días después de la luna nueva (LunarPhase 2013) a las 0300 h de la mañana y alcanzó 13,106 m (+28,2 cm) sobre el nivel medio. Durante esos días hubo preponderancia de mareas diurnas, es decir, se observó una sola pleamar y un sólo bajamar. La menor altura del nivel medio o bajamar se registró durante el cuarto menguante el 26/03/2011 a las 1500 h y alcanzó 12,575 m (-25,1 cm). Este período se caracterizó por el predominio de las mareas semidiurnas.

En la Est. P_{02} ubicada aproximadamente a 6 km, la marea presentó el mismo carácter semidirno mixto y

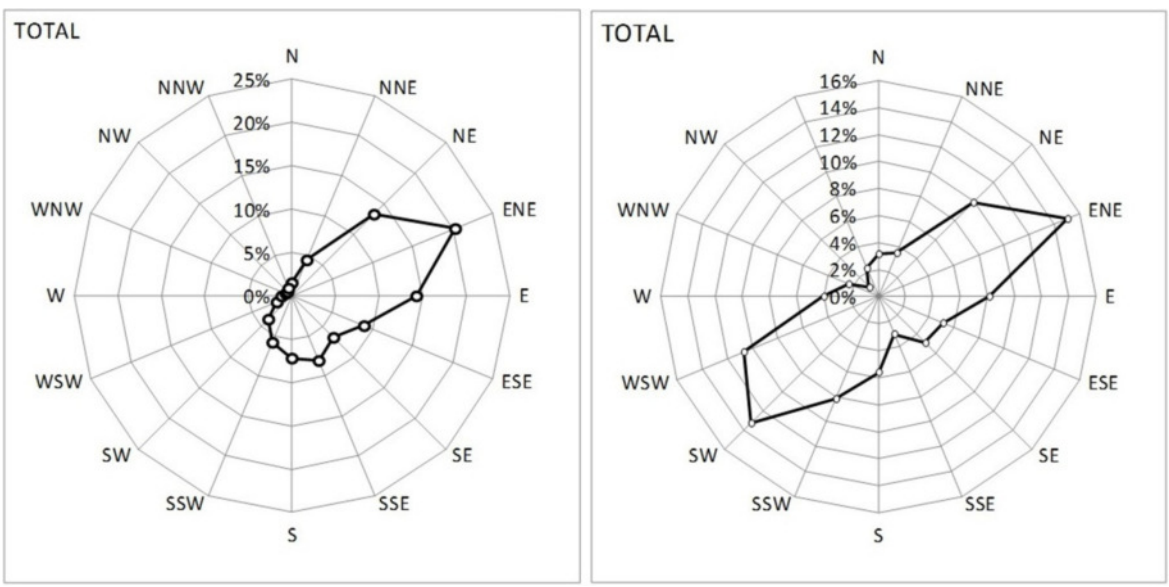


Fig. 7. Rosa del oleaje en laestación lluviosa en la Est. P_{01} y en la Est. P_{02}.

repitió las oscilaciones de la Est. P_{01}. El nivel medio del mar en este sitio de observación fue de 12,662 m (Fig. 9). La mayor marea observada se registró también el 23/03/2011 a las 0300 h y alcanzó 12,935 m, algo inferior (+27,3 cm) que en la Est. P_{01}. La marea más baja de 12,407 m (-25,5 cm) se observó en la misma fecha que la Est. P_{01}, el 26/03/2011 a las 1500 h de la tarde.

La amplitud de la marea de ambas estaciones mostraron valores cercanos: 53,6 cm en la Est. P_{01} y 52,8 cm en la Est. P_{02}. Esta oscilación no fue significativa, si la comparamos, como ya mencionamos anteriormente, con las mareas del golfo de Paria. En contraste con esas amplitudes, el día 07/03/2011 en la Est. P_{01} tuvo lugar una marea semidiurna con una amplitud de sólo 13,5 cm. En la pleamar la altura fue de +9,7 cm y la bajamar -3,8 cm. Mientras que en la Est. P_{02} para ese mismo día se registró la menor amplitud de 16,0 cm (+9,0 cm en pleamar y -7,0 cm en bajamar).

En la temporada de lluvias en el valle submarino de Araya, el nivel medio del mar en la Est. P_{01} resultó igual a 13,079 m. La mayor marea en el mes de agosto se registró el 25/08/2011, tres días después de la luna cuarto menguante, a las 2300 h con 13,440 m (+36,1 cm) y en septiembre el 30/09/2011, tres días después de luna nueva marcó 13,322m (+24,3 cm) a las 1600 h. Durante esos días hubo preponderancia de mareas diurnas. La menor altura en el mes de agosto se registró el 11/08/2011 a las 0700 h de la mañana con 12,825 m (-25,4 cm), cinco días después del cuarto creciente de luna, y en el mes de septiembre el nivel más bajo de 12,855 m (-22,4 cm) fue observado el 19/09/2011 a las 0600 h, siete días después de la luna llena.

La Est. P_{02} el nivel medio del mar resultó igual a 12,493 m. La mayor marea de agosto fue observada el 25/08/2011, tres días después del cuarto menguante de luna, a las 2300 h marcando +0,359 m. En septiembre la mayor marea (+27,3 cm) se registró el 30/09/2011, tres días después de luna nueva, a las 1600 h. La menor altura en el mes de agosto de 12,219 m (-27,8 cm) tuvo lugar el 09/08/2011, un día después del cuarto creciente, a las 0700 h de la mañana y en septiembre se registró el 06/09/2011 a las 0500 h 12,866 m (-18,2 cm), dos días después del cuarto creciente.

En la temporada de la estación lluviosa las mayores mareas se observaron en los períodos del tránsito de la luna nueva o llena y alcanzaron amplitudes de 61,5 cm en la Est. P_{01} y 63,7 cm en la Est. P_{02}. Las menores mareas se registraron en los períodos del paso de la luna por el cuarto menguante o creciente presentando una amplitud de 25,1 cm en la Est. P_{01} y 22,4 cm en la Est. P_{02}.

Variación Diaria del Nivel Medio del Mar

En la estación de sequía, la variación diaria de la



Fig. 8. Pleamar y bajamar en la población de Guariquén (Edo. Sucre – Venezuela)

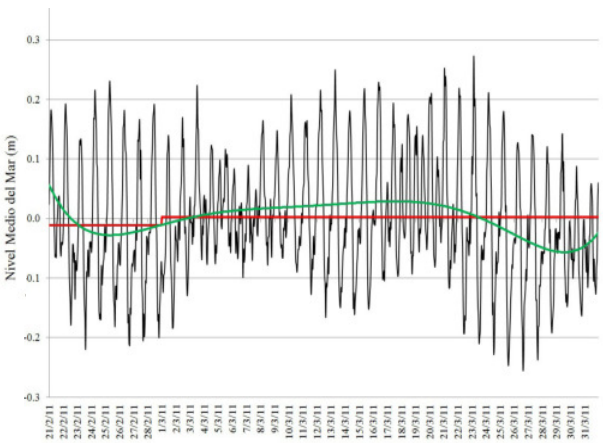


Fig. 9. Oscilación del nivel medio del mar en la Est. P02 durante la estación de sequía.

oscilación del nivel medio del mar mostró un máximo y un mínimo, solapando así la variación semidiurna mixta (Fig. 10). La amplitud de la marea en ambas estaciones fue similar (16,9 cm para Est. P_{01} y 16,7 cm para Est. P_{02}).

En general, para las series de ambas estaciones se pudo apreciar, que el mayor nivel del mar se observó a tempranas horas de la mañana (después de las 0600 h) marcando +7,7 cm en la Est. P_{01} y +7,6 cm en la Est. P_{02}. La menor altura fue registrada al finalizar la tarde entre las 1700 h y 1800 h presentando el mismo valor de -9,1 cm en ambas estaciones.

Durante la estación lluviosa, cuando aminoran los vientos, en la Est. P_{01} el máximo se observó a las 2300 h con un promedio de 7,1 cm y un mínimo de -9,8 cm a las 0700 h de la mañana.

En ambas estaciones en el transcurso del día, durante 14 horas continuas (de las 0700 h de la mañana hasta las 2300 h) el aumento del nivel del mar fue lento, mientras que el descenso resulto más intenso y duró 8 horas (2300 h - 0700 h).

El comportamiento diario del nivel del mar presentó variaciones de mes a mes. Así, en la Est. P_{01}, en agosto, el máximo acaeció a las 2300 h (10,1 cm), y el mínimo a las 0700 h de la mañana (-9,7 cm). En el mes de septiembre el máximo se registró en promedio a las 1800 h (6,5 cm) y el mínimo retrocedió a las 0600 h (-10,8 cm). En la Est. P_{02} se mantuvo la misma estructura señalada para P_{01}. Sin embargo, el máximo en agosto tuvo lugar a las 2200 h (8,6 cm) y el mínimo ocurrió a las 0700 h (-11,0 cm), mientras que en septiembre el máximo y el mínimo fueron observados a las 1700 h (8,0 cm) y 0500 h (-8,8 cm) respectivamente.

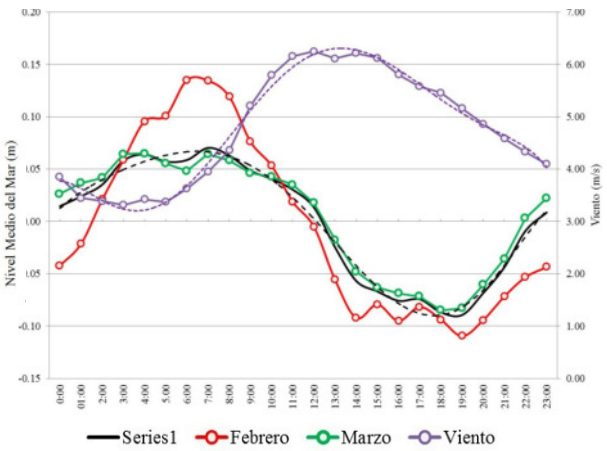


Fig. 10. Variación diaria del nivel del mar en la Est. P01 en la estación de sequía.

En el período de sequía la mayor velocidad del viento se registró a las 1300 h (6,3 m/s) y la menor se alcanzó en horas de la madrugada (0400 h) cuando disminuyó a 3,2 m/s. En el período de lluvias la mayor velocidad se observó a las 1400 h con 5,1 m/s y la menor a las 0600 h con 1,9 m/s.

La elevación del nivel del mar producto de las mareas es aproximadamente contraria al esfuerzo del viento (Fig. 10), ambos efectos se contrarresten y la oscilación del nivel medio del mar se ve algo disminuida. Caso contrario y en casos extremos, cuando ambos efectos se complementan, pueden conducir a inundaciones en la costa.

Ambos fenómenos, las olas impulsadas por el viento y las mareas generadas por la atracción gravitacional, están estrechamente relacionadas en las llamadas "Marea de Tormenta" o marejada ciclónica. En las que el viento asociado con sistemas atmosféricos de baja presión (normalmente, con un ciclón tropical o huracán) causa que nivel del mar se eleve por encima de lo normal. Si este evento coincide con mareas vivas o sicigias, puede acarrear consecuencias (Fig. 11).

Pequeñas oscilaciones del Nivel Medio del mar

En las oscilaciones del nivel medio del mar se hace caso omiso a pequeñas variaciones de unos pocos centímetros que ocurren con frecuencia en horas de la madrugada y a primeras horas de la tarde (Fig. 12).

Estas oscilaciones si bien es cierto que son mínimas (2 – 6 cm) y su aporte pudiese ser considerado poco significativo, representa una curiosidad, ya que fluctuaciones de ese tipo también se observaron en la información reportada por el mareógrafo de Carúpano. Se observan con frecuencia en el período de transición entre la bajamar y la pleamar y pudieran estar relacionadas con las "brisas de tierra" (Quintero & Terejova 2010) y/o la acción discontinua "pulsante" del viento sobre la masa de agua.

Componentes Armónicos de la Marea

La serie de tiempo evaluada de la región del valle submarino de Araya (TABLA 2) permitió extraer 35 componentes armónicos de la marea (*t_tide*) de los cuales solo 8 alcanzan una amplitud algo mayor a 1 cm (Fig. 13). La contribución de las restantes 27 está por debajo de 0,92 cm, la suma de las cuales conforma 8,67 cm. La suma de las armónicas principales fue de 31,32 cm, es decir, contribuyen con el 78,32% de la amplitud

de la marea en el sitio señalado. El análisis espectral de las series mostró que las armónicas significativas se centran en las frecuencias bajas de 28 – 15 días (Mm, Msf), 1 día (K_1, O_1, Q_1) y medio día (M_2, N_2, S_2).

Los constituyentes diurnos y semidiurnos de la marea expresados en términos de "factor de forma" adimensional F (TABLA 1), como el cociente entre suma de componentes diurnos y se

midiurnos en los criterios de Courtier y Duvanin son iguales a 1,72 y 2,11 respectivamente. En ambos casos la marea se califica como mixta preponderantemente diurna (TABLA 3), y eventualmente aumenta la influencia de los componentes semidiurnos hacia el este (Carúpano), lo que coincide con lo expresado por Redfield (1961), Ávila *et al*. (1980), Kjerfve (1981), Herrera *et al*. 1981, Peligrí & Ávila (1986).

Los componentes armónicos de la marea que más afectan las fluctuaciones del nivel del mar en la zona

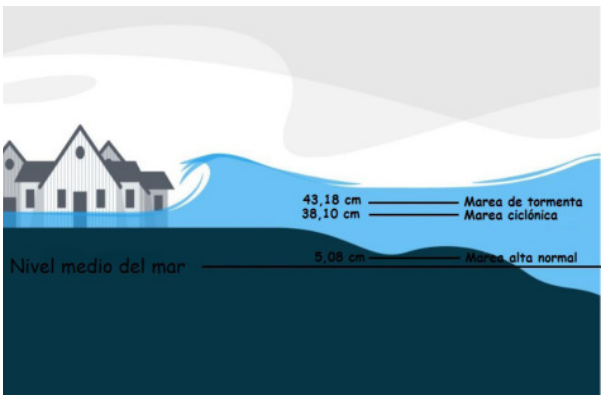


Fig. 11. Esquema de acción de la Marea de Tormenta. Oobtenido de Univision 2018.

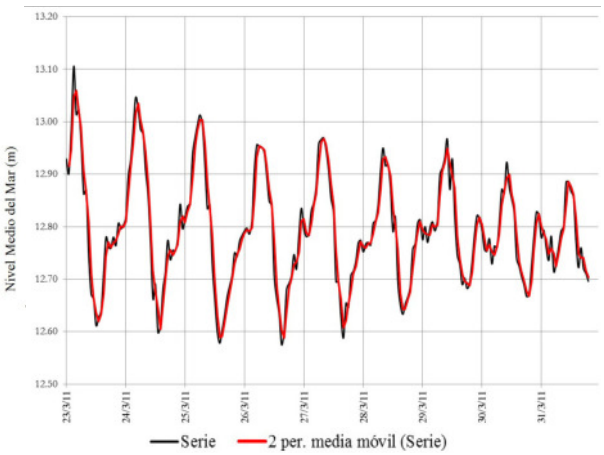


Fig. 12. Mareaograma de la Est. P01

de Taguapire en el valle submarino de Araya, son los componentes diurnos K_1 (lunisolar de declinación diurna) y O_1 (lunar de declinación diurna). Estas componentes tienen un gran efecto sobre las variaciones mensuales del nivel del mar, haciéndolo elevar casi 8 cm y 7 cm con declinación 0°. El tercer componente diurno Q_1 (lunar elíptica menor diurna) hace elevar el nivel en solo cerca de 1cm. De los componentes semidiurnos el de mayor significación M_2 (lunar principal semidiurna) contribuye con 4,8 cm y los demás componentes semidiurnos principales N_2 (lunar principal) y S_2 (solar principal) contribuyen con cerca de 2,0 cm. Los componentes de menor frecuencia Mm (lunar mensual) contribuye con cerca de 3,0 cm y la componente Msf (lunisolar sinódica quincenal) contribuye con 1,99 cm.

CONCLUSIONES

1) En la estación seca, la altura significativa de las olas en la Est. P_{01} fue Hs = 15,42 cm y en la Est. P_{02} Hs = 14,9 cm. En la estación lluviosa la altura significativa disminuyó, así, en la Est. P_{01} el promedio fue Hs = 9,99 cm, y en la Est. P_{02} Hs = 9,58 cm.

a) La reacción de la superficie del mar en forma de olas a la acción del viento no es sincrónica y puede tener un retardo de hasta seis horas en la acción reacción.

b) En el valle submarino de Araya debido a procesos de reflexión y refracción en el campo del oleaje, en ocasiones da la sensación, que el mar está "caótico" y las olas muy altas vienen de todos lados.

c) El promedio del periodo de las olas en la temporada de sequía es de t=5,16 s en la Est. P_{01} y t=4,86 s en la Est. P_{02} y los máximos correspondientes son 15,3 s y 15,9 s. En la estación lluviosa el periodo disminuyó 5,00 s en la

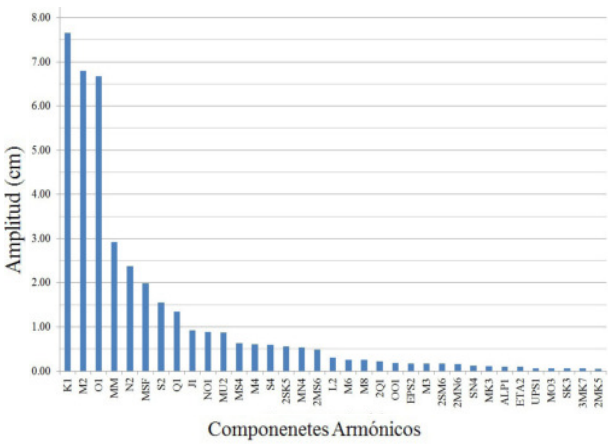


Fig. 13. Aporte de los componentes de la marea.

Est. P_{01} y 4,34 s en la Est. P_{02}. y los máximos registrados fueron 13,9 s y 12,9 s.

d) Se pudo notar, que cuando las velocidades alcanzadas por el viento son relativamente altas, los períodos disminuyen, y cuando la velocidad del viento disminuye, los períodos tienden a aumentar. El ejemplo más claro de esta afirmación tuvo lugar el día 22/08/2011.

e) La dirección de las olas en el período de sequía fue estable con preponderancia del NE y poca dispersión. En la estación lluviosa cuando aminoraron los vientos alisios, la dirección de procedencia de las olas fue bastante dispersa.

2) La mayor amplitud de la marea en el área de Taguapire fue de 0,41 m. La pleamar o "llenado" tiene lugar en las primeras horas de la tarde y la bajamar o "vaciado" en horas de la noche.

a) La clasificación mixta principalmente diurna, coincide con lo reportado por Kjerfve (1981) para regiones cercanas como Carúpano en el nororiente de Venezuela.

b) Los principales constituyentes armónicos que componen la serie de la oscilación del nivel del mar son: tres de carácter diurno (K1, O1, Q1), tres de carácter semidiurno (M2, S2, N2) y las componentes lunar mensual y lunisolar sinódica quincenal (Mm, Msf). Estos ocho componentes contribuyen con el 78,32% de la amplitud total de la marea.

3) El presente trabajo junto con los dos anteriores (Quintero & Terejova 2016 y Quintero *et al.* 2018) han tratado de dar respuesta al comportamiento de los parámetros dinámicos atmosféricos (vientos) y marinos (corrientes, olas y mareas) en la región del valle submarino de Araya.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a Constructora Andrade & Gutiérrez S.A. y muy especialmente al Ing. Emerson Emeri por permitir el empleo de la información recabada para el desarrollo del proyecto del Astillero ASTIALBA, así como al Ing. José Guerra de la Consultora CEPA C.A. por permitir el empleo de sus equipos y al oceanógrafo Julio Castro del Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile por el apoyo prestado.

REFERENCIAS

Ávila, R. G., L. E. Herrera, C. A. Febres & H. Tonda. 1980. Régimen de mareas de las aguas costeras de Venezuela en especial en la región del Delta del Orinoco. Centro de Investigación y Desarrollo de Petróleos de Venezuela S.A. 1: 1 – 36.

Bernot, J. 2006. *Meteorología y* estrategia*. Crucero y regata de altura*. Editorial Juventud S. A. Barcelona, España. 651 pp.

Bracho Magdaleno, C. L. & Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN). 1988. *Diccionario de mareas y corrientes*. Caracas: República de Venezuela, Ministerio de la Defensa, Armada, Dirección de Hidrografía y Navegación. 168 pp.

Egorov, N. I. 1974. *Oceanografía Física*. Hidrometeoizdat. Leningrado, URSS. 402 pp.

Foreman, M. G. G. 1977. *Manual for tidal heights analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 97pp.

_____. 1978. *Manual for tidal currents analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 78-

Tabla 1. Criterios del factor de forma "F" de la marea.

Courtier Bracho-Magdaleno & DHN 1988 $F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$ (6)	Duvanin Vorobev & Smirnov 1999 $F = \frac{K_1 + O_1}{M_2}$ (7)	Marea
$H_0 < 0,25$	$H_0 < 0,5$	Semidiurna
$0,25 < H_o < 1,5$	$0,5 < H_0 < 2,0$	Mixta prepondérate semidiurna
$1,5 < H_0 < 3,0$	$2,0 < H_0 < 4,0$	Mixta prepondérate diurna
$H_0 > 3,0$	$H_0 > 4,0$	Diurna

Tabla 2. Altura del nivel del mar en la Est P_{01}.

	0:00	01:00	2:00	3:00	4:00	5.00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Prom.	Max.	Min.	Des. S.
20/2/11	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	12.62	12.60	12.65	12.70	12.72	12.77	12.76	12.77	12.76	12.66	12.61	12.61	12.62	12.63	12.66	12.68	12.77	12.60	0.07
21/2/11	12.69	12.75	12.81	12.84	12.84	12.81	12.78	12.71	12.69	12.64	12.60	12.60	12.60	12.65	12.66	12.69	12.70	12.70	12.67	12.61	12.60	12.62	12.62	12.62	12.69	12.84	12.60	0.08
22/2/11	12.65	12.69	12.78	12.83	12.86	12.83	12.81	12.76	12.68	12.66	12.58	12.55	12.52	12.48	12.53	12.56	12.62	12.62	12.59	12.60	12.53	12.59	12.58	12.58	12.64	12.86	12.48	0.11
23/2/11	12.60	12.62	12.67	12.76	12.79	12.79	12.80	12.78	12.75	12.66	12.65	12.56	12.52	12.50	12.44	12.54	12.57	12.57	12.61	12.59	12.57	12.62	12.61	12.62	12.63	12.80	12.44	0.10
24/2/11	12.61	12.63	12.69	12.75	12.83	12.83	12.88	12.84	12.83	12.76	12.75	12.67	12.59	12.51	12.49	12.50	12.49	12.58	12.55	12.57	12.59	12.60	12.63	12.65	12.66	12.88	12.49	0.12
25/2/11	12.61	12.63	12.66	12.68	12.77	12.84	12.86	12.89	12.87	12.84	12.81	12.74	12.68	12.57	12.53	12.51	12.48	12.55	12.55	12.53	12.58	12.59	12.62	12.61	12.67	12.89	12.48	0.13
26/2/11	12.59	12.58	12.62	12.64	12.68	12.72	12.82	12.82	12.84	12.80	12.78	12.77	12.71	12.62	12.49	12.50	12.45	12.45	12.51	12.50	12.56	12.59	12.58	12.59	12.63	12.84	12.45	0.12
27/2/11	12.61	12.61	12.57	12.61	12.65	12.63	12.70	12.79	12.79	12.81	12.83	12.73	12.78	12.67	12.55	12.53	12.46	12.50	12.46	12.49	12.56	12.55	12.63	12.63	12.63	12.83	12.46	0.11
28/2/11	12.62	12.60	12.64	12.64	12.64	12.66	12.73	12.76	12.79	12.83	12.84	12.85	12.81	12.73	12.65	12.64	12.55	12.49	12.50	12.46	12.51	12.53	12.57	12.59	12.65	12.85	12.46	0.12
1/3/11	12.57	12.57	12.54	12.57	12.57	12.58	12.60	12.65	12.68	12.77	12.78	12.80	12.78	12.69	12.64	12.59	12.57	12.53	12.48	12.48	12.51	12.55	12.61	12.65	12.62	12.80	12.48	0.09
2/3/11	12.63	12.63	12.61	12.59	12.66	12.66	12.63	12.69	12.71	12.72	12.77	12.83	12.78	12.80	12.71	12.64	12.65	12.61	12.57	12.53	12.55	12.59	12.64	12.67	12.66	12.83	12.53	0.08
3/3/11	12.70	12.66	12.66	12.65	12.62	12.67	12.63	12.68	12.68	12.72	12.78	12.82	12.89	12.82	12.81	12.73	12.71	12.69	12.66	12.62	12.59	12.65	12.64	12.69	12.70	12.89	12.59	0.07
4/3/11	12.70	12.67	12.67	12.69	12.61	12.59	12.62	12.64	12.66	12.67	12.68	12.77	12.79	12.78	12.78	12.72	12.67	12.65	12.61	12.59	12.62	12.61	12.65	12.69	12.67	12.79	12.59	0.06
5/3/11	12.70	12.73	12.74	12.76	12.72	12.65	12.65	12.67	12.69	12.70	12.69	12.73	12.78	12.76	12.75	12.77	12.73	12.67	12.62	12.62	12.64	12.61	12.66	12.66	12.69	12.78	12.61	0.05
6/3/11	12.70	12.72	12.72	12.75	12.72	12.64	12.60	12.64	12.63	12.60	12.61	12.66	12.68	12.67	12.65	12.69	12.67	12.65	12.56	12.61	12.59	12.60	12.64	12.63	12.65	12.75	12.56	0.05
7/3/11	12.68	12.69	12.72	12.75	12.72	12.68	12.62	12.67	12.64	12.63	12.59	12.65	12.66	12.65	12.67	12.69	12.71	12.69	12.64	12.63	12.67	12.68	12.66	12.70	12.67	12.75	12.59	0.04
8/3/11	12.75	12.78	12.80	12.81	12.83	12.80	12.72	12.70	12.69	12.66	12.62	12.62	12.58	12.63	12.63	12.66	12.66	12.69	12.63	12.60	12.66	12.67	12.66	12.69	12.69	12.83	12.58	0.07
9/3/11	12.70	12.73	12.76	12.78	12.81	12.78	12.75	12.71	12.67	12.67	12.62	12.61	12.62	12.60	12.60	12.65	12.64	12.66	12.68	12.63	12.64	12.68	12.69	12.73	12.68	12.81	12.60	0.06
10/3/11	12.75	12.75	12.80	12.82	12.87	12.84	12.82	12.78	12.74	12.72	12.67	12.63	12.59	12.58	12.57	12.59	12.61	12.61	12.63	12.62	12.62	12.65	12.67	12.66	12.69	12.87	12.57	0.09
11/3/11	12.70	12.72	12.72	12.81	12.82	12.82	12.80	12.83	12.76	12.73	12.71	12.65	12.63	12.58	12.54	12.56	12.59	12.58	12.63	12.60	12.60	12.64	12.68	12.69	12.68	12.83	12.54	0.09
12/3/11	12.68	12.70	12.77	12.81	12.82	12.84	12.88	12.84	12.84	12.77	12.73	12.69	12.61	12.57	12.55	12.50	12.55	12.55	12.57	12.60	12.57	12.63	12.67	12.64	12.68	12.88	12.50	0.12
13/3/11	12.65	12.65	12.70	12.72	12.80	12.83	12.85	12.91	12.85	12.81	12.79	12.75	12.67	12.59	12.54	12.52	12.51	12.55	12.54	12.57	12.60	12.61	12.62	12.65	12.68	12.91	12.51	0.12
14/3/11	12.61	12.66	12.64	12.70	12.73	12.76	12.81	12.83	12.84	12.82	12.79	12.72	12.69	12.62	12.51	12.54	12.50	12.52	12.54	12.56	12.59	12.60	12.64	12.63	12.66	12.84	12.50	0.11
15/3/11	12.65	12.62	12.62	12.66	12.69	12.73	12.79	12.83	12.87	12.88	12.84	12.82	12.75	12.70	12.60	12.53	12.51	12.52	12.54	12.55	12.59	12.64	12.66	12.67	12.68	12.88	12.51	0.11
16/3/11	12.68	12.65	12.66	12.65	12.67	12.73	12.74	12.84	12.87	12.89	12.88	12.88	12.84	12.72	12.66	12.61	12.56	12.56	12.57	12.56	12.63	12.66	12.68	12.70	12.70	12.89	12.56	0.11
17/3/11	12.72	12.69	12.63	12.65	12.62	12.66	12.65	12.71	12.76	12.80	12.86	12.82	12.82	12.76	12.69	12.60	12.59	12.57	12.57	12.58	12.62	12.66	12.74	12.76	12.69	12.86	12.57	0.09
18/3/11	12.74	12.79	12.69	12.65	12.64	12.63	12.64	12.66	12.67	12.75	12.82	12.84	12.83	12.81	12.78	12.67	12.60	12.61	12.57	12.60	12.60	12.67	12.75	12.80	12.70	12.84	12.57	0.09
19/3/11	12.80	12.77	12.82	12.77	12.69	12.64	12.61	12.64	12.64	12.65	12.72	12.77	12.80	12.77	12.76	12.72	12.69	12.64	12.63	12.61	12.63	12.67	12.79	12.85	12.71	12.85	12.61	0.08
20/3/11	12.87	12.86	12.86	12.87	12.77	12.68	12.66	12.60	12.59	12.58	12.60	12.69	12.73	12.77	12.73	12.74	12.70	12.65	12.66	12.62	12.64	12.66	12.71	12.79	12.71	12.87	12.58	0.09
21/3/11	12.80	12.91	12.89	12.90	12.87	12.74	12.69	12.67	12.57	12.55	12.55	12.59	12.58	12.62	12.64	12.66	12.69	12.65	12.59	12.62	12.61	12.65	12.66	12.73	12.68	12.91	12.55	0.11
22/3/11	12.77	12.83	12.88	12.87	12.87	12.79	12.72	12.65	12.62	12.52	12.47	12.47	12.50	12.49	12.56	12.65	12.63	12.63	12.62	12.60	12.67	12.62	12.67	12.68	12.66	12.88	12.47	0.13
23/3/11	12.77	12.74	12.82	12.94	12.85	12.86	12.79	12.70	12.70	12.59	12.52	12.50	12.45	12.46	12.48	12.55	12.62	12.60	12.59	12.61	12.59	12.64	12.63	12.64	12.65	12.94	12.45	0.13
24/3/11	12.65	12.73	12.76	12.82	12.87	12.85	12.82	12.81	12.74	12.70	12.61	12.50	12.52	12.44	12.45	12.52	12.55	12.61	12.57	12.59	12.59	12.62	12.67	12.63	12.65	12.87	12.44	0.13
25/3/11	12.65	12.68	12.68	12.77	12.80	12.83	12.84	12.82	12.75	12.67	12.68	12.56	12.49	12.43	12.42	12.44	12.47	12.50	12.53	12.55	12.58	12.58	12.61	12.62	12.62	12.84	12.42	0.13
26/3/11	12.63	12.63	12.62	12.65	12.74	12.79	12.79	12.78	12.77	12.73	12.68	12.67	12.54	12.50	12.47	12.41	12.43	12.52	12.53	12.55	12.58	12.56	12.62	12.67	12.62	12.79	12.41	0.11
27/3/11	12.63	12.61	12.62	12.66	12.68	12.72	12.80	12.80	12.80	12.78	12.74	12.69	12.66	12.53	12.53	12.46	12.43	12.48	12.48	12.55	12.55	12.56	12.61	12.61	12.62	12.80	12.43	0.11
28/3/11	12.59	12.61	12.61	12.60	12.64	12.65	12.69	12.74	12.78	12.76	12.75	12.71	12.62	12.64	12.53	12.49	12.47	12.49	12.50	12.52	12.59	12.61	12.64	12.65	12.62	12.78	12.47	0.09
29/3/11	12.61	12.64	12.60	12.64	12.64	12.63	12.65	12.74	12.74	12.77	12.80	12.71	12.76	12.65	12.58	12.56	12.52	12.54	12.51	12.53	12.57	12.62	12.66	12.65	12.64	12.80	12.51	0.08
30/3/11	12.63	12.60	12.59	12.61	12.56	12.59	12.59	12.64	12.69	12.70	12.75	12.71	12.69	12.65	12.58	12.56	12.54	12.52	12.50	12.50	12.56	12.62	12.66	12.66	12.61	12.75	12.50	0.07
31/3/11	12.61	12.63	12.59	12.57	12.62	12.55	12.57	12.60	12.63	12.64	12.71	12.72	12.71	12.69	12.61	12.56	12.59	12.56	12.55	12.54	12.58	12.59	12.68	12.72	12.62	12.72	12.54	0.06
1/4/11	12.69	12.67	12.64	12.59	12.61	12.59	12.58	12.59	12.60	12.65	12.65	12.69	12.71	12.70	12.65	12.59	12.54	12.58	12.58	12.56	12.58	12.62	12.69	12.71	12.63	12.71	12.54	0.05
2/4/11	12.76	12.68	12.67	12.64	12.56	12.57	12.57	12.55	12.55	12.60	12.58	12.65	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	12.61	12.76	12.55	0.07
Prom.	12.68	12.69	12.70	12.72	12.73	12.72	12.72	12.73	12.72	12.71	12.70	12.69	12.67	12.64	12.60	12.59	12.59	12.59	12.57	12.57	12.59	12.62	12.65	12.67				
Max	12.87	12.91	12.89	12.94	12.87	12.86	12.88	12.91	12.87	12.89	12.88	12.88	12.89	12.82	12.81	12.77	12.77	12.76	12.68	12.63	12.67	12.68	12.79	12.85				
Min	12.57	12.57	12.54	12.57	12.56	12.55	12.57	12.55	12.55	12.52	12.47	12.47	12.45	12.43	12.42	12.41	12.43	12.45	12.46	12.46	12.51	12.53	12.57	12.58				
Des. S.	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06				

Tabla 3. Componentes de la marea en la localidad de Taguapire y Caribe sur oriental

	Valle submarino de Araya		Otras localidades del Caribe sur (KJERFVE 1981)					
	Taguapire		Bonaire		La Guaira		Carúpano	
	10,64° N 64,01°W Observaciones 20/2/11 0900 h 2/4/11 1100 h		12,15°N 68,28°W		10,61°N 66,94°W		10,67°N 63,25°W	
Componente	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)
K1- Lunisolar de declinación diurna. T=23,934 h. Frecuencia =0,0417807	7,66	173,1	11	250	9.8		10.4	238
O1 - Lunar de declinación diurna. T=25,819 h. Frecuencia=0,0387307	6,80	170,17	7	239	6.7		7.5	230
M2 - Luna principal semidiurna. T=12,421h Frecuencia = 0,0805114	4.8	39,20	5	174	4.8	158	11.3	190
Mm – Lunar mensual. T=27,421 días Frecuencia = 0,00151	2,92	295,48						
MSF - Lunisolar sinódica quincenal. T=14,765 días Frecuencia=0,0028219	1.99	29,19						
N2 - Lunar principal, semidiurna. T=12,658 h Frecuencia=0,0789992	2,38	24,38	-----	-----	1.7	137	*3.2*	*172*
S2 – Solar elíptica mayor semidiurna. T=12 h. Frecuencia=0.0833333	1,55	345.98	1	268	-----	-----	*3.2*	*217*
Q1 - Lunar elíptica mayor diurna. T=23,87 h. Frecuencia=0,037219	*1,358*	172,63						
$F_{COURTIER}$	*1,72*		----------		----------		1,23	
$F_{DUVANIN}$	*2,11*		3,60		3,44		1,58	

6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 57pp.

Garmin. 2007. BlueChart Americas v2008 (Versión 2010). (Software PC).

Godin, G. 1972. *The Analysis of Tides*. University of Toronto Press, Toronto, 264pp.

Herrera, L. E., G. E. Febres & R. G. Ávila. 1981. Las mareas en aguas venezolanas y su amplificación en la región del Delta del Orinoco. *Acta Cient. Venezolana*. 32: 299 – 3066.

Kjerfve, B. 1981. Tides of the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.* 86(C5): 4243-4247.

LunarPhase. 2013. Gary Nugent 1999, 2000. Fases Lunares v2.50. (Software PC).-

Malikov, I. 2010. Régimen de las mareas en las costas colombianas. IDEAM Colombia, Notas Técnicas, 21 pp. Disponible: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/ meteorologia-marina (Revisada: 15 julio 2020).

NOAA. 2013a. National Environmental Satellite, Data and Information Service (NESDIS). EEUU. (Página Web en línea). Disponible: http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/ trop-atl.html [Revisada: 15 septiembre 2013].

NOAA. 2013b. National Geophysical Data Center. Monthly / Seasonal Climate. Componentes. EEUU. [Página Web en línea]. Disponible: http://www.esrl.noaa.gov/ psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl [Consulta: 16 septiembre 2013].

OMM – Organización Meteorológica Mundial. 1998. *Guía para el Pronóstico y Análisis de las Olas*. Segunda Edición, Secretaría de la OMM. Ginebra, Suiza.171 pp.

Pawlowicz, R., B. Beardsley & Lentz. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Comput. Geosci.* 28: 929 - 937.

Peligrí, J. L. & R. G. Ávila. 1986. Las mareas como sistemas cooscilantes en los golfos de Venzuela y Paria. *Rev. Tec. INTEVEP*. 6 (1): 3 – 15.

Quintero, A. & C. Lodeiros. 1996. Variaciones térmicas del agua en Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 35 (1-2): 27 - 40.

Quintero, A. & G. Terejova. 2010. Brisas de mar y tierra al norte de la península de Araya, Estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 48 (2): 109-119.

_____. 2016. Evaluación de los parámetros del viento en el valle submarino de Araya, Venezuela. I Parte. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 55(2): 273 - 287.

_____. & F. Brito. 2018. Evaluación de las corrientes marinas en el valle submarino de Araya, Venezuela. I Parte. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 58(2): 14 - 27.

Redfield A. C. 1961. The tidal system of lake Maracaibo, Venezuela. *Lmnology and Oceanography*. VI (I): 1 – 12.

SOHMA. 2017. Librillo de nubes y estado del mar. Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada SOHMA. República Oriental del Uruguay. 111 pp.

Terejova, G., A. Quintero & A. Piñero. 1998. Descripción de las características climáticas de Carúpano, Estado Sucre (Venezuela). Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. 37 (1-2): 43 - 52.

Univisión. 2018. ¿Qué es una marejada ciclónica y por qué es tan destructiva? Dallas, EEUU. Disponible en https://www.univision.com/noticias. (Revisada julio 2020).

Vorobev, V. N. & N. P. Smirnov. 1999. *Oceanología General. II Parte. Procesos dinámicos.* Edit. RGGMU. Sant Petersburgo. Federación Rusa. 230 pp.

Recibido: Agosto 2020
Aceptado: Octubre 2020

COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DEL NITRÓGENO, FÓSFORO Y MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS RECIENTES DE EL MORRO DE PUERTO SANTO, VENEZUELA

Brito Felicia[1*], Martínez Gregorio[2] & Quintero Antonio[3]

[1]Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Autor de correspondencia: felicia.brito@gmail.com

[2]Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Email: goyomartinez@gmail.com

[3]Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Email: agqr2005@gmail.com

RESUMEN: El comportamiento geoquímico de materia orgánica total (MOT), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) fue evaluado en los sedimentos superficiales de las bahías Oeste (BO) y Este (BE) de El Morro de Puerto Santo, así como la relación COT/NT para conocer los ciclos biogeoquímicos presentes, que permitirán en estudios futuros valorar las repuestas del ecosistema a la intervención antrópica. Las concentraciones de NT variaron en la BO y BE en 464 a 278x10^3 y 570 a 998 mg/kg, respectivamente, mientras que el PT presentó variaciones entre 300-1,04x10^3 en la BO y 72,1-241 mg/kg en la BE. Valores de COT, MOT y $CaCO_3$ promediaron en 2,67, 9,09 y 28,6% respectivamente en la BO y 0,49, 1,35 y 51,6% en la BE. El análisis de Kruskal Wallis mostró diferencias significativas entre las medianas de ambas bahías para los parámetros geoquímicos a un nivel de significancia p<0,0001, sus máximas concentraciones se registraron en la margen litoral y zona central de la BO con poca variabilidad entre las estaciones de la BE. La razón COT/NT estimó para la BO una mezcla de fuentes marinas, terrestres y fuerte contaminación orgánica (COT/NT=3,76-81,9), mientras que para la BE, la deposición de MOT en el sedimento es de origen autóctono (COT/NT_{prom}=6,48) asociada a procesos de surgencia costera. Las concentraciones y patrones de distribución de NT y PT en los sedimentos son característicos de la geoquímica de cada ambiente sedimentario y están asociadas a las actividades antrópicas desarrolladas en sus márgenes.

Palabras claves: Geoquímica, materia orgánica, sedimentos, antrópica, razón COT/NT.

ABSTRACT: The geochemical behavior of total organic matter (TOM), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) was evaluated in the surface sediments of West (WB) and East (EB) bays of El Morro de Puerto Santo, as well as the TOC/TN relationship to know the present biogeochemical cycles, which will allow future studies to assess the responses of the ecosystem to anthropic intervention. TN concentrations varied in WB and EB in 464 to 278x10^3 and 570 to 998 mg/kg, respectively, while TP presented variations between 300-1.04x10^3 in WB and 72.1-241 mg/kg in EB. Values of TOC, TOM and $CaCO_3$ averaged 2.67, 9.09 and 28.6% respectively in the WB and 0.49, 1.35 and 51.6% in the EB. The Kruskal Wallis analysis showed significant differences between the medians of both bays for the geochemical parameters at a significance level p <0.0001, their maximum concentrations were recorded in the coastal margin and central zone of the WB with little variability between the stations of the WB. The TOC/TN ratio estimated for the WB a mixture of marine and terrestrial sources and strong organic contamination (TOC/TN= 3.76-81.9), while for the EB, the deposition of TOM in sediment is of origin autochthonous (TOC/TN_{prom} = 6.48) associated with coastal upwelling processes. The concentrations and distribution patterns of TN and TP in the sediments are characteristic of the geochemistry of each sedimentary environment and are associated with the anthropic activities developed in its margins.

Key words: Geochemistry, organic matter, sediments, anthropic, TOC/TN ratio.

INTRODUCCIÓN

El sedimento en los ecosistemas acuáticos constituye el sitio de recepción final y acumulación de la materia orgánica, por los que mediante su estudio se puede obtener valiosa información acerca de su dinámica biológica e hidrológica (Rodríguez 2000) y constituye un eslabón importante en el ciclo del carbono y otros elementos bioactivos (Hu *et al*. 2006; Burdige 2007; Aufdenkampe *et al.* 2011). El carbono y el nitrógeno acumulados en los sedimentos marinos costeros son una mezcla compleja de materiales orgánicos, procedentes de fuentes marinas y terrestres con diferentes características (Dai *et al*. 2007; Koziorowska *et al*. 2016; Li *et al*. 2016). Los cambios en el nivel y la estructura de los nutrientes en ambientes costeros, conducirán a cambios en la productividad primaria (PP) y la composición del fitoplancton (Tang *et al*. 2003; Wang 2006; Ning *et al*. 2010), lo que podría

causar efectos ambientales y ecológicos, como aumento de la eutrofización (Wang & Wu 2009; Wu *et al*. 2013), déficit de oxígeno (Wang 2006; Kemp *et al*. 2009; Wang *et al*. 2018), acidificación en aguas costeras (Cai *et al*. 2011; Rabalais *et al*. 2014), y ocurrencias frecuentes de floraciones de algas nocivas y tóxicas (Anderson *et al*. 2002; Yunev *et al*. 2007; Wang *et al*. 2018). Así, la composición de la materia orgánica sedimentada es indicadora del estado trófico del ambiente acuático.

La zona marina del oriente de Venezuela, ubicada al Sureste del Mar Caribe, se caracteriza por ser una región con una alta productividad biológica del medio marino y por poseer una extensa plataforma continental. En el período de sequía, cuando son más intensos los vientos alisios, se generan persistentes eventos de afloramiento de aguas subsuperficiales donde la productividad asociada a este fenómeno le aporta grandes cantidades de material detrítico orgánico e inorgánico a los sedimentos superficiales (Bonilla 2003). En tal sentido, las costas de El Morro de Puerto Santo son de gran importancia comercial dentro de la región nororiental del país por ser el puerto base de la flota pesquera artesanal de la región. Sin embargo, el rápido crecimiento industrial y urbano ha llevado a la liberación excesiva de contaminantes en sus costas como consecuencia de la descarga de gran cantidad de desechos sólidos, aguas servidas, residuales, etc., que directamente llegan hasta el ecosistema por el sistema cloacal o por alcantarillados (Aguilera 2005), los cuales se suman a la carga de nutrientes transportados por los ríos y el escurrimiento costero, alterando sus proporciones que resultan en procesos de eutrofización, modificación de las estructuras comunitarias de plancton y los ciclos biogeoquímicos, comprometiendo así la riqueza pesquera de la zona. El propósito del presente trabajo es evaluar el comportamiento geoquímico de la materia orgánica (MOT), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y fosforo total (PT) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, lo cual permitirá conocer la distribución y las fuentes de depósitos sedimentario de la materia orgánica en la región y su ciclo biogeoquímico que conlleven a valorar las repuestas del ecosistema a posible intervención antrópica.

ÁREA DE ESTUDIO

El Morro de Puerto Santo se encuentra ubicado en la costa Norte de la península de Paria, entre los 63,14º y 63,17º de Long. Oeste y los 10,71º y 10, 73º de Lat. Norte. Es un centro poblado urbano de 8268 habitantes (Censo 2011; INE 2014). Está formado por varios caseríos, entre ellos: El Dique, Las Salinas, Los Cocos, El Estadium, El Olivito, Caña Brava, La Ceiba, 19 de abril, sector Plaza Bolívar, El Cerro, entre otros. El patrón de ocupación del territorio siempre ha estado asociado a la actividad pesquera (Martínez 2006; Brito *et al.* 2014).

El morro se caracteriza por ser una costa de acantilados rocosos con bahías de pequeñas dimensiones al Este y Oeste, son áreas someras las cuales miden en línea de costa aproximadamente 2,50 y 1,50 km, respectivamente (Fig. 1). Estas bahías se encuentran separadas por una franja arenosa angosta en dirección N-S, constituyendo un tómbolo el cual conecta al morro con el continente (Lara *et al.* 1997). La bahía Oeste (BO) es de circulación restringida, cuenta con un puerto pesquero y de cabotaje, pequeñas industrias vinculadas con el procesamiento de pescados y mariscos, mientras que la bahía Este (BE) presenta un ambiente sedimentario arenoso, de mayor energía y fuertes corrientes. Los aportes sedimentarios provienen tanto de fuentes biogénicas como terrígenos, transportados por escorrentías continentales fluviales aportados por el río Puerto Santo que es una entrada de agua dulce a la bahía localizada al Suroeste de la misma, pluviales, efluentes domésticos (Brito *et al.* 2014) además de la erosión de los acantilados rocosos que se encuentran en toda esta margen costera (Lara *et al.* 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron 23 estaciones en el área de estudio entre la bahía Oeste y Este (Figura 1) y los sedimentos superficiales fueron recolectados desde un peñero, en noviembre del 2007, con una draga Dietz Lafont de 0,02 m^2 de área y las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y conservaron a -20,0ºC hasta su procesamiento y análisis. Previo al análisis, fueron secadas a temperatura ambiente y al abrigo de la luz, luego se pulverizaron y homogeneizaron en un mortero de ágata y finalmente se almacenaron en tubos de ensayo.

Para las separaciones granulométricas de los sedimentos se empleó la metodología descrita por Tosiani *et al*. (2005), modificada para los sedimentos del golfo de Cariaco (Aranguren 2012; Pinto 2012; Rodríguez 2012; Hurtado 2015). Para el análisis de las proporciones de las clases granulométricas se empleó la escala de Wentworth (1922) y gráficos de porcentajes

acumulados versus la escala phi φ, así como el Programa informático Tridraw versión 4,5 por el que se obtuvo el diagrama ternario de distribución y clasificación textural (Sheppard 1954; Folk 1978 ; Hurtado 2015).

El carbono orgánico total (COT) fue determinado por el método de combustión húmeda propuesto por Walkley & Black (1934) y modificado por Heanes (1984).

El contenido de materia orgánica total (MOT) fue determinado gravimétricamente por la técnica de pérdida de peso por ignición calcinando la muestra en una mufla a temperatura constante de 450 ºC durante cuatro horas (Byers *et al*. 1978; López *et al*. 2006; Hurtado 2015). Dicho análisis se realizó por triplicado expresándose los resultados como porcentaje (%) de materia orgánica.

El carbonato se determinó modificando el método de Rauret *et al*. (1988), descrito en Soto-Jiménez *et al*. (2003).

Los valores de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se determinaron de manera simultánea por el método de Valderrama (1981) el cual está basado en la oxidación simultánea de las especies de nitrógeno y fósforo, a NO_3^- y PO_4^{3-}, respectivamente, con persulfato de potasio. En un ambiente alcalino, el persulfato oxida el nitrógeno orgánico y el amoníaco a nitrato y, en conjunto con el nitrato inorgánico presente, representa el nitrógeno total. A medida que la digestión avanza a condiciones ácidas, el persulfato oxida todos los compuestos de fósforo a ortofosfato. La cuantificación del fósforo se realizó según el método colorimétrico de Murphy & Riley (1962) y el nitrógeno total, según el método descrito por Treguer & Le Corre (1975). Para el nitrógeno total, la precisión osciló alrededor de 4% y la del fósforo fue de 0,2% (Márquez *et al*. 2007).

La relación carbono orgánico total/nitrógeno total (COT/NT), se obtuvo del cociente de la concentración de carbono y nitrógeno total.

Para establecer diferencias entre ambas bahías se utilizó un análisis de variancia no paramétrico propuesto por Kruskall-Wallis (Boyer *et al*. 1997) a un nivel de significancia de $p<0,05$. También se aplicó un análisis estadístico multivariante de Componentes Principales (ACP) para evaluar la reducción de la dimensionalidad de los datos y representar gráficamente las asociaciones entre los diferentes parámetros analizados (Johnson & Wichern 1992).

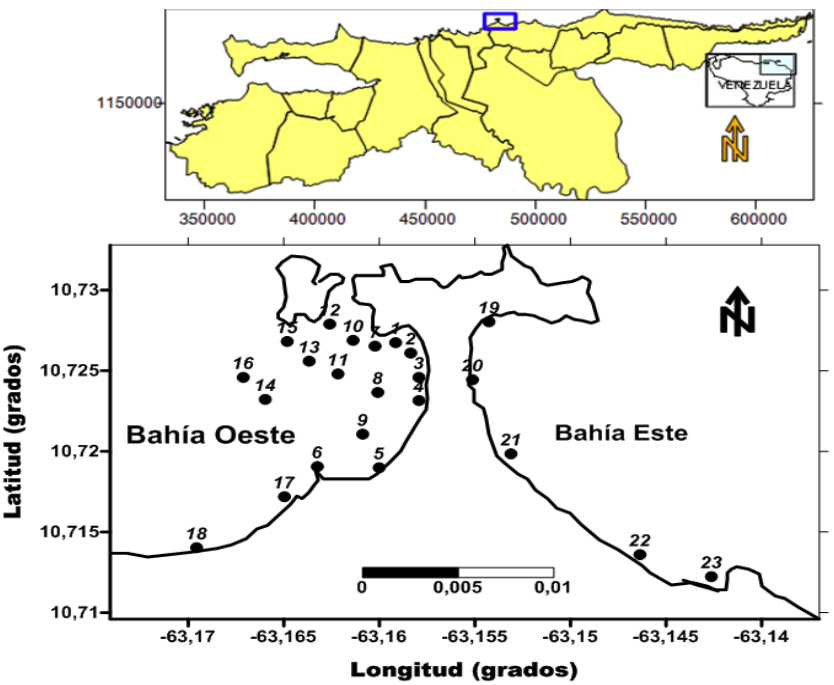


Fig. 1. Área de estudio indicando las estaciones del muestreo en sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición granulométrica de los sedimentos

En los sedimentos de El Morro de Puerto Santo la fracción granulométrica que determinó el grano textural fue la fracción limo con 54,8%, seguido de las arenas con 34,8% y por último los lodos finos (última fracción obtenida en el proceso de separación que contiene los limos finos y las arcillas) con 10,4% en la bahía Oeste, mientras que en la bahía Este dominaron las arenas con 93,4%, seguido de los lodos finos y limos con 3,80% y 3,00%, respectivamente.

De acuerdo al diagrama ternario de Sheppard (1954) los sedimentos superficiales de la bahía Oeste de El Morro de Puerto Santo presentaron texturas principalmente limo-arenosas y limosas, en el 44,4% y 33,3% de las estaciones, respectivamente. Donde la granulometría limosa predominó hacia el sector central de la bahía, las limo-arenosas se distribuyeron en su mayoría en la zona litoral y las estaciones de mayor profundidad, mientras que las areno-limosas se registraron hacia la zona Norte y Oeste de la bahía (Fig. 2), coincidiendo con las estaciones cercanas a la desembocadura del río Puerto Santo, El Islote y El Dique, con proporciones máximas de 40,0% de arenas finas y muy finas, de 75,6% de limos medios y 16,6% de lodos finos (Fig. 3). La circulación restringida que presenta la bahía contribuye a la deposición del material fino en el sedimento (Brito 2019). Quintero *et al*. (2006) señalan que esta distribución es característica de zonas de baja energía, donde la deposición del grano fino está asociada con la energía de los agentes de transporte.

En la bahía Este la textura de los sedimentos correspondió en un 100% como arenosa, predominando específicamente las arenas muy finas con el 61,2% seguida de las arenas finas con el 29,6% del total de arenas (Fig. 3a y 3b). Valdés (2013) menciona que los sedimentos arenosos indican deposición bajo condiciones de alta energía, por lo que las fuertes corrientes que presenta esta región, provoca que las partículas de menor tamaño, como limo y arcillas, sean transportadas con mayor facilidad y que sea el sedimento de textura arenosa el que se deposite en esta área (Quintero *et al*. 2006).

Materia orgánica total (MOT), Carbono orgánico total (COT) y Carbonatos ($CaCO_3$)

Las concentraciones de MOT en los sedimentos superficiales de El Morro de Puerto Santo (Fig.4a) variaron entre 2,40% y 12,6%, con un promedio de 9,09% en la bahía Oeste, registrándose las mayores concentraciones en la costa Noreste de la bahía donde predominan los limos y lodos finos (limos finos-arcillas), con atenuaciones hacia las estaciones más profundas y donde los sedimentos presentaron un grano textural más grueso (arenas muy gruesas, arenas gruesas y arenas medias), en tanto que en la bahía Este la concentración promedio de MOT fue de 1,38%.

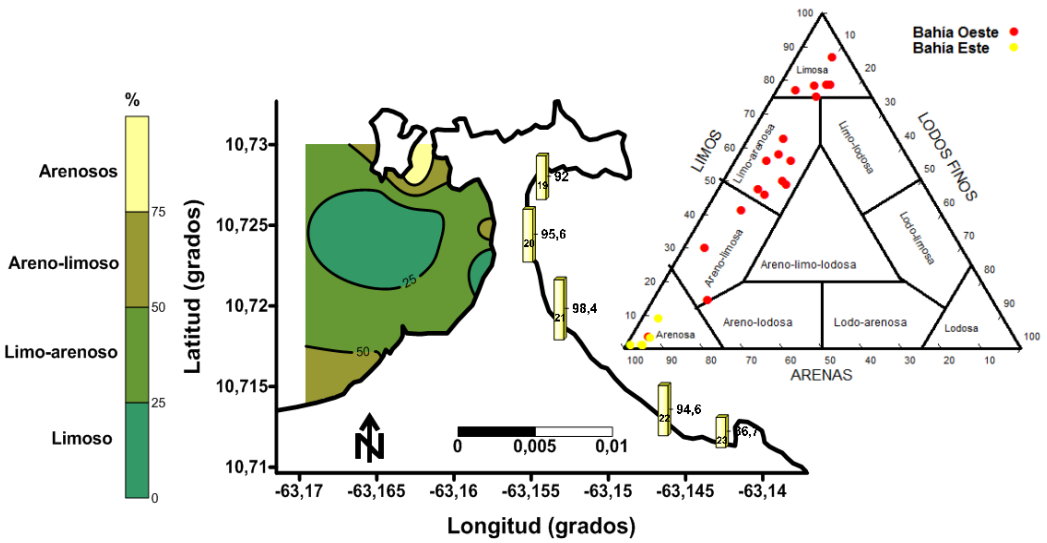


Fig. 2. Distribución espacial y triángulo ternario de la composición granulométrica (%) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

En cuanto a las concentraciones de COT en los sedimentos superficiales variaron entre 0,35 y 3,80%, registrando un promedio de 2,67% en la bahía Oeste y de 0,49% para la bahía Este, siguiendo el mismo patrón de distribución que la materia orgánica (Fig. 4b). Se presentaron diferencias significativas entre las medianas de ambas bahías ($Kw_{(MOT)}$= 17,7; p<0,0001 y $Kw_{(COT)}$= 5,07; p< 0,024) tanto para MOT como para COT. En la bahía Oeste, este comportamiento está asociado con las condiciones ambientales sobre todo a la hidrodinámica que se presenta en la bahía, la cual es un área de circulación restringida (Aguilera 2005) y a la predominancia de textura limosa y limo-arenosa contribuyendo así a la deposición, retención y acumulación de la materia orgánica en los sedimentos, mientras que en la bahía Este, la baja concentración de materia orgánica coincide con la textura arenosa de sus sedimentos (De La Lanza 1986; Aston & Hewitt 1997) .

Los valores de COT determinados en este estudio son inferiores a las concentraciones máximas reportadas por Romero (2018) en la ensenada de Carenero, golfo de Cariaco para dos periodos del año (sequía de 2,30% y lluvia de 6,40%), lo cual es atribuible a las características de esa zona litoral que está bordeada de manera discontinua por manglares, principalmente *Rhizophora mangle*, asociados a praderas de fanerógamas marinas (*Thalassia testudinum*). Mangones (2015) reportó concentraciones de MOT en los sedimentos de la ensenada Grande del Obispo y ensenada Laguna Chica (1,94-10,1%) mayores a los encontrados en este estudio, las cuales están asociadas a la alta productividad primaria en el golfo de Cariaco y las densas zonas de manglares en la ensenada Laguna Chica.

Los contenidos de $CaCO_3$ oscilaron entre un mínimo de 13,7% en la estación 2 y un máximo de 63,4% en la estación 12, con un promedio de 28,6% en la bahía Oeste, presentando un efecto de dilución desde las estaciones más someras hacia las más profundas, aumentado donde el sedimento es de textura arenosa (Fig. 4c); esto es consistente con la correlación positiva y significativa entre el carbonato y las arenas ($r_{(CaCO3-Arenas)}$=0,87) y disminuye en las fracciones más finas ($r_{(CaCO3-Limos)}$=-0,86;

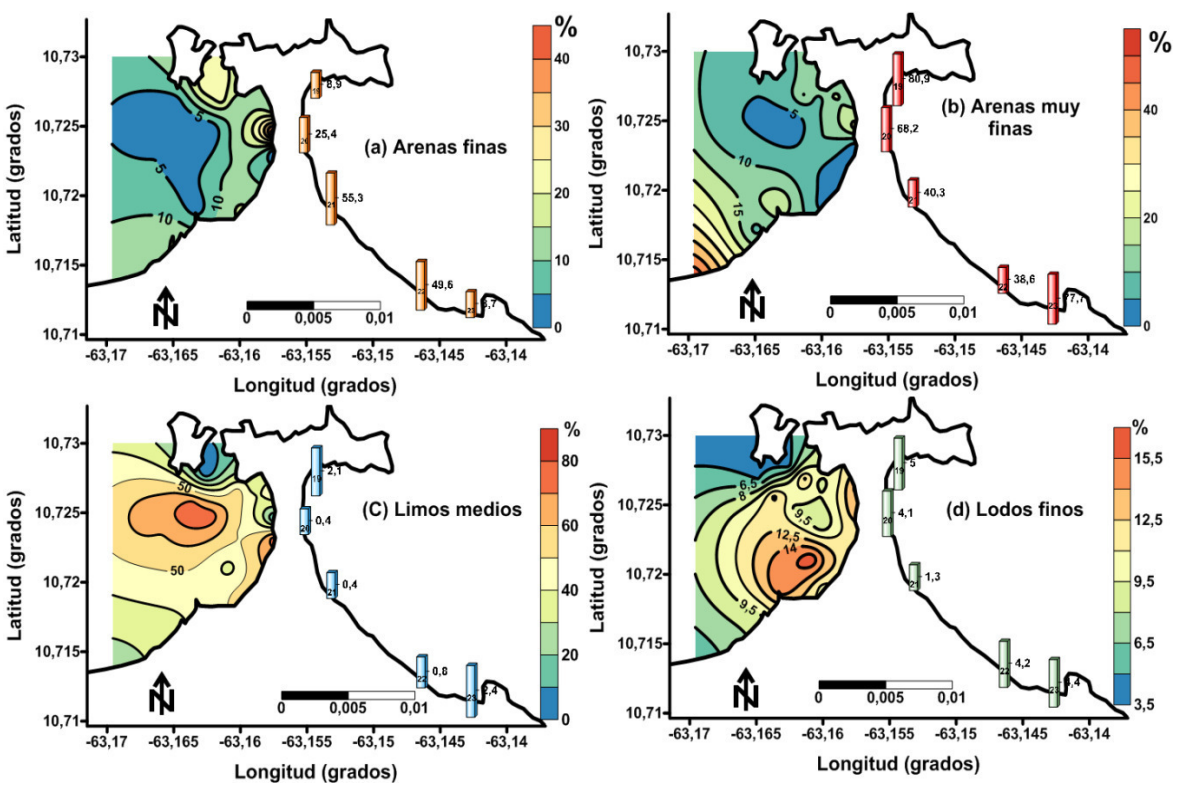


Fig. 3. Distribución granulométrica de: arenas (a,b), limos medios (c) y lodos finos (d) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

$r_{(CaCO3\text{-}L.finos)}$=-0,59). Pinto (2012) señala que el carbonato constituye el mineral más abundante (53,0 a 96,0%) en las fracciones gruesas (gravas, arenas muy gruesas, gruesas y media) de los sedimentos.

En la bahía Este los porcentajes de carbonatos variaron entre 48,3 y 57,0% con promedios de 51,6%, donde las máximas concentraciones se ubicaron en las estaciones con contenidos de arenas mayores al 95,0% con predominancia de arenas muy finas (61,2%), registrándose diferencias significativas entre las medianas de las bahías ($Kw_{(CaCO3)}$=36,0; p<0,0001). Hurtado (2015) señala que en los sedimentos superficiales del golfo de Cariaco existe correlación entre el carbonato y el tamaño del grano, la cual es muy significativa en las fracciones más gruesas disminuyendo hasta las arenas finas. Los sedimentos en el golfo de Cariaco presentan porcentajes de carbonatos cercanos al 90,0% asociados significativamente con las arenas, lo cuales son mayores comparativamente con los determinados para los sedimentos de El Morro de Puerto Santo (Martínez 2016).

Nitrógeno total (NT)

La Figura 5 muestra la distribución de nitrógeno total en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo. El análisis de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre las medianas de ambas bahías ($Kw_{(NT)}$=34,7; p<0,0001).

En la margen litoral de la bahía Oeste se registraron concentraciones mínimas de NT por el orden de 464 mg/kg, asociada posiblemente a la profundidad, tamaño del grano del sedimento, origen y procesos de descomposición de la materia orgánica, así como a la disponibilidad de oxígeno, para luego aumentar a medida que se aleja de la línea de costa con concentraciones máximas de $2{,}78\times10^3$ mg/kg, coincidiendo las altas concentraciones de este elemento con la textura fina del sedimento principalmente con limos medios y lodos finos. Esta especie nitrogenada es retenida por las fracciones más finas del sedimento, por lo tanto, se espera que, en sedimentos dominados por fracciones de granos finos, las concentraciones de nitrógeno sean

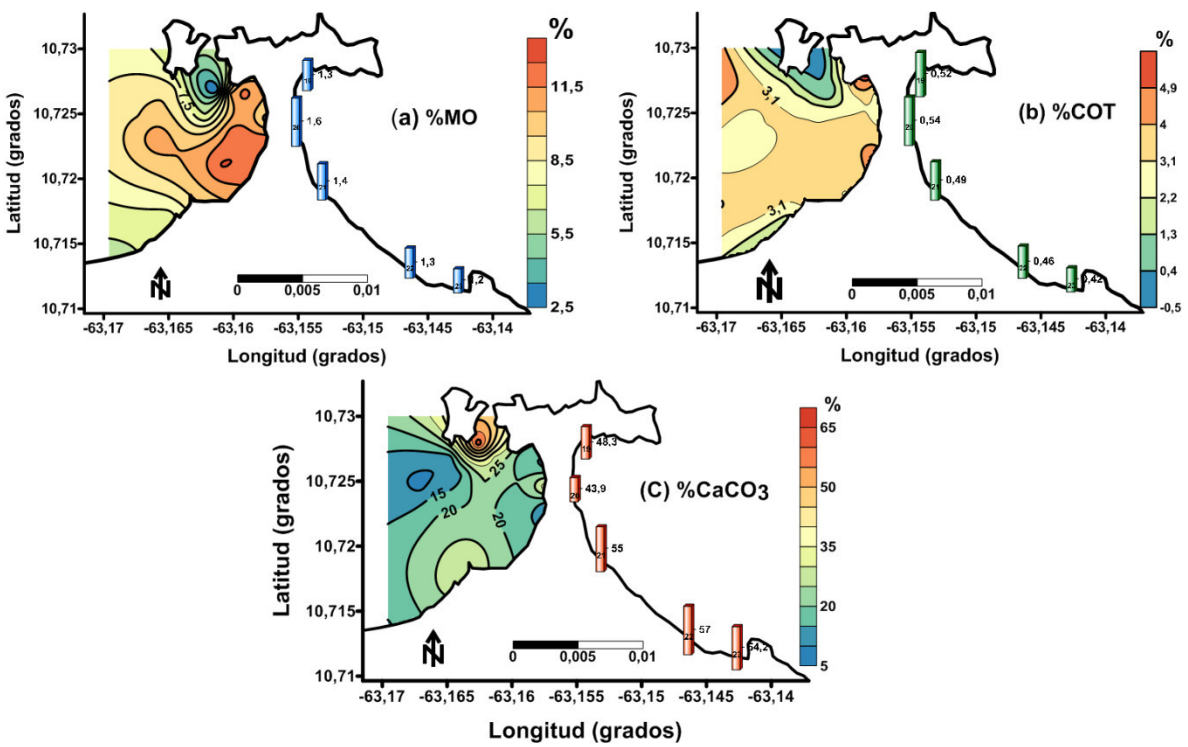


Fig. 4. Distribución espacial del porcentaje de: a) Materia orgánica total (MOT), b) Carbono orgánico total (COT) y c) Carbonatos ($CaCO_3$) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

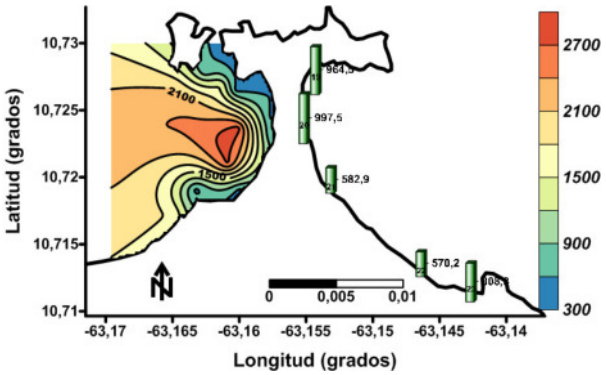


Fig. 5. Distribución espacial de nitrógeno total (NT) mg/kg en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

elevadas (Hurtado 2015; Martínez 2019). Las altas concentraciones de nitrógeno en la bahía Oeste pueden estar asociadas a los aportes de agua de desechos originados por los núcleos urbanos asentados en esta zona litoral y a la descarga del río Puerto Santo. De la Lanza & Cáceres (1994) indican que los asentamientos urbanos incrementan el contenido de nitrógeno amoniacal por el aporte de aguas de desechos. Este aumento puede amortiguarse por dilución cuando las características de circulación y corrientes locales lo permiten, asociado a la geomorfología y condiciones pluviales y fluviales. Sin embargo, el aumento puede ser mayor si las condiciones ambientales se encuentran aisladas o confinadas. En el caso de la bahía Oeste la circulación restringida de las masas de agua propicia un incremento en los niveles de nitrógeno.

En la bahía Este los valores oscilaron entre 570 y 998 mg/kg, menores a los encontrados en la bahía Oeste, registrándose la máxima concentración de NT hacia la zona más protegida de la bahía (Est. 19), donde el grano sedimentario fino se encuentra en mayor concentración. En general estas concentraciones pueden estar asociadas al bajo contenido de materia orgánica, carbono orgánico, textura gruesa de los sedimentos e hidrodinámica presente en este ambiente sedimentario.

Las concentraciones determinadas en este estudio son mayores a los valores medios de NT reportados por Martínez & Martínez (2012) de 300 mg/kg en la fracción limos y $1{,}3\times10^3$ mg/kg en la fracción arcillosa de los sedimentos de la región Norte y Sur de la península de Paria, a los reportados por Mangones (2015) en sedimentos de la ensenada Grande del Obispo-Laguna Chica, Venezuela (244 mg/kg), Xu *et al.* (2017) en sedimentos a lo largo de la costa de Zhejiang, Mar Este de China (600 mg/kg), Zhou *et al.* (2018) en sedimentos de la plataforma del mar del Este de China (220-$1{,}51\times10^3$ mg/kg en Primavera y 270- $1{,}27\times10^3$ mg/kg en Otoño) y García (2019) en sedimentos de la bahía de Río Caribe, Venezuela (229 -545 mg/kg). Por otro lado, son inferiores al promedio ($4{,}22\times10^3$ mg/kg) reportado por Hurtado (2015) para el golfo de Cariaco.

Fósforo total (PT)

Los sedimentos de la bahía Oeste registraron máximas concentraciones de PT, con valores comprendidos entre 300 y $1{,}04\times10^3$ mg/kg con un promedio de 764 mg/kg, mientras que en la bahía Este se registraron concentraciones inferiores que oscilaron entre 72,1 y 237 mg/kg con poca variabilidad entre las estaciones, y un valor promedio de 170 mg/kg, mostrando el PT diferencias significativas entre bahías ($Kw_{(PT)}=34{,}7$; $p<0{,}0001$).

La distribución espacial del fósforo total en la bahía Oeste (Fig. 6) mostró las mayores concentraciones hacia la margen litoral de la bahía, coincidiendo con sedimentos de textura limo-arenosa, principalmente con los limos medios, con los altos contenidos de materia orgánica y de carbono orgánico. Los valores encontrados se pueden asociar con los asentamientos poblacionales ubicados en la franja litoral y actividades pesqueras desarrolladas en el área, aportando fósforo al ecosistema. Márquez *et al.* (2007) señalan que la deposición del fósforo en los sedimentos de la laguna Los Patos, proviene posiblemente desde las aguas que son vertidas por la planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra ubicada en el extremo Sur de la misma y caseríos aledaños a sus márgenes. De igual manera, el material sedimentario del río Puerto Santo transportado por las corrientes hacia la bahía Oeste contribuye con el aporte de PT en este ecosistema. García (2019) asocia el valor más alto de fósforo registrado en la bahía de Río Caribe, ubicada aproximadamente a 5,00 km al Este de El Morro de Puerto Santo, a los aportes de los ríos Nivaldo y Mauraco que desembocan en dicha bahía.

En las estaciones de mayor profundidad en la bahía, las altas concentraciones de fósforo total podrían asociarse igualmente a un gran aporte de materia orgánica reciente debido principalmente a procesos naturales que ocurren durante el período de surgencia que afecta a toda la costa nororiental de Venezuela, el cual contribuye como fuente principal de grandes

cantidades de especies químicas fosfatadas (López 2012; Martínez 2013; Hurtado 2015).

En la bahía Este las concentraciones de fósforo están relacionadas al grano arenoso con dominancia de arenas muy finas ($r_{(PT-AMF)}$=0,92), registrándose su máximo valor en la zona más resguardada de la bahía (Est. 19) asociado posiblemente a las arenas carbonatadas presentes en el área. Hurtado (2015) señala que el fósforo encontrado en ambientes de textura arenosa, con ausencia de lodos, y con poco contenido de materia orgánica tiene origen biogénico, y está asociado a los carbonatos. González (2017) indica que el contenido promedio de fósforo total determinado en sedimentos superficiales asociados a praderas de *Thalassia testudinun* se debe a las características arenosas del sedimento proveniente de las zonas costeras de Islote Caribe. Evans *et al*. (2004) y Marcano (2010) reseñan que, aunque es común hallar al fósforo concentrado en las fracciones más finas del sedimento, también es posible encontrarlo acumulado en las arenas medias e incluso en las gravas.

En los sedimentos de El Morro de Puerto Santo la fuerte asociación del fósforo total con el material orgánico ($r_{(MOT)}$=0,78; $r_{(COT)}$=0,76), puede sugerir que la mayor parte del fósforo presente en el sedimento es orgánico (Hernández 2013; Hurtado 2015).

Los valores promedios de las concentraciones de PT determinados en los sedimentos de El Morro de Puerto Santo son comparables a los reportados por Romero (2018) en la ensenada de Carenero, golfo de Cariaco para la época de lluvia (624 mg/kg) y sequía (174 mg/kg). Sin embargo, son mayores a los reportados por Martínez (2013) en sedimentos superficiales del Mar Caribe (450 mg/kg) pero más bajos a los reportados por Hurtado (2015) en los sedimentos del golfo de Cariaco los cuales oscilan entre 200 y 4,10×10^3 mg/kg, con un promedio de 920 mg/kg.

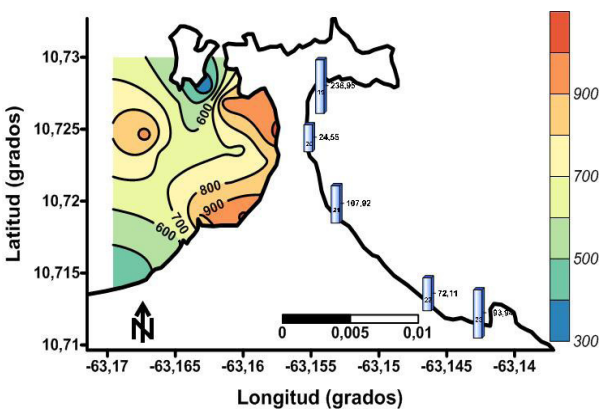


Fig. 6. Distribución espacial de fósforo total (PT) mg/kg en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

Razón COT/NT en los sedimentos

Los sedimentos costeros reciben materia orgánica de diferentes fuentes que incluyen la producción primaria fitoplanctónica, los aportes alóctonos terrígenos, fluviales y antrópicos (Graham *et al*. 2001; Lamb *et al*. 2006). Las proporciones elementales de C/N en los sedimentos superficiales tienen diferentes valores dependiendo de las fuentes y pueden usarse como marcadores para discriminar la procedencia de la materia orgánica en los ambientes marinos costeros (Vob & Struck 1997; Ruiz-Fuiz *et al*. 2002; Lamb *et al*. 2006; Holtgrieve *et al*. 2011; Kikumoto *et al*. 2014; Li *et al*. 2016; Kubo & Kanda 2017; Sanil Kumar *et al*. 2017; Yu & Zhang 2017; Zhou *et al*. 2018). Los organismos planctónicos suelen tener proporciones C/N entre 4 y 7, mientras que las plantas vasculares terrestres tienen proporciones C/N que suelen ser superiores a 12 (Redfield *et al*. 1963; Meyers 1994, 1997; Müller & Mathesius 1999; Kao *et al*. 2003; Ogrinc *et al*. 2005; Gu *et al*. 2010, 2017; Hu *et al*. 2012; Li *et al*. 2016; Xu *et al*. 2017).

En los sedimentos de la bahía Oeste la razón COT/NT promedió en 29,9 con valores mínimos de 3,76 y máximos de 81,9, mientras que en la bahía Este el promedio fue de 6,58 registrándose el valor máximo de 8,40 en la estación 21.

La figura 7a muestra la distribución espacial de la razón COT/NT en los sedimentos del área en estudio, registrándose en la bahía Oeste los máximos valores en la margen litoral, estos altos valores se podrían atribuir a la presencia variable de material terrígeno pobre en nitrógeno (Hedges 1992; Nasser 2012), materia orgánica de origen animal o una degradación preferencial de compuestos nitrogenados, luego disminuyen hacia el centro y estaciones más profundas de la bahía con valores de COT/NT que oscilan en un rango entre 4,00-14,0 indicando una mezcla de fuentes marinas y terrestres (Li *et al*. 2016; Gu *et al*. 2017). Además, se presentan valores altos superiores a 50 unidades hacia el extremo Suroeste debido a los aportes de materia orgánica de plantas superiores de origen continental.

Hurtado (2015) reportó valores promedios de C/NT para el sedimento del golfo de Cariaco de 9,73 inferiores

a los obtenidos en la bahía Oeste, indicando que esta relación es consistente con la materia orgánica de origen marino que se acumula en los sedimentos. E igualmente a los reportados por Martínez & Martínez (2012) en la zona occidental de la plataforma norte de la península de Paria, donde los valores de C/NT < 20,0 indican que esta es la zona más productiva del área, por el proceso de surgencia costera; por lo tanto, la materia orgánica que se deposita es de origen marino.

En la bahía Este los bajos valores de COT/NT son interpretados como una deposición/descomposición de materia orgánica de origen marino, que coinciden con la textura arenosa de los sedimentos y con la hidrodinámica presente en la zona, este tipo de sedimento se caracteriza por una baja capacidad de intercambio iónico entre la materia orgánica con las especies nitrogenadas, por lo que su fijación en el sedimento es muy poca (Primo & Carrasco 1973), las fuertes corrientes mantienen la masa de agua bien oxigenada y en un constante lavado sobre el sedimento por lo que el proceso de nitrificación es más acelerado, como consecuencia estas condiciones no permiten la deposición y acumulación de especies nitrogenadas en el sedimento. Igualmente, la disminución de las relaciones C/NT podría atribuirse principalmente a influencias antrópicas y/o a la sorción preferencial de N- inorgánico (NH_4^+) por los minerales arcillosos (Müller 1977; Schubert & Calvert 2001; Hu *et al*. 2006), MO terrígena (Hedges & Oades 1997; Ramaswamy *et al*. 2008) y/o descomposición microbiana (Ruttenberg & Goñi 1997; Hu *et al*. 2009; Xing *et al*. 2011). Estos valores (COT/NT) son comparables a los reportados por Hurtado (2015) en la zona occidental de golfo de Cariaco (2,57) donde predominan arenas gruesas y muy finas, e inferiores al valor mínimo reportado por Zhou *et al.* (2018) en sedimentos de la plataforma del mar del Este de China (4,69 en primavera y 4,78 en otoño) donde el grano textural es arenoso.

Por otro lado, la relación entre el NT y el COT (Fig. 7b) en los sedimentos recientes del área de estudio presenta tres agrupaciones diferentes de los datos que están estrechamente relacionados con los orígenes de la materia orgánica. Las estaciones cercanas a la línea de costa en la bahía Oeste (Estaciones 1 a la 7) presentan un muy bajo porcentaje de correlación (< 0,01%), con alto contenido de COT y bajas concentraciones de NT que posiblemente es materia orgánica de origen animal, principalmente restos de tejidos, sangre, grasas y vísceras de peces que son vertidos en esta zona. Las estaciones 8 a la 17, excluyendo a las 10 y 12, presentan una correlación muy significativa (94,1%), con las mayores concentraciones de COT como de NT, las cuales se encuentra ubicados a mayor profundidad y hacia el centro de la bahía y es materia orgánica alóctona en procesos de degradación. Un tercer grupo lo conforman las estaciones 10,12 y 19 a la 23, las cuales presentan una correlación baja (37,6%), con los bajos contenidos de COT (< 0,60%) y concentraciones intermedias de NT (500-1500 mg/kg) que pueden estar relacionadas con los aportes de materia orgánica alóctona de la producción primaria con las razones C/N muy cercanos al valor de Redfield (6,63) para el fitoplancton, la cual no es preservada en los sedimentos arenosos de este sector marino costero.

Análisis de componentes principales (ACP)

En el ACP las tres primeras componentes explican el 85,1% de la variancia total de los datos (Fig. 8a). La primera componente principal (F1) explica el 63,4% de la variabilidad de los datos y se encontró correlacionada

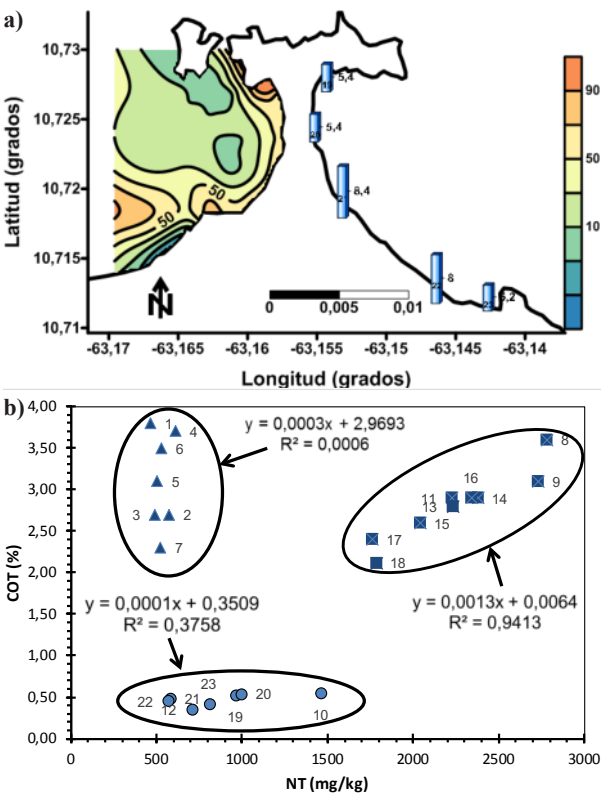


Fig. 7. Distribución espacial de la razón COT/NT (a) y relación COT/NT (b) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

positiva y significativamente con el grano textural grueso de los sedimentos y con los carbonatos sugiriendo un origen mixto, tanto biogénicos como litogénicos de los mismos. La segunda componentes (F2) explica el 16,1% de la variancia total y se correlacionó positivamente y significativamente con la fracción más fina de los sedimentos los lodos finos, la MOT, el COT, el PT, la relación C/NT y los limos finos, mostrando una fuerte asociación entre ellos, sugiriendo principalmente la absorción del fósforo en las fracciones finas del sedimento, posiblemente enlazado a los oxi-hidróxidos de hierro y aluminio tras la transformación de la materia orgánica y que los valores bajos de C/NT están asociado posiblemente a la fijación de N-inorgánico y, de manera especial, de NH_4^+ en minerales arcilloso presentes en los sedimentos (FASSBENDER & BORNEMISZA 1987) . Así mismo, la asociación entre el PT con la MOT y el COT sugieren que el fósforo total presente en el sedimento es orgánico, el cual podría estar potencialmente disponible en la columna de agua y desencadenar procesos de eutrofización, si se dan las condiciones para la desorción o transformación del fósforo orgánico (HERNÁNDEZ 2013).

Con respecto a las estaciones de muestreo (Figura 8b), en la componente F1 se agrupan las estaciones de la bahía Este y la estación 12 de la bahía Oeste asociadas a los $CaCO_3$ y sedimentos arenosos. La componente F2 agrupa a las estaciones más someras de la bahía Oeste, las cuales contribuyen a la relación C/NT, a la MO y al PT aportando materia orgánica terrígena pobre en nitrógeno, y de grandes cantidades de fósforo al ecosistema, asociada a las actividades antrópicas que se desarrollan en sus márgenes, mientras que las de mayor profundidad sugieren la procedencia de origen marino de la materia orgánica, preservada en el material fino del sedimento (lodos).

CONCLUSIONES

Los sedimentos de El Morro de Puerto Santo están constituidos mayormente por limos y arenas, las variables geoquímicas estudiadas como carbono orgánico, materia orgánica, carbonatos, NT y PT presentaron comportamientos y patrones de distribución similares en ambas bahías, asociados estos últimos a las distribuciones de las fracciones granulométricas y material orgánico presente en cada zona.

La relación COT/NT indicó que la procedencia de la materia orgánica existente en los sedimentos de El Morro de Puerto Santo se origina a partir de fuentes autóctonas (eventos de surgencia costera), contaminación orgánica generada por las actividades antrópicas que se desarrollan en sus márgenes y que impactan la margen litoral de la bahía Oeste, y a los aporte continentales a través del escurrimiento costero, siendo el nitrógeno el elemento limitante de la productividad primaria en el ecosistema y que controla la relación COT/NT.

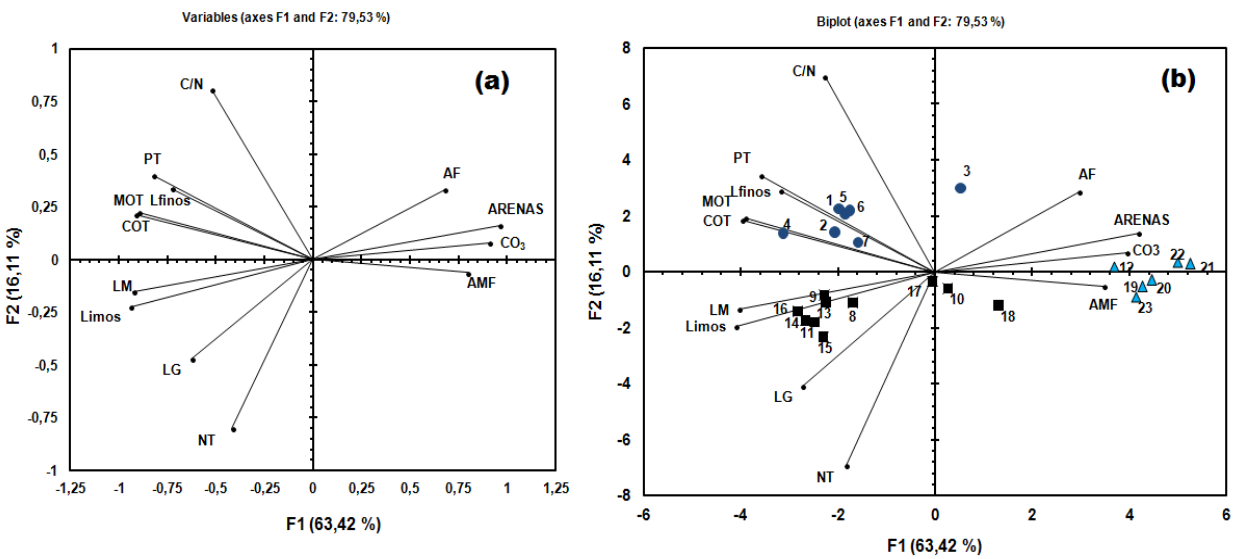


Fig. 8. Representación ortogonal de los dos componentes principales para las variables estudiadas (a) y estaciones (b) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

La preservación de la materia orgánica en los sedimentos recientes en las bahías estudiadas está condicionada por la composición textural de los sedimentos y la hidrodinámica presente en cada ambiente sedimentario.

REFERENCIAS

Aguilera, D. 2005. *Evaluación geoquímica de los sedimentos superficiales de las bahías Este y Oeste de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 127 pp.

Anderson, D. M., P. M. Glibert & J. M. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*. 25(4): 704–726.

Aranguren, N. 2012. *Determinación de mercurio en los sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. M.Sc en Química, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 93 pp.

Aston, S. & C. Hewitt. 1997. Phosphorus and carbon distribution in a polluted coastal environment. *Estuar. Coast Mar. Sci*. 5(1&2): 243-254.

Aufdenkampe, A. K., E. Mayorga, P. A. Raymond, J. M. Melack, S. C. Doney, S. R. Alin, R. E. Alto & K. Yoo. 2011. Riverine coupling of biogeochemical cycles between land, oceans, and atmosphere. *Front. Ecol. Environ*. 9: 53–60.

Bonilla. J., S. Aranda, C. Ramírez, J. Moya & L. Espinosa. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, Edo. Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 42(1&2): 3-27.

Boyer, J., J. Fourqueran & R. Jones. 1997. Spatial characterization of water quality in Florida Bay and Whitewater bay by multivariate analyses: zones of similar influence. *Estuaries*. 20(4): 743-758.

Brito, F., G. Martínez & D. Romero. 2014. Distribución de los hidrocarburos alifáticos en los sedimentos superficiales de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 53(2): 151-160.

----------. 2019. *Geoquímica de hidrocarburos y calidad ambiental de los sedimentos recientes del sector marino costero de El Morro de Puerto Santo, Venezuela*. Trab. Grad. MSc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 195 pp.

Burdige, D. J. 2007. Preservation of organic matter in marine sediments: controls, mechanisms, and balance in sediment organic carbon budgets?. *Chem. Rev.* 107: 467–485.

Byers, S., E. Mills & P. Stewart. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. *Hydrobiologia*. 58(1): 43-47.

Cai, W., X. Hu, W. Huang, M. C. Murrell, J. C. Lehrter, S. E. Lohrenz, W. Chou, W. Zhai, J. T. Hollibaugh, Y. Wang, P. Zhao, X. Guo, K. Gundersen, M. Dai & G. Gong. 2011. Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nat. Geosci*. 4(11): 766–770.

Dai, J. C., J. M. Song, X. G. Li, H. M. Yuan, N. Li & G. X. Zheng. 2007. Environmental changes reflected by sedimentary geochemistry in recent hundred years of Jiaozhou Bay, North China. *Environ. Pollut*. 145: 656–667.

De La Lanza, G. 1986. Materia orgánica de los sedimentos del sistema lagunar Huinzache y Caimanero: Importancia, comportamiento y significado en módulos de predicción. *An. Inst. Cienc. Mar* y *Limnol. Univ. Nac. México.* 13: 51-286.

----------. & C. Cáceres. 1994. *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Editorial la Paz: Universidad Autónoma de Baja California Sur. Primera edición. México. 525 pp.

Evans, D., P. Johnes & D. Lawrence. 2004. Physico-Chemical controls on phosphorus cycling in two lowland streams. Part 2- The sediment phase. *Sci. Total Environ*. 329: 165-182.

Fassbender, H. & E. Bornemisza. 1987. *Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Segunda edición. Editorial IICA. 420 pp.

Folk, R. 1978. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Second Edition. Hemphill Publishing Company, Austin, USA. 184 pp.

García, R. 2019. E*valuación de las características granulométricas y contaminación orgánica en sedimentos de la bahía de río Caribe, municipio*

Arismendi, estado Sucre, Venezuela. Trab. Grad. Lic. Químico, Universidad de Oriente, Cumana, Venezuela, 87 pp.

González, J. P. 2017. *Estudio geoquímico en sedimentos asociados a praderas de thalassia testudinum, ubicadas en los Islotes Caribe, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. MSc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 108 pp.

Graham, M. C., M. A. Eaves, J. G. Framer, J. Dobson & A. E. Fallick. 2001. A study of carbon and nitrogen stable isotope and elemental ratios as potential indicators of source and fate of organic matter in sediments of the Forth estuary, Scotland. *Estuar. Coast. Shelf Sci*. 52: 375–380.

Gu, Y. G., Z. H. Wang, S. H. Lv, Y. F. Yang, J. Feng, J. Fang, Y. H. Shu & D. H. Mu. 2010. Distribution of biogenic elements and potential contamination assessment in surface sediments from western Guangdong coasts (in Chinese). *J. Shenzhen Univ. Sci. Eng*. 27: 347–353.

----------, J. Ouyang, J. J. Ninga & Z. H. Wanga. 2017. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in surface sediments from the largest mariculture zone of the eastern Guangdong coast, South China Yang. *Mar. Pollut. Bull*. 120(1-2): 286-291.

Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. J. *Commun. in Soil Sci. Plant. Anal*. *15:* 1191-1213.

Hedges J. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Mar Chem.* 39: 67–93.

----------. & J. M. Oades. 1997. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments. *Org. Geochem*. 27(7&8): 319–361.

Hernández, D. 2013. *Fraccionamiento de fósforo en sedimentos superficiales del sector oriental del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.* Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 93 pp.

Holtgrieve, G. W., D. E. Schindler, W. O. Hobbs, P. R. Leavitt, E. J. Ward, L. G. Bunting, B. P. ChenFinney, I. Gregory-Eaves, S. Holmgren, M. J. Lisac, P. J. Lisi, K. Nydick, L. A. Rogers, J. E. Saros, D. T. Selbie, M. D. Shapley, P. B. Walsh & A. P. Wolfe. 2011. A coherent signature of anthropogenic nitrogen deposition to remote watersheds of the northern hemisphere. *Science.* 334: 1545–1548.

Hu, J. F., P. A. Peng, G. D. Jia, B. X. Mai & G. Zhang. 2006. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in sediments of the subtropical Pearl River estuary and adjacent shelf, southern China. *Mar. Chem*. 98: 274–285.

Hu, L. M., Z. G. Guo, J. L. Feng, Z. S. Yang & M. Fang. 2009. Distributions and sources of bulk organic matter and aliphatic hydrocarbons in surface sediments of the Bohai Sea, China. *Mar. Chem*. 113(3&4): 197–211.

----------, X. Shi, Z. Yu, T. Lin, H. Wang, D. Ma, Z. Guo & Z. Yang. 2012. Distribution of sedimentary organic matter in estuarine–inner shelf regions of the East China Sea: Implications for hydrodynamic forces and anthropogenic impact. *Mar. Chem.* 142-144: 29–40.

Hurtado, R. 2015. *Geoquímica de C, N, P y S en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. M.Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 146 pp.

INE. 2014. XIV *Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Sucre*. Gerencia General de Estadísticas Demográficas, Gerencia de Censo Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística, República de Venezuela. 97 pp.

Johnson, R. & D. Wichern. 1992. *Applied multivariate statistical analysis*. Tercera Edición. Prentice-Hall Int. New York, USA. 642 pp.

Kao, S. J., F. J. Lin & K. K. Liu. 2003. Organic carbon and nitrogen contents and their isotopic compositions in surficial sediments from the East China Sea Shelf and the southern Okinawa Trough. *Deep Sea Res*. 50(2): 1203–1217.

Kemp, W. M., J. M. Testa, D. J. Conley, D. Gilbert & J. D. Hagy. 2009. Temporal responses of coastal hypoxia to nutrient loading and physical controls. *Biogeosciences*. 6(12): 2985–3008.

Kikumoto, R., M. Tahata, M. Nishizawa, Y. Sawaki, S. Maruyama, D. Shu, J. Han, T. Komiya, K. Takai & Y. Ueno. 2014. Nitrogen isotope chemostratigraphy

of the Ediacaran and Early Cambrian platform sequence at Three Gorges, South China. *Gondwana Res.* 25: 1057–1069.

Koziorowska, K., K. Kuliński & J. Pempkowiak. 2016. Sedimentary organic matter in two Spitsberg en fjords: terrestrial and marine contributions based on carbon and nitrogen contents and stable isotopes composition. *Cont. Shelf Res*. 113: 38–46.

Kubo, A. & J. Kanda. 2017. Seasonal variation sand sources of sedimentary organic carbon in Tokyo Bay. *Mar. Pollut. Bull*. 114: 637–643.

Lamb, A. L., G. P. Wilson & M. J. Leng. 2006. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}C$ and C/N ratios in organic material. *Earth Sci. Rev*. 75: 29–57.

Lara, S., C. Suárez & E. Marcucci. 1997. *Atlas morfodinámico costero de Venezuela*. UPEL-Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela. 99 pp.

Li, Y., H. B. Zhang, C. Tu, C. C. Fu, Y. Xue & Y. M. Luo. 2016. Sources and fate of organic carbon and nitrogen from land to ocean: identified by coupling stable isotopes with C/N ratio. *Estuar. Coast. Shelf Sci*. 181: 114–122.

López, E., J. De la Rosa, F. González, J. González & D. Manning. 2006. Elucidation of different forms of organic carbon in marine sediments from the Atlantic coast of Spain using thermal analysis coupled to isotope ratio and quadrupole mass spectrometry. *Org. Geochem*. 37(12): 1983-1994.

López, R. 2012. *Fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos superficiales del sector central del golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Químico, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 87 pp.

Mangones, A. 2015. *Estudio geoquímico de algunos componentes de la materia orgánica en los sedimentos superficiales del sector marino costero de la ensenada Grande del Obispo y laguna Chica, Venezuela*. Trab. Grad. M.Sc. Ciencias Marinas, Universidad de oriente, Cumaná, Venezuela, 87 pp.

Marcano, E. 2010. *Distribución espacial de fósforo en sedimentos superficiales del Lago de Valencia*. Trab. Grad. Lic. Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 80 pp.

Márquez, A., W. Senior, G. Martínez & A. González. 2007. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la Laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 46(2)*:* 137-145.

Martínez, A. 2013. *Fraccionamiento de fósforo en sedimentos superficiales del mar Caribe*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 69 pp.

Martínez, G. 2016. *Estudio geoquímico y ambiental de los sedimentos del golfo de Cariaco, Venezuela*. Trab. Grad. Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 226 pp.

----------. 2019. *Calidad ambiental de los sedimentos recientes del Golfo de Cariaco. Estudio geoquímico ambiental*. Editorial Académica Española. Mauricius. 209 pp.

Martínez, H. 2006. Estudio socioeconómico del centro poblado "El Morro de Puerto Santo". Municipio Arismendi. Estado Sucre, 57 pp. Disponible en http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/informesocial-morro-puerto-santo/ informe-social-morropuerto-santo.pdf.

Martínez, M. & G. Martínez. 2012. Organic carbon, phosphorus and nitrogen in surface sediments of the marine-coastal region north and south of the Paria Peninsula, Venezuela. *Environ. Earth. Sci*. 65: 429–439.

Meyers, P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chem. Geol.* 144(3&4): 289–302.

Müller, A. 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Org. Geochem*. 27: 213–250.

----------& U. Mathesius. 1999. The palaeoenvironments of coastal lagoons in the southern Baltic Sea, I. The application of sedimentary Corg/N ratios as source indicators of organic matter. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol*. 145: 1–16.

Murphy, J. & H. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Acta. Anal. Chem.*12: 162-170.

Nasser, K. 2012. *Estudio de la distribución de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre en los sedimentos de fondo de la cuenca del río Tuy, Venezuela*. Trab. Grad.

Lic. Química, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 135 pp.

Ning, X. R., C. L. Lin, J. L. Su, C. G. Liu, Q. Hao, F. F. Le & Q. S. Tang. 2010. Long-term environmental changes and the responses of the ecosystems in the Bohai Sea during 1960–1996. Deep-Sea Res. II Top. *Stud. Oceanogr*. 57(11): 1079–1091.

Ogrinc, N., G. Fontolan, J. Faganeli & S. Covelli. 2005. Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Mar. Chem*. 95: 163–181.

Pinto, F. 2012. *Batimetría y evaluación de sedimentos recientes del golfo de Cariaco, Venezuela*. Trab. Grad. M.Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 99 pp.

Primo, E. & J. Carrasco. 1973. *Química Agrícola.* Editorial Alhambra, S. A. España. 471 pp.

Quintero, A., L. Caraballo, J. Bonilla, G. Terejova & R. Rivadula. 2006. Sedimentos Marino Costeros del golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 45(2): 127-139.

Rabalais, N. N., W. J. Cai, J. Carstensen, D. J. Conley, B. Fry, X. P. Hu, Z. Quinones-Rivera, R. Rosenberg, C. P. Slomp, R. E. Turner, M. Voss, B. Wissel & A. J. Zhang. 2014. Eutrophication-driven deoxygenation in the coastal ocean. *Oceanography*. 27(1): 172–183.

Ramaswamy, V, B. Gaye, P. Shirodkar, P. Rao, A. Chivas, D. Wheeler & S. Thwin. 2008. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopic signatures in sediments from the Ayeyarwady (Irrawaddy) continental shelf, northern Andaman Sea. *Mar. Chem*. 111: 137–150.

Rauret, G., R. Rubio, J. López & E. Casassas. 1988. Determination and speciation of copper of a river Mediterrane an (River Tenes. Catalonia Spain). *Water Res.* 22: 449-455.

Redfield, A., B. Ketchum & F. Richards. 1963. *The influence of organism on the composition of sea water.* In: *The sea Intersci*. (Ed.). M. Hill. New York, 26-76 pp.

Rodríguez, G. 2000. *El Sistema del Lago de Maracaibo*. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas (IVIC). Caracas,Venezuela. 264 pp.

Rodríguez, M. 2012. *Caracterización mineralógica de las fracciones de arena y grava de los sedimentos del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 166 pp.

Romero, P. 2018. *Variación espacio temporal de la fauna bentónica y geoquímica de los sedimentos superficiales de la ensenada de Carenero, golfo de Cariaco*. Trab. Grad. M.Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 108 pp.

Ruiz-Fuiz, A. C., C. Hillaire-Marcel, B. Ghaleb, M. Soto-Jimenez & F. Páez-Osuna. 2002. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, northwestern México: geochemical evidence from organic matter and nutrients. *Environ. Pollut*. 118: 365–377.

Ruttenberg, K. C. & M. A. Goñi. 1997. Phosphorus distribution, C:N:P ratios and δ ^{13}Coc in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Mar. Geol*. 139: 123–145.

Sanil Kumar, K. S., S. M. Nair, P. M. Salas & E. Cheriyan. 2017. Distribution and sources of sedimentary organic matter in Chitrapuzha, a tropical tidal river, southwest coast of India. *Environ. Forensic*. 18(2): 135–146.

Schubert, C. J & S. E. Calvert. 2001. Nitrogen and carbon isotopic composition of marine and terrestrial organic matter in Arctic Ocean sediments: implications for nutrient utilization and organic matter composition. *Deep Sea Res*. 48(3): 789–810.

Sheppard, F. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *J. Sediment. Petrol*. 24(3): 151-158.

Soto-Jiménez, M., F. Paéz-Osuna & A. C. Ruiz-Fernández. 2003. Geochemical evidences of the anthropogenic alteration of trace metal composition of the sediments of Chiricahueto marsh (S-E Gulf of California). *Environ. Pollut.* 125: 423–432.

Tang, Q., X. Jin, J. Wang, Z. Zhuang, Y. Cui & T. Meng. 2003. Decadal-scale variations of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea. *Fish. Oceanogr*. 12(4&5): 223–233.

Tosiani, T., C. Yánez & A. Ramírez. 2005. *Sedimentos recientes frente al delta del Orinoco, Venezuela.* En: *Frente Atlántico venezolano. Investigaciones*

Geoambientales: Ciencias de la tierra. (Eds.). M. Gómez, M. Capaldo, C. Yanes & A. Martín. Tomo II. Petróleos de Venezuela (PDVSA), S.A. Fondo Editorial Fundambiente, Caracas, Venezuela. 159 pp.

Treguer, P. & P. Le Corre. 1975. *Manuel danallisise des sels nutritifs dans lean MER.* Universite de Bretagne Occidentale, France. 110 pp.

Valdés, G. 2013. *Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos de la Laguna de Términos, Campeche, México*. Trab. Grad. M.Sc. Biología, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad IZTAPALAPA, México, 136 pp.

Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of total Nitrogen and total Phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 10: 109-122.

Vob, M. & U. Struck. 1997. Stable nitrogen and carbon isotopes as indicator of eutrophication of the Oder river (Baltic sea*). Mar. Chem*. 59: 35–49.

Walkley, A. & I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil. Sci. Am. Proc*. 37: 29 – 38.

Wang, B.D. 2006. Cultural eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) plume: history and perspective. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 69: 471–477.

----------, M. Xin, Q. S. Wei & L. P. Xie. 2018. A historical overview of coastal eutrophication in the China Seas. *Mar. Pollut. Bull*. 136: 394–400.

Wang, J. H. & J.Y. Wu. 2009. Occurrence and potential risks of harmful algal blooms in the East China Sea. *Sci. Total Environ*. 407: 4012–4021.

Wang, J. J., Z. G. Yu, Q. S. Wei & Q. Z. Yao. 2018. Long-term nutrient variations in the Bohai Sea over the past 40 years. *J. Geophys*. Res. https://doi.org/10.1029/ 2018JC014765.

Wentworth, C. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geology*. 30: 377 – 392.

Wu, Z. X., Z. M. Yu, X. X. Song, Y. Q. Yuan, X. H. Cao & Y. B. Liang. 2013. The spatial and temporal characteristics of harmful algal blooms in the southwest Bohai Sea. *Cont. Shelf Res*. 59: 10–17.

Xing, L., H. Zhang, Z. Yuan, Y. Sun & M. Zhao. 2011. Terrestrial and marine biomarker estimates of organic matter sources and distributions in surface sediments from the East China Sea shelf. *Cont. Shelf Res*. 31(10): 1106–1115.

Xu, G., J. Liu, G. Hu, T. N. Jonell & L. Chen. 2017. Distribution and source of organic matter in surface sediment from the muddy deposit along the Zhejiang coast, East China Sea. *Mar. Pollut. Bull*. 123(1&2): 395-399.

Yu, J & H. Zhanga. 2017. Source apportionment of sediment organic material in a semi-enclosed sea using Bayesian isotopic mixing model. *Mar. Pollut. Bull*. 119: 365–371.

Yunev, O. A., J. Carstensen, S. Moncheva, A. G. KhaliulinÆrtebjerg & S. Nixon. 2007. Nutrient and phytoplankton trends on the western Black Sea shelf in response to cultural eutrophication and climate changes. *Estuar. Coast & Shelf Sci.* 74(1): 63–76.

Zhou, F., X. Gao, H. Yuan, J. Song & F. Chenb. 2018. The distribution and seasonal variations of sedimentary organic matter in the east china sea shelf. *Mar. Pollut. Bull*. 129: 163–171.

Recibido: Mayo 2020
Aceptado: Octubre 2020

Bol. Inst. Oceanog. Venez. 59(02): 34-42 (2020) 03 Figs., 01Tab.

EL MATAGUARO *CRENICIHLA GEAYI* PELLEGRIN 1903: A UNA DÉCADA DE SU REPORTE EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MANZANARES, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

Salazar, S.K. [1*], Salazar Miranda, H.[2], Gómez Marval, B[3]. & Alfonsi Rojas, C[4].

[1]*Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. *Autor de correspondencia: salazarsinatra32@gmail.com.*

[2]*Departamento de Biología. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre. Email: henryjose152@gmail.com*

[3]*Departamento de Biología. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre. Email: bladimirgomezm@gmail.com*

[4]*Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Email: calfonsir@hotmail.com.*

RESUMEN: Las Especies Exóticas Invasoras (EEI) son una de las principales causas de la disminución de la diversidad a nivel mundial, y en el caso de organismos acuáticos es muy amplia la lista de introducciones de especies de peces de agua dulce. La cuenca hidrográfica del Manzanares en el estado Sucre, no ha escapado a este fenómeno y sus consecuencias, estudiándose desde la década de los 60 y reportando la presencia de cíclidos invasores como la petenia y la tilapia. En el 2007 se reportó por primera vez en la cuenca, la presencia del matagauaro *Crenicichla geayi* en río Cedeño. Luego de trece años de su aparición, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la distribución de *C. geayi,* considerada especie invasora en esta cuenca. Los resultados evidencian el ascenso y distribución de la especie en la cuenca alta y media, destacando su presencia mayormente en los afluentes del Manzanares, además de sus poblaciones establecidas, su efecto más notorio dentro del ecosistema es la disminución aparente por depredación, de las poblaciones del camarón de río del género *Macrobrachium*. En este contexto, *C. geayi* puede considerarse un invasor exitoso luego de más de una década de su aparición. La necesidad de estudios sobre el comportamiento, evolución y consecuencias de las EEI en las poblaciones autóctonas, aunado a una adecuada gestión preventiva y educación ambiental a los pobladores, son las acciones más efectivas para reducir las introducciones.

Palabras clave: Cichlidae, exótico, especie invasora, *Crenicichla*, río Manzanares.

ABSTRACT: Invasive Exotic Species (IAS) is one of the main causes of the decrease in diversity worldwide, and in the case of aquatic organisms the list of introductions of freshwater fish species is very wide. The Manzanares watershed in the Sucre state has not escaped this phenomenon and its consequences, being studied since the 1960s and reporting the presence of invasive cichlids such as petenia and tilapia. In 2007, the presence of the matagauaro *Crenicichla geayi* in the Cedeño River was reported for the first time in the basin. After thirteen years after its appearance, this research aimed to evaluate the distribution of *C. geayi*, considered an invasive species in this basin. The results show the ascent and distribution of the species in the upper and middle basin, highlighting its presence mainly in the tributaries of the Manzanares, in addition to its established populations, its most notable effect within the ecosystem is the apparent decrease by predation, of the populations of river shrimp of the genus *Macrobrachium*. In this context, *C. geayi* can be considered a successful invader after more than a decade of its appearance. The need for studies on the behavior, evolution and consequences of IAS in indigenous populations, together with adequate preventive management and environmental education for residents, are the most effective actions to reduce introductions.

Key Words: Cichlidae, exotic, invasive species, *Crenicichla*, Manzanares River

INTRODUCCIÓN

Actualmente las actividades humanas, la globalización, y más recientemente el cambio climático ha incrementado seriamente la introducción de especies, es decir el movimiento directo o indirecto, de un organismo desde su rango nativo de distribución a uno fuera de éste. Estas especies cuando poseen capacidad para establecerse e invadir grandes áreas son denominadas Especies Exóticas Invasoras (EEIs) y se consideran como una de las principales causas de la disminución de la diversidad biológica, provocando graves daños a los ecosistemas: desequilibrios ecológicos entre las poblaciones, cambios en la estructura, funcionamiento y composición de las comunidades, pérdida de poblaciones naturales, reducción de la diversidad genética y transmisión de enfermedades que

afectan la salud humana, la flora y fauna silvestre (Pérez *et al.* 2010; CONABIO 2016; Frehse *et al*. 2016; Patoka *et al*. 2018).

Las especies introducidas también pueden ser nativas y en este sentido, se les conoce como especies traslocadas, trasplantadas o transferidas, es decir, cuando los movimientos de las especies ocurren de una zona a otra (no de manera natural) dentro de una misma región geográfica. Las especies exóticas traslocadas, cuando son introducidas a nuevos ambientes, ejercen efectos similares a los causados por especies exóticas, sobre la diversidad nativa (Pérez *et al.* 2007; Gutiérrez-Bonilla & Álvarez-León 2011; Teimori *et al.* 2017).

Las introducciones de exóticos acuáticos, pueden ser deliberadas (con fines para mejorar las pesquerías, la acuicultura y ornamentales) y accidentales como son los movimientos de organismos a través de la construcción de canales, en el agua de lastre y como organismos adheridos a los cascos de las naves (Pérez *et al.* 2010; Salazar *et al*. 2016). Esta actividad reviste ganancias económicas importantes generadas al explotar nuevos recursos, pero también importantes pérdidas cuando se trata de recuperar el posible daño ambiental ligado a esta actividad.

Los ecosistemas acuáticos continentales se encuentran entre los más intensamente afectados por la introducción de EEIs y, en el caso de las comunidades de peces, se ha registrado una larga lista de introducciones de especies de peces de agua dulce, no todos con efectos notables en sus nuevos ecosistemas, pero si muchos de ellos con importantes impactos ecológicos, evolutivos y económicos (Cucherousset & Olden 2011; Oliva Paterna *et al.* 2017).

En el estado Sucre, investigaciones han reseñado la presencia de especies exóticas invasoras como los gasterópodos *Tarebia granifera*, *Melanoides tuberculata*, *Achatina fulica* y los peces cíclidos *Caquetaia kraussi, Oreochromis mossambicus,* petenia y tilapia respectivamente en la cuenca hidrográfica del Manzanares y la laguna litoral de Los Patos (Salazar *et al*. 2018). Royero-León & Lasso-Alcalá (1992) han descrito la introducción, distribución y aspectos ecológicos de la Petenia en Venezuela, mientras que la tilapia ha sido reseñada en la ciudad de Cumaná desde la década de los 60 en los trabajos pioneros de Carvajal (1965), Aguilera & Carvajal (1976) y Jiménez (1977) y han sido consideradas causantes de la reducción en el número de especies nativas de peces, tal como se demostró en la laguna litoral Los Patos en la ciudad de Cumaná en el estado Sucre.

Nirchio & Pérez (2001); Pérez *et al.* (2003); Ruiz *et al.* (2005) señalaron que la introducción principalmente de la tilapia, ha generado daños en el ecosistema, llegando a observarse juveniles y adultos de esta especie en las proximidades de los vertederos de aguas domésticas al Golfo de Cariaco, así mismo la captura en el mar de individuos sexualmente maduros y adultos con alevines en la boca, son un claro indicio de la adaptación y reproducción en el medio marino. Aunado a este escenario esta especie invasora alcanzó la cuenca media del río Manzanares y sus afluentes.

El género *Crenicichla* comprende más de 85 especies válidas (Kullander 2003; Kullander & Lucena 2006; Mattos *et al*. 2014) y es reconocido como uno de los más ricos, lo que ha conllevado a que sea revisado repetidamente y numerosas investigaciones han adicionado nuevas especies (Kullander 2003; Casciotta *et al.* 2006; Kullander & Lucena 2006; Kullander & Santos de Lucena 2013; Mattos *et al.*, 2014; White 2016).

Crenicichla geayi o mataguaro, es considerado un pez de uso ornamental (Román 1992) y ha sido reportado previamente en el eje de las cuencas costeras de Aroa, Yaracuy y Tuy, eventualmente en algunas pequeñas cuencas del litoral central y cuenca del golfo de Paria (Lasso & Machado-Allison, 2000; Lasso *et al.* 2004; Lasso *et al.* 2010). Fue reportado por primera vez para la cuenca del río Manzanares por Salazar *et al.* (2007).

Pobladores de la cuenca, han señalado la introducción de esta especie, y destacan el aumento en su población, considerándolo un invasor que aparentemente ha mermado las poblaciones de camarón del género *Macrobrachium*. En este escenario se estima que el mataguaro *C. geayi* es una especie introducida en el sistema río Manzanares, posiblemente por actividades de acuariofilia y la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la distribución de la especie en la cuenca hidrográfica del río Manzanares, luego de más de una década de su primer reporte.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Manzanares tiene alrededor de 1.652 km^2, el cauce principal del río recibe por su margen derecho 9 ríos, 13 riachuelos y quebradas y por

el margen izquierdo 14 ríos principales y 6 secundarios. Posee una cota máxima de 2.300 msnm en el Cerro Las Peonias y una mínima a nivel del mar, en el Golfo de Cariaco, con una longitud de 81 km. (Márquez *et al.* 2002; Ruíz *et al.* 2005; Salazar *et al.* 2018). El régimen pluviométrico de la cuenca se caracteriza por un período de sequía de diciembre a junio, y el periodo de lluvia de julio a noviembre, (Aparicio 2003; Senior 2003; Medina *et al.* 2013).

Se realizaron capturas en la cuenca hidrográfica del río Manzanares durante el periodo de sequía y lluvia del año 2017. Por fines prácticos y tomando la descripción por tramos de acuerdo a Senior *et al.* (2004), la cuenca se dividió en secciones (alta, media y baja) con base a diferencias determinadas por el gradiente altitudinal, estableciéndose 31 estaciones (Fig. 1). Para efecto de la captura de peces, se empleó una red de 5 m de largo por 1,15 de alto y diámetro de malla variable (en el centro 3mm y en los extremos 10mm). En cada estación, se efectuaron cinco lances con duración de cinco minutos cada uno y arrastre de 10 metros aproximadamente. Los organismos capturados se fotografiaron, y almacenaron para su traslado al Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV-UDO). Para la identificación de la especie, se empleó la descripción de Rodríguez-Olarte & Taphorn (2007) y Urbano-Bonilla *et al.* (2018). También se utilizó como herramienta de ayuda en la identificación de la especie la Base de datos de la FAO (Froese & Pauly 2019).

RESULTADOS Y DISCUSÓN

Los ejemplares capturados se corresponden con la descripción taxonómica de la especie *Crenichla geayi* (Rodríguez-Olarte & Taphorn 2007; Salazar *et al.* 2007; Urbano-Bonilla *et al.* 2018, Froese & Pauly

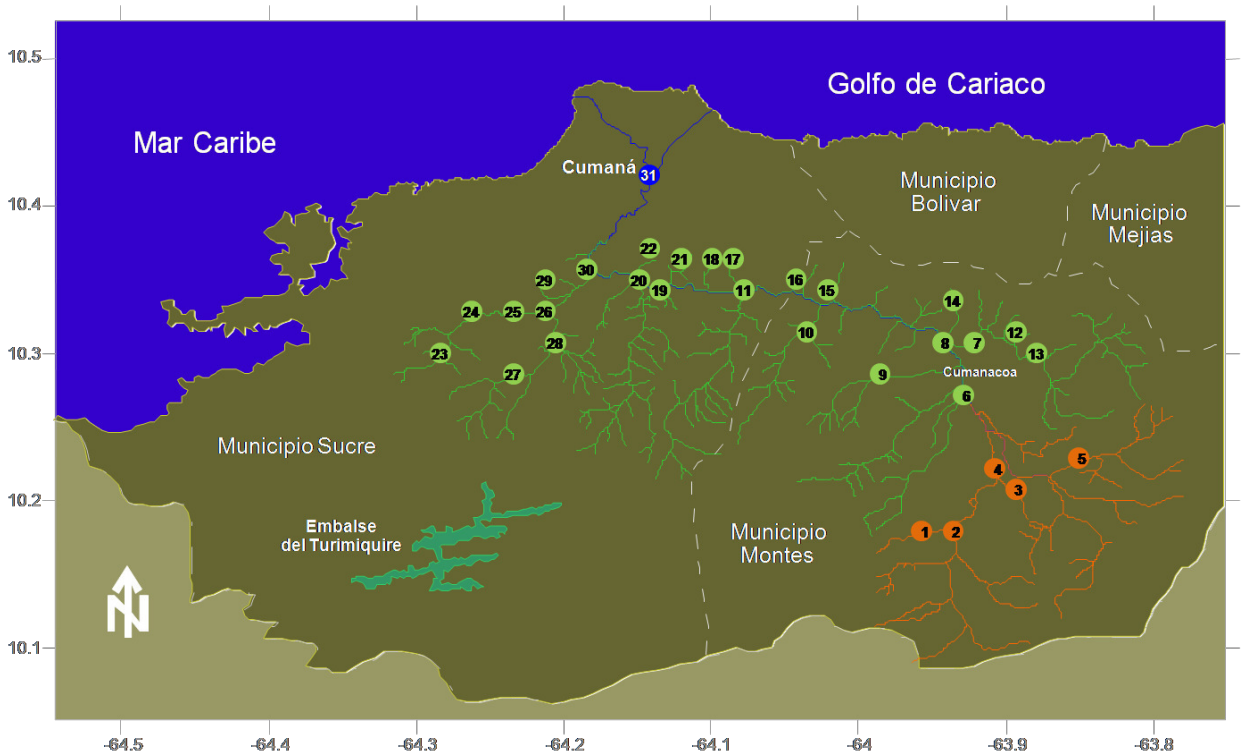


Fig. 1. Ubicación de las zonas de muestreo en la cuenca hidrográfica del río Manzanares (Fuente Senior *et al.* 2004, modificado por S. Salazar). **Cuenca Alta (líneas y puntos naranja):** E_1: Río Yoraco, E_2: Río Manzanares/Yoraco, E_3: Río Orinoco, E_4: Río Manzanares/La Fuente, E_5: Aguas blancas. **Cuenca Media (líneas y puntos verde)**: E_6: RM/ puente Cumanacoa, E_7: Río Aricagua, E_8: RM/ puente después de Cumanacoa, E_9: Río Caribe, E_{10}: Río Arenas, E_{11}: RM/ Río Cedeño, E_{12}: San Juan/San Fernando 1, E_{13}: San Juan/San Fernando 2, E_{14}: Quebrada Lucas Pérez, E_{15}: Quebrada las Coronas, E_{16}: Río Manzanares/El Chaco, E_{17}: Quebrada El Imposible, E_{18}: Quebrada Mata Redonda, E_{19}: RM/Tataracual, E_{20}: Río Manzanares/ Río Brito, E_{21}: Quebrada Guaripa, E_{22}: Quebrada Coro, E_{23}: Río Guaranache arriba 1, E_{24}: Río Guaranache arriba 2, E_{25}: Río Guaranache abajo 3, E_{26}: Río Guaranache entrada 4, E_{27}: La poza del Guardia, E_{28}: Quebrada Tremaria, E_{29}: Río Cancamure, E_{30}: San Juan. **Cuenca Baja (líneas y punto azul)**: E_{31}: Las compuertas del Río Manzanares.

2019). Se colectaron organismos en los que se evidenció dimorfismo sexual, los machos con la aleta dorsal de un intenso color rojo (Fig. 2).

Durante el periodo de sequía se capturó un total de 1.308 organismos, considerando todas las especies en la cuenca alta y media, *C. geayi* representó durante este periodo el 11.46% de la pesca total (226 organismos). Sin embargo, en la cuenca alta *C. geayi* constituyó 18,72% de la pesca (120 ejemplares) mientras que en la cuenca media alcanzó el 8,1% (106 individuos). Los mayores porcentajes de captura estuvieron representados por las especies *Poecilia reticulata, Creagrutus bolivari* y *Astyanax bimaculatus*.

Se recolectaron organismos en 20 de las 31 estaciones, es decir 66,6% del área de muestreo, el 50% de éste fueron afluentes o quebradas en la cuenca alta y media del Manzanares. Las características propias de la estación de sequía, principalmente el poco caudal del río, así como la fuerza de corrientes poco intensas, permiten una fácil captura de los organismos, especialmente las quebradas y afluentes, en las que se refugian por la búsqueda de alimento que quedan represadas cuando baja el nivel del agua. Durante este periodo en la cuenca alta, se evidenció el mayor número de organismos colectados (Tabla 1), en comparación con la cuenca media.

En el periodo de lluvia *C. geayi* representó el 1,13% del total de la pesca (22 organismos): tres ejemplares (3,26%) capturados en la cuenca alta y 19 (5,45%) en la cuenca media. Los mayores porcentajes de captura fueron de *P. reticulata* y *C. bolivari*. Solo se capturaron organismos en 11 de las 30 estaciones distribuidas en la cuenca del Manzanares, es decir 33% del área de muestreo, y 26% de este total corresponde a afluentes y quebradas donde se pudieron realizar las capturas, ya que debido al aumento del caudal propio de la estación y las fuertes corrientes se dificultó la tarea. Sólo en dos estaciones E_{11} (confluencia del río Manzanares con río Cedeño) y E_{16}, (desembocadura de quebrada El Chaco en río Manzanares) correspondientes al cauce principal del Manzanares se capturaron ejemplares. No se colectaron organismos en la cuenca baja debido a condiciones de deterioro ambiental prevalecientes en esta parte de la cuenca (Salazar *et al*. 2018) hicieron imposible llevar a cabo un muestreo.

Lasso *et al.* (2013) y Cala Cala (2019) han destacado que hay un número de especies de cíclidos neotropicales moderadamente reofílicas pero, la mayoría ocupan hábitats lenticos dentro de ríos y quebradas. *C. geayi* en general habita remansos y zonas lénticas, que pueden ser profundas o someras. Se refugia entre las raíces sumergidas de los árboles, así como en los fondos rocosos.

Cala Cala (2019) señaló que en Suramérica, los cíclidos se registran desde prácticamente todo el drenaje del río, pero rara vez ocupan elevaciones de más de 500 msnm; en general permanecen por debajo de los 200 msnm. Es importante destacar que este señalamiento no coincide con lo encontrado en la presente investigación, ya que *C. geayi*, se localizó en la cuenca alta del río Manzanares, que se encuentra a una altura superior a los 1500 msnm.



Fig. 2. En la foto superior ejemplar fresco de Matagurao (*Crenicichla geayi),* especie invasora de la cuenca hidrográfica del río Manzanares (Fotografía F. Marval). Foto inferior dimorfismo sexual en ejemplares de Matagurao. La franja de color rojo en la aleta dorsal de esta especie, identifica los machos (Fotografía S. Salazar).

Tabla 1. Número de organismos colectados de *Crenicihla geayi* (Mataguaro) en la cuenca alta y media de la cuenca hidrográfica del río Manzanares durante periodo de lluvia y sequía en el año 2017. * No se pudo realizar la colecta.

	Estaciones	**Nro. Organismos** Sequía	**Nro. Organismos** Lluvia
Cuenca Alta			
	E_1 Río Yoraco	0	1
	E_2 RM/ Río Yoraco	117	1
	E_3 Quebrada Orinoco	1	1
	E_4 RM /La Fuente	0	0
	E_5 Río Agua Blanca	2	0
	TOTAL	**120**	**3**
Cuenca Media			
	E_6 P. Cumanacoa	1	0
	E_7 Aricagua	6	1
	E_8 RM/ P. Cumanacoa	1	0
	E_9 Río Caribe	0	0
	E_{10} Río Arenas	0	0
	E_{11} RM/Río Cedeño	0	1
	E_{12} San Juan/ San Fdo. 1	12	0
	E_{13} San Juan/ San Fdo. 2	19	5
	E_{14} Quebrada Lucas Pérez	0	0
	E_{15} Quebrada Las Coronas	0	0
	E_{16} RM/ El Chaco	4	4
	E_{17} Quebrada El Imposible	0	0
	E_{18} Q. Mata Redonda	2	0
	E_{19} RM/ Tataracual	4	0
	E_{20} RM/Río Brito	2	0
	E_{21} Quebrada Guaripa	0	0
	E_{22} Quebrada Coro	0	0
	E_{23}Río Guaranache 1	1	1
	E_{24} Río Guaranache 2	1	1
	E_{25} Río Guaranache 3	1	1
	E_{26} Río Guaranache 4	1	1
	E_{27} Poza El Guardia	47	1
	E_{28} Quebrada Tremaria	1	1
	E_{29} Río Cancamure	1	0
	E_{30} San Juan	2	2
	TOTAL	**106**	**19**
Cuenca Baja	E_{31} Comp. Río Manzanares	0	*

Otro aspecto importante a destacar es que la baja temperatura observada en la cuenca alta no ha impedido a *C. geayi* ascender y establecer poblaciones en zonas como río Orinoco, río Yoraco y río Manzanares en confluencia con río Yoraco. A diferencia de la tilapia *O. mossambicus*, cuyo ascenso se ha visto frenado a la cuenca alta, debido a que no soportan las bajas temperaturas (Chung 1985; Pérez *et al*. 2003: Salazar *et al*. 2018).

Trece años desde su primer reporte en la localidad de río Cedeño en el año 2007, *Crenicichla geayi*, se ha extendido hacia el sureste en la cuenca alta, por el norte en la cuenca media y por el noroeste hacia el ramal de río San Juan y sus afluentes mayormente (Fig. 3).

La aparición de esta especie pudiera considerarse una transferencia más que una introducción, ya que solo había sido reportada en pequeñas cuencas del litoral central y cuenca del golfo de Paria (Lasso & Machado-Allison, 2000; Lasso *et al.* 2004; Lasso *et al*. 2010). Investigaciones han dejado evidencia de que la liberación de peces de acuario en el medio ambiente es la segunda causa principal de introducción de especies exóticas (Barroso de Magalhães *et al*. 2009; Pérez *et al.* 2010; Azevedo-Santos *et al*. 2015), motivado por razones como: altas tasas de natalidad, crecimiento exagerado y comportamiento agresivo de estas especies, demandas en tiempo y esfuerzo del mantenimiento de los acuarios, y la negativa a sacrificar los peces por motivos éticos, liberándolos en ambientes naturales.

Es por ello que los peces ornamentales más populares, que por lo común se encuentran disponibles en el comercio mundial, se introducen en los ambientes naturales más fácilmente. La amplia distribución que ha alcanzado *C. geayi*, lo cataloga como un invasor exitoso, con poblaciones establecidas y cuyo escenario abre una puerta a futuras investigaciones sobre el comportamiento, evolución de esta especie y su influencia en las poblaciones autóctonas. Por otra parte, solo una adecuada gestión preventiva y la educación ambiental dirigidas a la ciudadanía, son las acciones más efectivas para reducir el número de introducciones de especies potencialmente invasoras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento

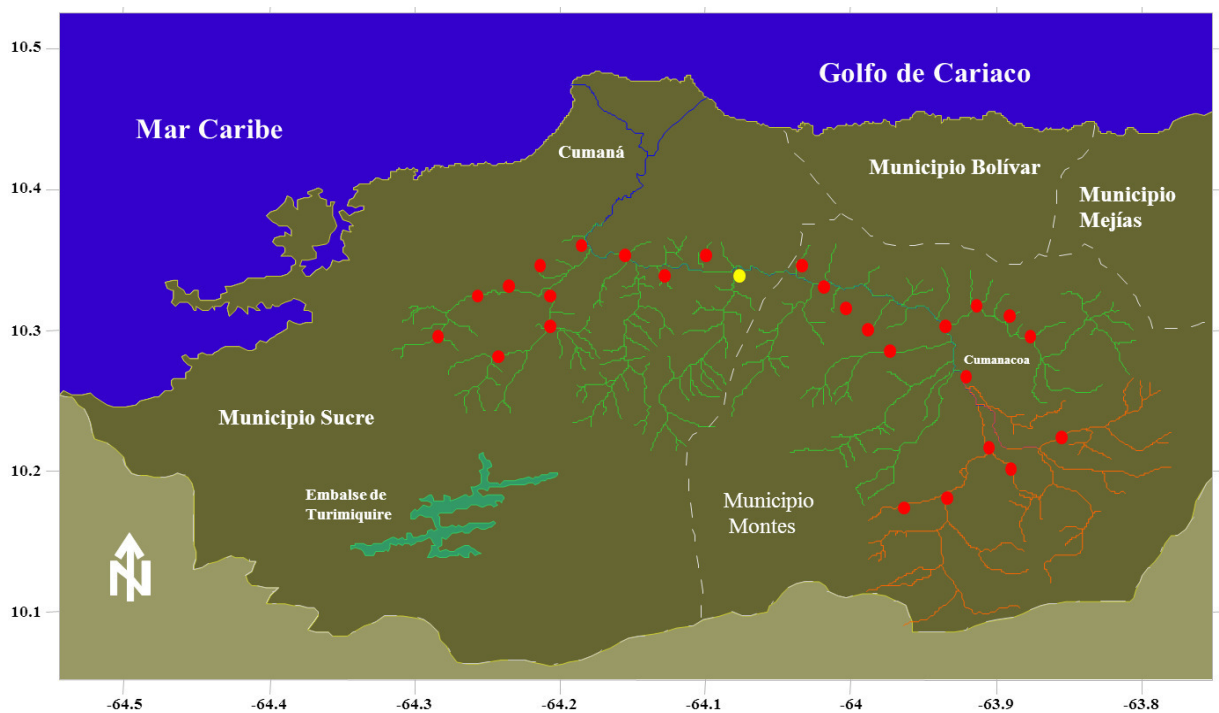


Fig. 3. Registro del avance de la especie invasora *Crenicichla geayi* en la cuenca hidrográfica del río Manzanares. El círculo en color amarillo identifica la localidad de río Cedeño donde se reportó por primera vez la presencia de esta especie en el año 2007. Círculos en color rojo señalan la distribución actual en la cuenca (Fuente Senior *et al.* 2004, modificado por S. Salazar).

al proyecto Nº CI-02-010102-1990-17. Al personal directivo, administrativo y obrero del Instituto Oceanográfico de Venezuela por el apoyo logístico prestado.

REFERENCIAS

Aguilera, L. & J. Carvajal. 1976. La ictiofauna del complejo hidrográfico río Manzanares Edo. Sucre. Venezuela. *Lagena*. 37-38: 23-35.

Aparicio, R. 2003. *Revisión de las características oceanográficas de la plataforma Nororiental de Venezuela.* En: *La sardina (Sardinella aurita) su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. Ed. Freon, P. & J. Mendoza. IRD-Editions. Paris.171-206.

Azevedo-Santos, W. M., F. Mayer Pelicice, D. P. Lima-Junior, A. L. Barroso De Magalhães, M. L. Orsi, J. R. Simões Vitule & A. A. Agostinho. 2015. How to avoid fish introductions in Brazil: education and information as alternatives. *Braz. J. Nat. Conserv.* Disponible en http://www.naturezaeconservacao.com.br.

Barroso De Magalhães, A. L., N. Pimentel De Ulhôa Barbosa & C. M. Jacobi. 2009. ¿Peces de acuario: Mascotas o plagas? Disponible en www.researchgate.net/publication/259738186.

Cala Cala, P. 2019. *Medio ambiente y diversidad de los peces de agua dulce de Colombia*. Bogotá. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 528 p. ISBN: 978-958-9205-96-9.

Carvajal, R. J. 1965. Estudio ecológico de las lagunas litorales vecinas a la ciudad de Cumaná, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*. 4(2): 266-311.

Casciotta, J., A. Almirón, D. Aichino, S. Gómez, L. Piálek & O. Říčan. 2006. *Crenicichla taikyra* (Teleostei: Cichlidae), a new species of pike cichlid from the middle río Paraná, Argentina. *Zootaxa.* 3721 (4): 379–386.

Chung, K. S. 1985. Adaptabilidad de *Oreochromis mossambicus* (Peters) 1852 a los cambios de temperatura. Venezuela. *Acta Científ. Venez.* 36(2): 180-190.

CONABIO. 2016. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en http://www.biodiversidad.gob.mx/invasoras.

Cucherousset, J. & J. D. Olden. 2011. Ecological impacts of non-native freshwater fishes. *Fisheries* 36 (5): 215-230.

Frehse, F. A., R. R. Braga, G. A. Nocera & J. R. S Vitule. 2016. Non-native species and invasion biology in a megadiverse country: scientometric analysis and ecological interactions in Brazil. *Biol. Invas*. Doi 10.1007/s10530-016-1260-9.

Froese, R. & D. Pauly. 2019. Editors FishBase. World Wide Web electronic publication. Disponible en http// www.fishbase.org.

Gutiérrez-Bonilla, F. P & R. Álvarez-León. 2011. Los cíclidos (Pisces: Cichlidae) en Colombia: introducciones, trasplantes y repoblaciones. *Rev. Luna Azul*, (33):154-177.

Jiménez, M. R. 1977. *Contribución al conocimiento de la biología de Tilapia mossambica (Peters) en condiciones de laboratorio y en la Laguna de los Patos, Cumana, Venezuela.* Trab. Grad. Lic. Biología. Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente. Cumana, 63 pp.

Kullander, S. &. C. A. Santos De Lucena. 2013. *Crenicichla gillmorlisi*, a new species of cichlid fish (Teleostei: Cichlidae) from the Paraná river drainage in Paraguay. *Zootaxa*. 3641 (2): 149–164.

Kullander, S. O. 2003. Family Cichlidae. Eds. R. E. Reis, S. O. Kullander & C. J. Ferraris Jr. *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. Porto Alegre, Edipucrs, 729p.

Kullander, S. V. & C. A. Lucena. 2006. A review of the species of *Crenicichla* (Teleostei: Cichlidae) from the Atlantic coastal rivers of southeastern Brazil from Bahia to Rio Grande do Soul States, with descriptions of three new species. *Neotrop. Ichthyol*. 4(2):127-146.

Lasso, C. & A. Machado-Allison. 2000. Sinopsis de las especies de peces de la familia Cichlidae presentes en la cuenca del río Orinoco. CONICIT, Caracas.

Lasso, C. A., A. Rial & V. González-B. (Eds). 2013. VII. *Morichales y cananguchales de la Orinoquia y Amazonia: Colombia-Venezuela.* Parte I. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros

Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia. 344 pp.

Lasso, C. A., D. Lew, D. Taphorn, C. Do Nascimiento, O. Lasso-Alcalá, F. Provenzano, & A. Machado-Allison. 2004. Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. *Mem. Fund. La Salle Cienc. Nat.* 159-160: 105-195.

Lasso, C. A., F. Provenzano, O. Lasso-Alcalá & A. Marcano. 2010. Ictiofauna dulceacuícola y estuarina de la cuenca del golfo de Paria, Venezuela: composición y relaciones biogeográficas con la cuenca del Orinoco. *Biota Colombiana*. 11 (1-2): 53-73.

Márquez, A., W. Senior, G. Martínez & J. Castañeda. 2002. Environmental conditions of the waters of the Manzanares River, Cumana-Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente.* 41(1&2): 15-24.

Mattos, J. L., I. Schindler, F. P. Ottoni & M. M. Cheffe. 2014. A new species of *Crenicichla* from the upper Rio das Antas basin, dos Patos lagoon system, southern Brazil (Teleostei: Cichlidae). *Vert. Zool*. 64(1): 35-42.

Medina, L., J. Castañeda, I. Fermín, G. Pérez-Castresana & F. López-Monroy. 2013. Variación espacio-temporal del caudal y el transporte de nutrientes en el río Manzanares. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*. 52(2): 67-75.

Nirchio, M. & J.E. Pérez. 2001. Riesgos del cultivo de tilapias en Venezuela. *Interciencia*. 27(1): 39-44.

Oliva Paterna, F.J., F. Amat Trigo, A. Sánchez Pérez, J. M. Zamora, A. Ruiz Navarro & M. Torralva Forero. 2017. Peces exóticos en la Cuenca del río Segura: impactos potenciales y prioridad en la gestión. En: *Biodiversidad y procesos ecológicos en el Sureste Ibérico.* Eds. G. A. Ballesteros Pelegrín, F. Belmonte Serrato, J. M. Sánchez Balibrea y F. Robledano Aymerich. Universidad de Murcia. Servicio de Publicaciones.

Patoka, J., A. L. Barroso Magalhães, A. Kouba, Z. Faulkes, R. Jerikho & J. R. Simões Vitule. 2018. Invasive aquatic pets: failed policies increase risks of harmful invasions. *Biodiv. Conserv*. 27:3037–3046.

Pérez, J. E., J. A. Gómez, C. Alfonsi, M. Nirchio & C. Muñoz. 2010. ¿Cómo una especie exótica se convierte en invasora? *Tecnociencia.* 2(1): 103-118.

Pérez, J. E., S. K. Salazar, C. Alfonsi & L. Ruiz. 2003. Ictiofauna del Río Manzanares: a cuatro décadas de la introducción de la tilapia negra *Oreochromis mossambicus* (Pisces:Cichlidae). *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*. 42 (1&2): 29-35.

Pérez, J. E., C. Alfonsi, S. K. Salazar, O. Macsotay, J. Barrios & R. Martínez Escarbassiere. 2007. Especies marinas exóticas y criptogénicas en las costas de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 46 (1): 79-96.

Rodríguez-Olarte, D. & D. C. Taphorn. 2007. *Los peces de Aroa y Yaracuy: una guía para su conservación.* Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) & Iniciativa de Especies Amenazadas (IEA-PROVITA). Barquisimeto, Venezuela. Primera edición digital: Septiembre 2007. Primera edición impresa: Septiembre 2011.

Román, B. 1992. *Peces ornamentales de Venezuela*. Ed. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas-Venezuela. ISBN 84-604-4401-5. 223 pp.

Royero-León, R, & C. A. Lasso-Alcalá. 1992. Distribución geográfica actual de la mojarra de río, *Caquetaia kraussii*, (Steindachner, 1878) (Perciformes, Cichlidae) en Venezuela: un ejemplo del problema de la introducción de especies. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle.* 52(138), 163-180.

Ruíz, L., S. K. Salazar, J. E. Pérez & C. Alfonsi. 2005. Diversidad íctica del sistema hidrográfico Río Manzanares, Estado sucre, Venezuela. *Bol. Cent. Invest. Biol*. 39(2): 91-107.

Salazar, S. K., C. Y. Alfonsi, B. Gómez, J. A. Bello, W. Senior & L. Troccoli. 2018. Estado de conservación del sistema hidrográfico del río Manzanares, región Caribe Oriental de Venezuela. Ed. Douglas Rodríguez-Olarte. *Ríos en riesgo de Venezuela.* Volumen 2. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela

Salazar, S. K., J. E. Pérez, C. Alfonsi & L. Troccoli. 2016. Morfometría y variación genética del mejillón invasor *Perna viridis* en la costa nor oriental de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente.* 55 (1): 32-40.

Salazar, S. K., L. J. Ruiz & B. Gómez. 2007. Primer reporte de *Crenicichla geagy* Pellegrini, 1903 para la ictiofauna del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Bol. Cent. Invest. Biol.* 41(1): 123-126.

Senior, W. 2003. Plan de recuperación integral del río Manzanares y su entorno. Informe. Departamento de Oceanografía. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/William_Senior.

Senior, W., I. Fermín & F. Mata. 2004. *Diagnóstico ambiental y participación comunitaria para el Control de la Contaminación del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela*. Informe Fundación Río Manzanares. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/326120227.

Teimori, A., M. Motamedi & M. A. Hesni. 2017. Translocation and new geographical distribution of the invasive Red belly Tilapia, *Coptodon zillii* (Gervais, 1848) (Teleostei: Cichlidae) in southern Iran. *Check List* 13(1): 1-3.

Urbano-Bonilla, A., G. A. Ballen, G. A. Herrera-R, J. Zamudio, E. E. Herrera-Collazos, C. Do Nascimiento, S. Prada-Pedreros & J. A. Maldonado-Ocampo. 2018. Fishes of the Cusiana River (Meta River basin, Colombia), with an identification key to its species. *ZooKeys.* 733: 65–97.

White, Z. 2016. *Crenicichla frenata* (Pike Cichlid). The Online Guide to the Animals of Trinidad and Tobago. Disponible en http://www.plantedtank.net/forums/21-fish/568114-seeking-pike-cichlid-crenicichla-frenata.html.

Recibido: Julio 2020
Aceptado: Octubre 2020

Bol. Inst. Oceanog. Venez. 59(02): 43-57 (2020) 03 Figs., 04 Tabs.

METALES TOTALES Y BIODISPONIBLES EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE TRES ZONAS DEL GOLFO DE CARIACO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

Ahieska Liscano[1*], Ivis Fermin[2] & Mairin Lemus[1,3]

[1] *Universidad de Oriente-Sucre*, *Departamento de Biología*
**Autor de correspondencia*: *aye27le@hotmail.com*

[2] *Universidad de Oriente-Sucre*, *Instituto Oceanográfico de Venezuela*
ivismarina@gmail.com

[3] *ISFODOSU*, *Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña*, *República Dominicana*
mlemus88@gmail.com

RESUMEN: Este trabajo de investigación tuvo como principal objetivo evaluar las variaciones espacio-temporales de metales totales (T) y biodisponibles (B) en los sedimentos superficiales de tres localidades del Golfo de Cariaco y relacionarlos con algunos parámetros geoquímicos. Los sedimentos fueron colectados en las localidades de Manicuare, Los Cachicatos y Guacarapo durante los meses de octubre, diciembre 2011 y marzo 2012, los mismos se caracterizaron por ser de tipo arenosos. Las distribuciones temporales de los parámetros geoquímicos solo presentaron diferencias estadísticas significativas para la temperatura y pH, demarcándose el período estacional de muestreo. Para los carbonatos se encontraron diferencias significativas entre estaciones. El comportamiento de los metales en el tiempo fue homogéneo, exceptuando Fe T, Fe B, Cu T y Pb B; se observaron diferencias significativas en los metales entre estaciones salvo para Fe T, Fe B, Cr T, Pb T y Pb B. Las concentraciones de metales totales presentaron un promedio de Fe (3014,82 µg/g), Mn (12,58 µg/g), Ni (7,80 µg/g), Zn (54,69 µg/g), Cu (3,39 µg/g), Cr (9,28 µg/g), Cd (1,79 µg/g), Pb (15,77 µg/g). Para los metales biodisponibles determinados se obtuvieron promedios de Fe (169,99 µg/g), Mn (7,64 µg/g), Ni (5,28 µg/g), Zn (7,13 µg/g), Cu (1,49 µg/g), Cr (5,24 µg/g), Cd (1,37 µg/g), Pb (6,70 µg/g); mostrándose contaminación principalmente por Cd en las tres localidades y de Pb en Manicuare y Los Cachicatos (8,80 y 8,10 µg/g masa seca; respectivamente) de acuerdo a las referencias para sedimentos marinos no contaminados.

Palabras claves: metales, Golfo de Cariaco, granulometría, sedimento superficial.

ABSTRACT: The main objective of this research work was to evaluate the spatio-temporal variations of total (T) and bioavailable (B) metals in the surface sediments of three locations in the Cariaco Gulf and relate them to some geochemical parameters. The sediments were collected in the localities of Manicuare, Los Cachicatos and Guacarapo during the months of October, December 2011 and March 2012, they were characterized by being sandy. The temporal distributions of the geochemical parameters only presented statistically significant differences for temperature and pH, demarcating the seasonal sampling period. For carbonates significant differences were found between stations. The behavior of the metals over time was homogeneous, except for Fe T and Fe B, Cu T and Pb B; Significant differences were observed in metals between stations except for Fe T and Fe B, Cr T and Pb T and Pb B. The concentrations of total metals presented an average of Fe (3014,82 µg/g), Mn (12,58 µg/g), Ni (7,80 µg/g), Zn (54,69 µg/g), Cu (3,39 µg/g), Cr (9,28 µg/g), Cd (1,79 µg/g), Pb (15,77 µg/g). In the content of the determined bioavailable metals, were obtained averages of Fe (169,99 µg/g), Mn (7,64 µg/g), Ni (5,28 µg/g), Zn (7,13 µg/g), Cu (1,49 µg/g), Cr (5,24 µg/g), Cd (1,37 µg/g), Pb (6,70 µg/g); showing contamination mainly by Cd in the three localities and by Pb in Manicuare and Los Cachicatos (8,80 and 8,10 µg/g dry mass, respectively) according to the references for uncontaminated marine sediments.

Key words: metals, Cariaco Gulf, granulometry, surface sediment.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados, son elementos químicos que se encuentran de manera natural en muy bajas concentraciones en el ambiente y debido a su amplio uso industrial, el hombre se encuentra expuesto a ellos cotidianamente. Estos elementos, también pueden transportarse por medio de agentes naturales y antrópicos hasta los ríos, aguas subterráneas y finalmente llegar al mar en el cual se depositan en los sedimentos marinos por procesos de precipitación, adsorción y/o absorción, quedando en ellos los registros de cambios temporales de sus aportes. En las zonas marino-costeras las variaciones en los niveles de agentes tóxicos ocurren constantemente (Fergusson 1990; Rubio *et al*. 2000; Ahumada *et al*. 2002).

Los sedimentos marinos, son un sumidero de diferentes compuestos químicos como los metales

pesados; estos, no sufren ningún tipo de biodegradación, y no todas las fracciones de metales que forman parte del sedimento se mantienen en el complejo metal-sedimento, donde algunas reaccionan por cambios en las condiciones del medio (pH, salinidad, condición redox), pudiendo liberarse y hacerse biodisponibles (Rubio *et al*. 2000; Ahumada *et al*. 2004; Frankowski *et al*. 2008).

La tendencia y tasa por la cual un metal participa en un proceso geoquímico o biológico depende de la forma fisicoquímica en que ese metal se encuentre disuelto en el medio acuático marino. La especiación de un elemento puede presentar diferentes límites de toxicidad, porcentaje de biodisponibilidad debido a diferentes grados de desorción de la superficie de las partículas suspendidas, tazas de transferencia a los sedimentos, así como de la hidrodinámica del sistema marino (Fergusson 1990).

La evaluación de metales pesados es de gran interés debido a su toxicidad, persistencia y daños a nivel celular, dada su capacidad para desnaturalizar proteínas, ser asimilados por el fitoplancton y organismos filtradores e incorporados a la cadena alimentaria (Buratini & Brandelli 2006). La determinación de metales totales en el sedimento permite reconocer alteraciones y enriquecimiento ambiental. Sin embargo, no aporta información sobre la fracción disponible para los organismos. La biodisponibilidad, va a depender de la especie química en la que los organismos puedan asimilarlo (González *et al*. 2009).

La región oriental de Venezuela y entre ella la zona costera de la Península de Araya se caracteriza por tener una alta productividad debido a los focos de surgencia que ocurre por los procesos de convección y afloramiento que tienden a desarrollar fenómenos de renovación de las aguas superficiales pobres por aguas frías más profundas y ricas en sustancias nutritivas como nitritos, nitratos y fosfatos, estimulando el desarrollo fitoplanctónico junto a diferentes partículas de sedimentos que se depositan y se acumulan sobre la Plataforma Continental, constituyendo de esa manera la riqueza del fondo marino (Bonilla 1982; Varela *et al*. 2003; Márquez *et al*. 2005; Hansen & Márquez-Pacheco 2012). Esta región ha tenido escasa actividad antrópica, por lo que se consideraba un área poco impactada por la contaminación de metales pesados, la mayoría de los estudios de caracterización de sedimentos en el Golfo de Cariaco se han centrado en determinar metales totales en las zonas de localidades más pobladas hacia el centro y sur del mismo, encontrándose en algunos alteraciones en el medio por los metales pesados (cobre, níquel, cadmio y plomo), tanto en el sedimento superficial del fondo marino como la acumulación de los mismos por ciertas especies de bivalvos (Fuentes 1998; Martínez 2002; Rojas De As *et al*. 2002; Bonilla *et al*. 2003a; Márquez *et al*. 2005; Pérez *et al*. 2006; Barceló *et al*. 2008; Jiménez *et al*. 2008); de allí que en este trabajo se tomaron en cuenta los sedimentos superficiales de las zonas costeras de localidades poco estudiadas a lo largo de la costa norte del Golfo de Cariaco para evaluar las variaciones espacio-temporales de los metales totales y biodisponibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hicieron tres muestreos durante octubre 2011, diciembre 2011 y marzo 2012. Correspondiente a los períodos ya pre-establecidos para esta zona de baja intensidad, transición y alta intensidad de surgencia, respectivamente, por Gómez & Chanut (1993), Aparicio (2003), Aparicio & Contreras (2003), Castañeda (2006), Rivas-Rojas *et al*. (2007), Pirela-Ochoa *et al*. (2008),colectándose los sedimentos superficiales aproximadamente a los 100 y 200 m dentro de la línea de costa en cada localidad, entre las 0700 h y 1300 h en las localidades de Manicuare (N 10°33´13,7" WO 64°11´58,8" y N 10° 33´11,9" WO 64°11´59,0"), Los Cachicatos (N 10°32´58,7" WO 63°49´37,0" y N 10°32´57,1" WO 63°49´37,5") y Guacarapo (N 10°29´41,6" WO 63°44´12,4" y N 10°29´40,8" WO 63°44´12,2") (Fig. 1). Los sedimentos superficiales se colectaron con la ayuda de una draga Dietz Lafond de 0,02 m^2, se resguardaron en bolsas de plástico rotuladas y se colocaron en cavas con hielo para ser trasladadas al laboratorio del Centro de Investigaciones de Guayacán y congeladas hasta su posterior traslado y procesamiento en los laboratorios del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

Las muestras de sedimento se secaron en una estufa entre 50 y 60°C hasta masa constante (24 a 72 h), que luego se usaron para determinar los metales, granulometría, carbonatos, nitrógeno y fósforo total. Con la finalidad de evitar la contaminación de las muestras se tomó la previsión de lavar el material de vidrio y plástico con solución ácida (HNO_3 0,5%) y agua desionizada (conductividad de 18 µS/cm), obtenida con un sistema NANOPURE UV, Marca Barnstead (USA).

El pH se midió en un pHmetro Basic 20 marca Crison por el método 9045D de la EPA 2004 para sedimentos, y detritus.

La granulometría se realizó con la técnica del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos 1962), los resultados se interpretaron con el triángulo textural de Shepard (Shepard 1954); el contenido de materia orgánica se realizó por pérdida de peso (De La Lanza 1980); los carbonatos de calcio fueron determinados por titulación con solución de hidróxido de sodio estandarizado (Vogel 1960); Para la determinación del nitrógeno y fósforo total, la metodología descrita por Valderrama (1981) se adaptó al análisis de los sedimentos, la cual consiste en la oxidación simultánea de nitrógeno orgánico y fósforo orgánico a nitrato y fosfato, respectivamente, con un reactivo oxidante. Posteriormente el nitrógeno total se determinó por el método de Tréguer & Le Corre (1975) y el fósforo total según el método de Murphy & Riley (1962).

Para la extracción de los metales totales y biodisponibles (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb) el sedimento total seco se digirió con una mezcla de agua regia (mezcla de ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido perclórico en una proporción 3:1:1) y ácido acético 10% para disolver los metales asociados a los carbonatos, determinados por espectrometría de absorción atómica en un equipo Perkin Elmer modelo 3110 con llama de aire acetileno y corrector de fondo de Deuterio (Izquierdo *et al*. 1997). Para el control de la calidad de los reactivos usados, se prepararon tres blancos y para el control de la precisión del método se utilizaron patrones de referencia certificados para los sedimentos marinos por la National Research Council (HISS-1), todos estos tratados bajo las mismas condiciones que las muestras (Tabla 1). Para determinar diferencias espaciales y temporales se aplicó un análisis de Kruskal Wallis, ya que los datos no se ajustaron a los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de los datos; en los parámetros que tuvieron diferencias significativas se les realizó la prueba *a posteriori* de rangos múltiples (LSD), aplicando el paquete estadístico STATGRAPHICS 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros geoquímicos en el tiempo no presentaron diferencias significativas salvo para el pH (KW: 8,74, p< 0,05) (Tabla 2), correspondiendo el pH más alto a octubre con promedios de 8,01; los valores de pH en las tres localidades muestreadas en el Golfo de Cariaco son en general alcalinos, con valores cercanos a 8,00 (Tabla 3), posiblemente al contenido de $CaCO_3$ favoreciendo la precipitación de metales como hidróxidos con una fuerte tendencia a ser adsorbidos y disminuyendo su biodisponibilidad en el agua (Sadiq 1992; Fuentes *et al*. 1997, 2019; Martín *et al*. 2007).

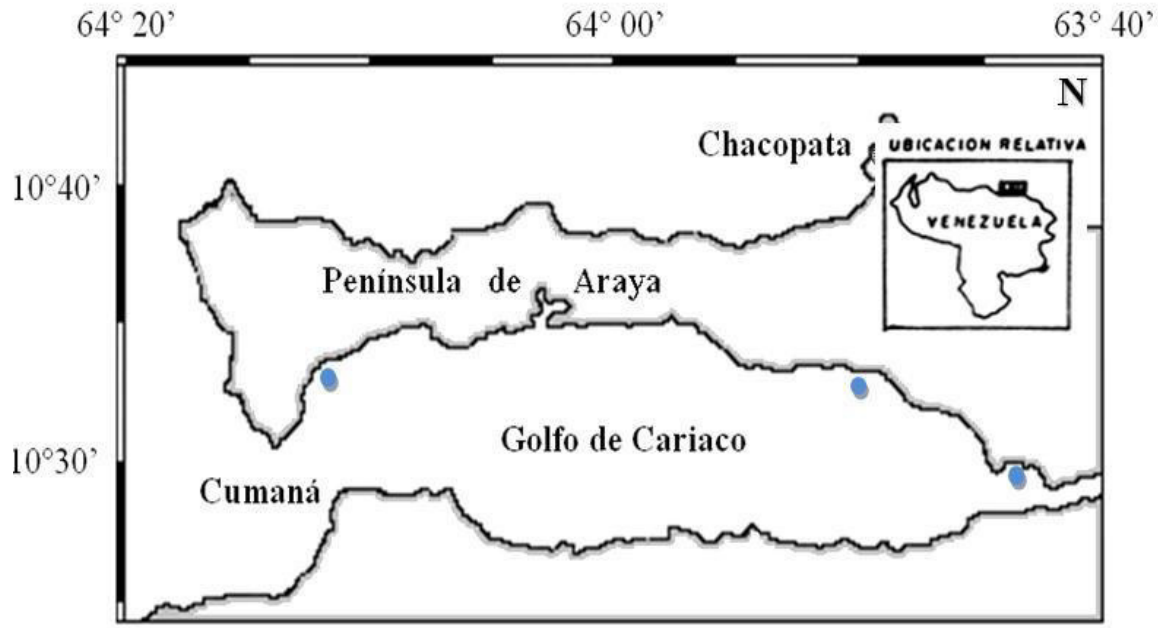


Fig. 1. Representa la ubicación de las tres localidades de muestreo en la costa norte del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela.

Granulometría

La distribución del tamaño del grano de un sustrato es una de las variables más importantes para determinar la capacidad del mismo de retener elementos traza; es bien conocido que los elementos no están distribuidos homogéneamente en las distintas fracciones del tamaño del grano y hay una gran relación entre el incremento de la concentración de metales y la disminución del tamaño del grano (Rubio *et al*. 2000; Otero *et al*. 2013; Al-Edresy *et al*. 2019); sin embargo, otros estudios han demostrado que las concentraciones de metales traza, no siempre incrementa cuando disminuye el tamaño del grano (Tessier *et al*. 1982; Rivaro *et al*. 2004; Pérez *et al*. 2006; Frankowsky *et al*. 2008).

El sedimento de las tres localidades es principalmente arenoso y de acuerdo a su clasificación por el tamaño del grano son de arena fina a gruesa (Tabla 4), coincidiendo estos resultados con los reportados por Martínez (2002) quien clasificó los sedimentos de la costa norte del golfo con predominancia de arenas, Márquez *et al*. (2005) tipificaron de textura arenosa gruesa a fina-limosa los sedimentos del litoral nororiental del Golfo, característica típica de sedimentos biogénicos calcareníticos. Sin embargo, Quintero *et al*. (2006) establecieron para dos

TABLA 1. Concentraciones de metales pesados presentes en el material de referencia (HISS-1).

	Metales			
HISS-1	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Pb**
1	1,94	1,54	3,48	5,82
2	3,15	1,89	3,99	8,06
Prom	2,55	1,72	3,74	6,94
Desv. est.	0,86	0,25	0,36	1,58
V. certif.	2,16 ± 0,29	2,29 ± 0,37	4,94 ± 0,79	3,13 ± 0,40

TABLA 2. Variación temporal de los parámetros geoquímicos en sedimentos superficiales de tres localidades del Golfo de Cariaco.

Factores	**Oct-2011**	**Dic-2011**	**Mar-2012**	**KW**
pH	8,01 ± 0,10^{b}	7,78 ± 0,04^{a}	7,89 ± 0,14^{ab}	8,74 *
% Hum	22,77 ± 1,35	28,77 ± 4,17	28,14 ± 6,48	4,83
% MO	3,33 ± 2,58	5,83 ± 3,76	5,00 ± 0,00	2,63
%$CaCO_3$	52,05 ± 19,76	47,01 ± 34,07	45,49 ± 27,08	0,08
NT (mg/kg)	253,51 ± 68,41	202,16 ± 81,11	195,22 ± 61,87	2,67
PT (mg/kg)	193,19 ± 200,85	481,89 ± 435,23	299,65 ± 317,95	3,42

TABLA 3. Variación de los parámetros geoquímicos en sedimentos superficiales de tres localidades del Golfo de Cariaco.

Factores	**Guacarapo**	**Los Cachicatos**	**Manicuare**	**KW**
pH	7,89 ± 0,17	7,88 ± 0,14	7,92 ± 0,11	0,18
% Hum	26,70 ± 6,77	29,09 ± 4,93	23,89 ± 0,94	2,14
% MO	5,83 ± 2,04	4,17 ± 2,04	4,17 ± 3,76	1,56
% $CaCO_3$	19,77 ± 13,09 ^{a}	57,77 ± 15,31 ^{b}	67,01 ± 20,07 ^{b}	11,56 ***
NT (mg/kg)	254,81 ± 87,89	231,63 ± 46,08	164,45 ± 48,84	5,35
PT(mg/kg)	618,47 ± 446,32	233,13 ± 141,16	123,13 ± 22,71	3,38

puntos en las localidades de Guacarapo, sedimentos de arena muy fina limosa y grava arenosa, Los Cachicatos con arena muy fina limosa y arena media a muy fina y en Manicuare arena fina a media y muy fina a media limosa, estableciendo que en la costa norte el mecanismo de transporte de sedimentos es la sedimentación, pues las corrientes en la zona son débiles y favorecen este proceso. Hernández (2013) clasificó los sedimentos del sector oriental del Golfo de Cariaco como arenosos y areno-limosos.

Contenido de Humedad

La humedad o contenido hídrico en los sedimentos expresada en porcentaje (%) indica el grado de permeabilidad de los mismos, así como una estrecha relación con su textura (Bonilla *et al*. 2003a), presentando un valor mínimo de 20,36% y un máximo de 35,93% en Guacarapo durante marzo, con un promedio general de 26,56% sin encontrar diferencias significativas entre los meses de muestreos ni entre las localidades (KW: 4,83, p>0,05; KW: 2,14, p>0,05, respectivamente), identificándose los sedimentos de esta zona como permeables (Tabla 2 y 3). Estos resultados son comparables a los obtenidos por Fuentes *et al*. (1997) de 30,88%, caracterizándolos como altamente permeables en varios sectores de la laguna de Chacopata siendo típico de sedimentos no reductores y con los menores valores de carbonatos; en la Ensenada Grande del Obispo se obtuvieron porcentajes de humedad de 33,90 con tendencia a la permeabilidad (Bonilla *et al*. 2003a); sin embargo, la humedad en los sedimentos del Archipiélago de los Roques obtuvo una tendencia uniforme de 24,54% (Bonilla *et al*. 2003b); hacia la costa nororiental del Golfo los porcentajes variaron de bajos a moderados con un promedio de 22,44% (Márquez *et al*. 2005).

Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica (MO) determinado en las distintas localidades osciló entre valores no detectables por el método analítico usado, en octubre y diciembre en las localidades de Los Cachicatos y Manicuare, y un máximo de 10% en Guacarapo y Manicuare durante octubre, con un promedio de 4,72% (Tabla 2 y 3). El análisis estadístico no indicó diferencias significativas respecto a los períodos de muestreo ni a las localidades (KW: 2,63, p>0,05; KW: 1,56, p>0,05, respectivamente); siendo característicos estos valores de sedimentos en condiciones no reductoras. Sin embargo, en condiciones reductoras en el fondo o cuencas semicerradas con escasa circulación del agua, se pueden encontrar valores superiores al 10%; demostrándose que este parámetro se comporta como un constituyente importante, ya que demuestra la tasa de recambio del material orgánico entre el sedimento y el agua circundante, que es lo que mantiene la productividad y dinámica del sistema (Bonilla *et al*. 2003b; Silva 2006; Guiñez *et al*. 2010).

Gómez & Azevedo (2003) señalaron que los sedimentos son considerados pobres en MO cuando el porcentaje es menor a 0,5%. Ramírez (1999), reportó valores 13,11% para sedimentos de Punta Arenas; Aranda (1999), reportó valores de 19,35% en la Ensenada Grande del Obispo; Bonilla *et al*. (2003b) encontraron un porcentaje promedio de 7,08 en los sedimentos del Archipiélago los Roques; de tal manera que estos reportes son comparables con los de esta investigación, y a su vez estos valores no son considerados como contaminantes debido a que, Páez-Osuna *et al* (1992) señaló que contenidos superiores al 20% representan a zonas de alta contaminación.

Carbonatos

La disolución y precipitación de minerales autogénicos, como los carbonatos controlan la concentración de calcio en el agua de mar y los sedimentos. El carbonato se encuentra en numerosos ambientes sedimentarios marinos, pero es en los ecosistemas marinos tropicales donde presenta su mayor

TABLA 4. Evaluación granulométrica de los sedimentos superficiales en tres localidades del Golfo de Cariaco

Estaciones	Grava	Arena					Limo	Arcilla	Textura
		AMG	AG	AM	AF	AMF			
	(%)								
Guacarapo	1,47	7,03	16,91	15,95	48,08	8,39	1,29	0,88	arena fina a gruesa
Los Cachicatos	3,50	8,36	23,21	22,26	36,22	5,44	0,57	0,43	arena fina a gruesa
Manicuare	7,07	6,80	24,47	23,49	35,43	2,41	0,24	0,09	arena fina a gruesa

abundancia, se forman por precipitación química de aguas sobresaturadas en ambientes someros, de alta evaporación y baja presión (Mucci *et al*. 2000).

En la variación de los porcentajes de $CaCO_3$ se obtuvo un valor mínimo de 5,74% y un valor máximo de 96,35% en diciembre en Guacarapo y Manicuare, respectivamente con un promedio general de 48,19%. Por otra parte, el análisis estadístico demostró que no existen diferencias entre los meses de muestreo, mientras que si se presentó para la distribución entre localidades (KW: 0,08, $p>0,05$; KW: 11,56, $p<0,01$, Tabla 2 y 3, respectivamente), formándose para este último dos grupos representados por las localidades de Los Cachicatos y Manicuare con los valores más altos; donde, el contenido de calcio en la zona podría estar incidiendo con la basicidad del medio.

Comparando los resultados presentados en este trabajo con estudios similares, son mayores a los encontrados por Velásquez (2005), quien reportó promedios de 13,26% y 19,33% de $CaCO_3$ para muestreos de marzo y octubre, respectivamente del año 2005 en el sector oriental del Golfo de Cariaco. Márquez *et al*. (2005) por su parte, encontró valores promedios de 21,97% en sedimentos del Litoral nororiental del golfo de Cariaco y Hernández (2013) reportó 14,16% en el sector oriental de esta misma región. Sin embargo, en ciertas zonas se observaron valores que van desde 45% hasta un 89%. Estas altas concentraciones pueden ser debidas a aportes terrígenos de rocas carbonatadas transportadas por escorrentías continentales o también podrían ser atribuidas a la acumulación de una gran cantidad de fragmentos blanqueados de conchas en el fondo de los sedimentos (Al-Edresy *et al*. 2019). Bonilla *et al*. (2003b) encontraron porcentajes de 99,02 en los Archipiélagos de los Roques. Fermín (2002) en la Laguna de Unare reportó un promedio de 5,61%. Rubio *et al*. (2000) en las Rías Baixas de Vigo encontraron porcentajes entre 13,35 a 22,00% de carbonatos.

Nitrógeno total

El nitrógeno es un elemento indispensable en todos los seres vivos, estando incorporado en la estructura de todas las proteínas y ácidos nucleicos, cumpliendo un papel fundamental en todos los procesos metabólicos (Duursma & Dawson 1981). Su importancia y distribución son similares al fósforo y entre las diferentes concentraciones reflejadas en el medio marino, existe un gran paralelismo entre dichas concentraciones y sus variaciones. Este detalle es bastante normal considerando que los compuestos del P y N cumplen funciones similares en el medio marino y; por lo tanto, sus consumidores y fuentes son las mismas. Ingresa al medio ambiente acuático a través de las excreciones de animales y plantas, durante la descomposición de la materia orgánica y por el uso de fertilizantes principalmente (Gerlach 1981).

La distribución de las concentraciones de nitrógeno total presentó un valor mínimo de 78,80 mg/kg durante diciembre frente a Manicuare y un valor máximo de 377,10 mg/kg durante octubre frente a Guacarapo con un promedio de 216,96 mg/kg; sin diferencias entre los meses de muestreos ni entre localidades (KW: 2,67, $p>0,05$; KW: 5,35, $p>0,05$, Tabla 2 y 3, respectivamente).

Las concentraciones detectadas en el ecosistema, son inferiores a las reportadas por Márquez *et al*. (2005) de 396,29 µg/g en el litoral nororiental del Golfo de Cariaco, atribuyendo este contenido a la intensidad de procesos biogeoquímicos que prevalecen por la descomposición del material orgánico y por el aporte de diversos flujos de origen antropogénicos que provienen del litoral sur del Golfo y que son transportados por las escorrentías límnicas; y son superiores a los de Barceló *et al*. (2008) de 1 mg/g en la zona marino costera de Punta de Piedra y a los de Fermín (2002) de 7,19 mg/g en la Laguna de Unare señalando estos valores como resultados de aportes de los ríos Unare, Chávez y Cautaro.

Fósforo total

El valor mínimo de las concentraciones de fósforo total fue de 49,41 mg/kg durante marzo frente a Guacarapo y un máximo de 1142,15 mg/kg durante diciembre frente a la misma localidad, con un promedio 324,41 mg/kg, sin establecerse diferencias significativas entre los tiempos de muestreos ni las localidades (KW: 3,42, $p>0,05$; KW: 3,38, $p>0,05$, Tabla 2 y 3 respectivamente). Este comportamiento podría deberse a la intensidad de las corrientes marinas propias de cada localidad, así como a su dinámica y a los grados de intensidad de los procesos bióticos y abióticos.

En el medio acuático, el fósforo es un nutriente esencial que se encuentra en forma disuelta (90%) y en forma particulada. Los organismos acuáticos satisfacen su necesidad mediante la asimilación directa de fosfato (principalmente HPO_4^{3-}). En la columna de agua, este se encuentra normalmente en menor proporción que el nitrógeno en una relación de 1P:16N siendo el elemento

limitante; sin embargo, su permanencia en el medio acuático es breve, debido a que existe una importante pérdida de fosforo hacia los sedimentos por adsorción hasta un 60% (Duursma & Dawson 1981; Contreras 1994; De La Lanza 1994; Hansen & Marquez-Pacheco 2012), explicando posiblemente las altas concentraciones encontradas en esta investigación, así como se evidencia que se encuentra en mayor proporción que el NT.

Por otra parte, Hernández (2013) reportó valores promedios de 601,26 mg/kg en el sector oriental del Golfo de Cariaco, señalando diversos orígenes, como las descargas del río Carinicuao, los aportes desde las poblaciones aledañas, la alta productividad primaria y los posibles aportes litogénicos de fósforo mineral contenidos en rocas, puntualizando que el golfo tiene una alta productividad biológica, contribuyendo en el aporte de fósforo a los sedimentos por la muerte y descomposición de organismos. No todo el fósforo total contenido en los sedimentos tiene la capacidad de ser asimilado por los organismos o de pasar a la columna de agua. Márquez *et al*. (2005) en el litoral nororiental del Golfo encontraron concentraciones de 360,03 µg/g Bonilla *et al*. (2003b) en el Archipiélago los Roques reportaron un promedio de 1,90% debido posiblemente, a que esta zona es un biotopo de mar abierto con áreas, donde es alto y floreciente el aporte de plancton rico en fósforo, el cual es removido posterior a la deposición de la materia orgánica de origen natural favoreciendo los mecanismos abióticos y de menor intensidad hacia el sur, mientras que Fermín (2002) en la Laguna de Unare con un promedio de 0,10 mg/g influenciado por los aportes de los ríos Unare, Chávez y Cautaro en los cuales es vertida agua servida sin tratamiento de las poblaciones cercanas, así como por la presencia de aves migratorias en la región central y occidental de la laguna que contribuyen con sus desechos al incremento de fosforo.

Metales

Hierro

Las concentraciones de Fe fluctuaron en el tiempo (Fe T KW: 6,54, p< 0,05; Fe B KW: 13,66, p<0,001) teniendo las mayores concentraciones en diciembre para Fe T (4 918,45 µg/g) y en marzo para Fe B (351,23 µg/g); sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre las localidades (Fig. 2); las concentraciones de hierro total registradas en este trabajo son semejantes a las de Márquez *et al*. (2005) en la zona frente a Guacarapo; y las concentraciones biodisponibles se asemejan a los reportados por Bonilla *et al*. (2003a) en la Ensenada Grande del Obispo (Golfo de Cariaco).

El Fe por encontrarse en grandes proporciones en la corteza terrestre, además de ser considerado micro elemento metálico esencial ya que es requerimiento de varias metalo-enzimas, suele aumentar sus concentraciones en períodos de lluvia en los ambientes acuáticos influenciados por los aportes de ríos; los cuales constituyen una de las principales vías de transporte del hierro hacia los ecosistemas estuarinos y marinos, en donde es un micro nutriente esencial, llegando a ser un factor limitante para el crecimiento del fitoplancton (RUBIO *et al*. 2000); correspondiendo las concentraciones más altas registradas en este estudio al período de transición y de relajación de la surgencia, situación explicada por MARTÍN *et al*. (1993) quienes indican que la remoción del Fe a bajas salinidades ocurre por la floculación y precipitación de los oxihidróxidos coloidales debido a los cambios en el pH y la fuerza iónica. El comportamiento del hierro particulado está asociado al pH, sugiriendo que los procesos de adsorción, floculación o formación de coloides tienen influencia en los procesos de precipitación a pH mayores de 7, puesto que, a valores menores, este elemento permanece en solución; resaltando que los valores de pH en este estudio estuvieron muy cercanos a 8 (Tabla 2).

Manganeso

El manganeso total (Mn T) y biodisponible (Mn B) no presentaron diferencias significativas entre los meses de muestreos (KW: 2,56, p>0,05; KW: 0,33, p>0,05, respectivamente) y sus valores oscilaron entre un mínimo de 6,26 µg/g (Mn T) y 2,91 µg/g (Mn B) en diciembre y un máximo de 46,52 µg/g (Mn T) y 15,64 µg/g (Mn B) en marzo y diciembre, respectivamente; con un promedio general de 12,58 µg/g (Mn T) y 7,64 µg/g (Mn B). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre localidades para Mn T (KW: 7,40, p<0,05), encontrándose las concentraciones más altas frente a Guacarapo y Los Cachicatos (14,59 y 14,72 µg/g, respectivamente), así como se encontraron diferencias significativas para Mn B (KW: 11,31, p<0, 01) con las concentraciones más altas frente a Los Cachicatos (11,71 µg/g). El Mn está presente en cantidades apreciables en los sedimentos marinos, es esencial en las reacciones enzimáticas y es altamente reactivo, especialmente en sistemas acuáticos. Muchas investigaciones asocian la presencia del manganeso con las concentraciones de otros elementos como es

el caso del cobalto y níquel (Moore & Ramammorthy 1984). En el trabajo de Pérez *et al*. (2006) en las Lagunas de Bocaripo y Chacopata (5,02 y 5,72 µg/g, respectivamente), se señalan valores inferiores a los de esta investigación, sin embargo, los promedios hallados son semejantes a lo registrado por Márquez *et al*. (2005) de 14,63 µg/g en el litoral nororiental del Golfo de Cariaco. Acosta *et al*. (2002) registraron valores más altos de este elemento en Playa Güiria de 18,95 µg/g; Fuentes *et al*. (1997, 2010) registraron un promedio de 24,84 µg/g en la Laguna de Chacopata, y de 66,31-80,29 µg/g en el saco del Golfo de Cariaco, respectivamente; Aguado (2012) hacia el sector central del golfo halló valores de 32,90 mg/kg; Bonilla *et al*. (2003a) encontraron en la Ensenada Grande del Obispo concentraciones de 49,37 µg/g; Mujica (2010) en la Periferia de la Cuenca de Cariaco reportó un promedio de 60 mg/kg; Fermín (2002) encontró altos valores de Mn en la Laguna de Unare (616,37 µg/g) y Rubio *et al*. (2000) encontraron en la Ria de Vigo un promedio aproximado de 225 µg/g; tomando en cuenta que muchas de estas áreas tienen incidencia antrópica por parte del aporte de ríos, aguas servidas, así como desechos de industrias de la región.

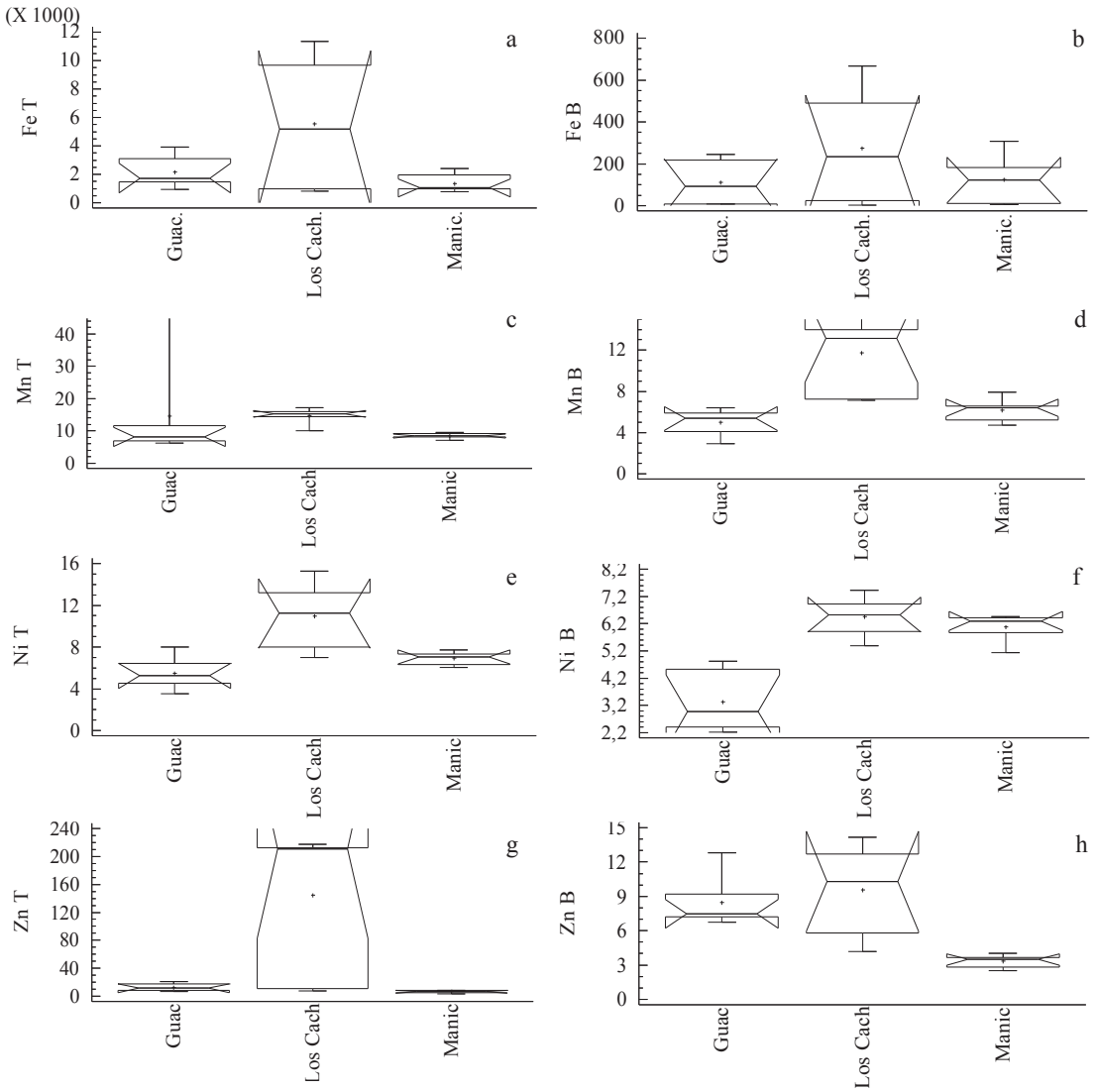


Fig. 2. Concentración de metales totales y biodisponibles (µg/g sedimento seco) de los sedimentos superficiales en los tres meses de muestreo y las localidades del Golfo de Cariaco. a) Fe T, b) Fe B, c) Mn T, d) Mn B, e) Ni T, f) Ni B, g) Zn T, h) Zn B.

Níquel

Las concentraciones de Ni T oscilaron entre un mínimo de 3,54 µg/g durante octubre frente a Guacarapo y un máximo de 15,28 µg/g en diciembre frente a Los Cachicatos, con un promedio de 7,80 µg/g; no se encontraron diferencias significativas entre los meses de muestreo pero si entre las localidades (KW: 4,35, p>0,05; KW: 9,31, p<0,01. Fig. 2) encontrándose en Los Cachicatos las concentraciones más altas (10,98 µg/g), este último valor en los límites para sedimentos no contaminados (10 µg/g), de acuerdo a lo planteado por SADIQ (1992); mientras que MOGOLLÓN & BIFANO (1989) indican como valor límite de 17 µg/g; por su parte, las concentraciones biodisponibles se encontraron entre 2,22-7,43 µg/g no presentando riesgos para la biota en general, con un promedio general de 5,28 µg/g, sin encontrarse diferencias significativas entre los meses de muestreo pero si entre localidades con las menores concentraciones frente a Guacarapo (KW: 5,28, p>0,05; KW: 11,66, p<0,01, respectivamente, Fig. 2). Es importante destacar, que este elemento solo se encuentra en la corteza terrestre en 0,01% en forma de óxidos, carbonatos, silicatos de Fe y Mn, así como sulfuros de arsénico y telurio y a pesar de que es un metal esencial en nuestro organismo, en concentraciones relativamente altas puede ser perjudicial, ya que se ha relacionado con diversas enfermedades, incluyendo el cáncer (Rosas 2001).

Las concentraciones de Ni en general se encuentran por debajo a las señaladas por MARTÍNEZ (2002) de 22,80 µg/g para la costa norte del Golfo de Cariaco; así como a las de BONILLA *et al*. (2003a) entre 11,78-40,56 µg/g en la Ensenada Grande del Obispo y a los de MÁRQUEZ *et al*. (2005) de 13,68 µg/g en el sector nororiental del Golfo de Cariaco, aún cuando estos atribuyen las altas concentraciones a la hidrodinámica del Golfo, en esta investigación no se ve reflejada esta situación, pudiéndose asociar a las características propias de las zonas de muestreo.

Zinc

Las concentraciones de Zn T para la costa norte del Golfo en general, se encuentran por encima de los parámetros (110,00 µg/g) de sedimentos no contaminados establecidos por Sadiq (1992), resaltando la localidad frente a Los Cachicatos que presentó valores elevados durante todo el muestreo (144,89 µg/g), Sin embargo, la biodisponibilidad de este metal se mantuvo en concentraciones bastante bajas sin presentar un riesgo de toxicidad para la biota en general. No se encontraron diferencias significativas entre muestreos pero si entre las estaciones (Zn T: KW: 9,31, p< 0,05 y Zn B: KW: 11,47, p< 0,01; Fig. 2), con un mínimo de 3,73 µg/g (Zn T) y 2,51 µg/g (Zn B) y un máximo de 217,56 µg/g (Zn T) y 14,18 µg/g (Zn B), reflejándose esto a lo que ocurre normalmente en los ecosistemas costeros, donde este elemento es relativamente abundante y es esencial para los seres vivos, concordando estos resultados con lo registrado por Martínez (2002) de 222,42 µg/g en la estación 21 del sector central del Golfo (muy cercano al área estudiada), con un valor menor para la costa norte con promedio de 50,82 µg/g, infiriendo que las altas concentraciones estaban asociadas a las características granulométricas y/o contenido de materia orgánica de la zona. Otras investigaciones como las de Aguado (2012) que encontró en promedio 72,87 mg/kg en el sector central del Golfo; Fuentes *et al*. (2010) entre 25,13 a 104,57 µg/g en el Saco del Golfo; Márquez *et al*. (2005) en el Litoral nororiental de la misma zona encontró valores de 11,59 µg/g; Bonilla *et al*. (2003a) en la Ensenada Grande del Obispo mostraron promedios de 45,74 µg/g y Rubio *et al*. (2000) en la Ria de Vigo encontraron promedios aproximados de 105 µg/g.

Cobre

Los valores de Cu total entre los meses de muestreos reflejaron diferencias significativas (KW: 6,14, p< 0,05), siendo diciembre el que presentó las concentraciones más altas (4,42 µg/g); por otra parte, se obtuvieron diferencias significativas en las concentraciones de Cu T (Fig. 3) entre las localidades, (KW: 6,88, p< 0,05) presentando Los Cachicatos los valores más altos (5,16 µg/g), así como también en Cu B con concentraciones de 1,85 µg/g (KW: 9,70, p< 0,05), indicando estos resultados que son característicos de sedimentos no contaminados (10 µg/g, Sadiq 1992). El Cu es un elemento esencial para la vida de los organismos, ya que juega un rol catalítico en muchos sistemas enzimáticos, el cual puede ser tóxico en altas concentraciones y poseer acción degradativa en los ecosistemas. Este metal tiene una amplia distribución en la naturaleza y posee una gran capacidad para formar complejos; es empleado en las industrias eléctricas, de construcción y automóviles (Al-Edresy *et al*. 2019). La contaminación por Cu puede afectar la fotosíntesis y desarrollo de las algas, así como las primeras etapas de desarrollo de los animales marinos (huevos, larvas, entre otros) pudiendo

causar la muerte de los mismos (Sadiq 1992; Aranda 1999; Jara & Salamanca 2003).

Los resultados de esta investigación son similares a los encontrados por Márquez *et al*. (2005) en el Golfo de Cariaco (2,29 µg/g); sin embargo, son menores a los registrados por Martínez (2002) en la costa norte del Golfo (17,99 µg/g); a los de Fuentes *et al*. (2010) en el Golfo de Cariaco con concentraciones de hasta 35 µg/g, a los de Bonilla *et al*. (2003a) que en la Ensenada Grande del Obispo encontraron valores promedio de 15,30 µg/g.

Cromo

El valor mínimo de cromo total (Cr T) fue de 3,42 µg/g durante octubre, se presentó frente a Guacarapo, el de cromo biodisponible (Cr B) fue de 1,56 **µg/g** en marzo en la misma localidad y el máximo de 15,79 µg/g (Cr T) durante octubre frente a Los Cachicatos, y para Cr B de 9,87 **µg/g** durante marzo en la misma localidad con un promedio de 9,28 µg/g. Los análisis estadísticos no arrojaron variaciones significativas entre los meses de muestreos. Sin embargo, entre localidades se encontraron diferencias en la biodisponibilidad de este metal (KW: 9,91, $p<0,05$) (Fig. 3).

Aun cuando el Cr es un metal traza considerado como contaminante antropogénico, se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza bajo múltiples estados de oxidación, influenciado y controlado por los cambios redox (Pazos 2007). Las principales descargas industriales provienen de los procesos de la pesca, curtiembres, metalurgia, entre otros, que al entrar al medio marino pueden experimentar reacciones químicas y biológicas dadas básicamente por la especiación, principalmente de tipo oxidación/reducción, precipitación/disolución y adsorción/desorción (Sadiq 1992; Velásquez 2005; Pazos 2007). Las concentraciones del mismo en las localidades del Golfo muestreadas se encuentran dentro de los límites establecidos para sedimentos no contaminados por Sadiq (1992) de 20,00 µg/g.

Márquez *et al*. (2005) obtuvieron un promedio similar a los de esta investigación en el litoral nororiental del Golfo de 10,23 µg/g; sin embargo, existen reportes como los de Martínez (2002) en la costa norte del Golfo con concentraciones de 36,89 µg/g; los de Bonilla *et al*. (2003a) con un promedio de 19,97 µg/g en la Ensenada Grande del Obispo, atribuyendo las altas concentraciones a aportes de origen antrópicos y/o litogénicos, ya que esta ensenada por su formación geomorfológica tectónica está compuesta granulométricamente por arenas de grano grueso a fino, capaces de retener metales pesados; Aguado (2012) en el sector central del Golfo con 24,11 µg/g y Rubio *et al*. (2000) en la Ria de Vigo con 55,00 µg/g.

Cadmio

Los valores de Cd total y biodisponible fueron muy homogéneos en el tiempo, sin embargo, entre localidades (Fig. 3) se encontraron diferencias significativas (Cd T: KW: 9,51, $p< 0,05$; Cd B: KW: 6,88, $p< 0,05$), fluctuando las concentraciones totales entre 0,86-2,52 µg/g y las biodisponibles entre 0,66-2,08 µg/g siendo estos datos alarmantes, ya que se encuentran por encima del límite propuesto por Sadiq (1992) para sedimentos no contaminados de 1,00 µg/g, indicando una posible contaminación por Cd en las tres localidades de muestreo y se confirma los datos reportados por Martínez (2002) en la costa norte de 1,54 µg/g; a los de Fuentes *et al*. (2010) con valores superiores a 1,00 µg/g también en el sector oriental del Golfo de Cariaco y a los reportados por Márquez *et al*. (2005) que en algunas localidades del Golfo las concentraciones de Cd superaron el valor de un 1,00 µg/g.

En general, el Cd entra al ambiente marino por deposición atmosférica, escorrentías límnicas y a través de las descargas de efluentes de origen antrópico, desde fuentes industriales y domésticas cercanas al litoral costero. El Cd en los ecosistemas marinos y lacustres se presenta como uno de los metales pesados más contaminantes, siendo altamente tóxico en su estado de oxidación Cd^{2+}. Los altos contenidos de Cd en los sedimentos de las tres localidades del Golfo de Cariaco estudiadas, evidencian aportes de alta incidencia antrópica. Martínez (2002) señala que la costa norte del Golfo de Cariaco es la menos densa poblada y carente de actividades industriales; sin embargo, debido a la hidrodinámica del Golfo, los contaminantes provenientes de las empresas ubicadas en la costa sur son llevados hacia el centro y la costa norte. Igualmente, la circulación ciclónica presente en el Golfo, la cual ha sido señalada por Gade (1961), podría estar trasladando altos niveles de Cd desde la costa sur hacia la norte.

Plomo

El Pb es un metal que afecta seriamente a la biota marina en cantidades trazas, ya que es altamente tóxico y al igual que los demás metales se adhiere a los

sedimentos de textura fina con alto contenido orgánico. Se emplea en la fabricación de baterías, revestimiento de cables eléctricos, en pinturas y pigmentos. Las concentraciones de Pb con respecto al tiempo solo obtuvieron diferencias significativas (KW: 7,05, p< 0,05) en la fracción biodisponible con un promedio de 6,70 µg/g, reflejándose en el mes de marzo las mayores concentraciones (11,21 µg/g), siendo este valor muy elevado, indicando contaminación en los períodos de surgencia. No obstante, entre localidades no se encontraron diferencias significativas (Fig. 3), en la fracción total las concentraciones oscilaron entre 4,48-26,82 µg/g y aún cuando en la fracción biodisponible no hubo diferencias entre las estaciones, hay que resaltar que los valores en las localidades frente a Los Cachicatos y Manicuare (8,10 y 8,80 µg/g, respectivamente) son considerados como indicativos de contaminación, ya que Sadiq (1992) propone un valor máximo de 5,00 µg/g para sedimentos no contaminados. Estos datos son inferiores a los registrados por Bonilla *et al*. (2003a) de 19,01 µg/g en la Ensenada Grande del Obispo, y a los de Martínez (2002) de 17,99 µg/g en la costa norte del Golfo y el señala que esto refleja una fuerte influencia antrópica en la acumulación de plomo en este

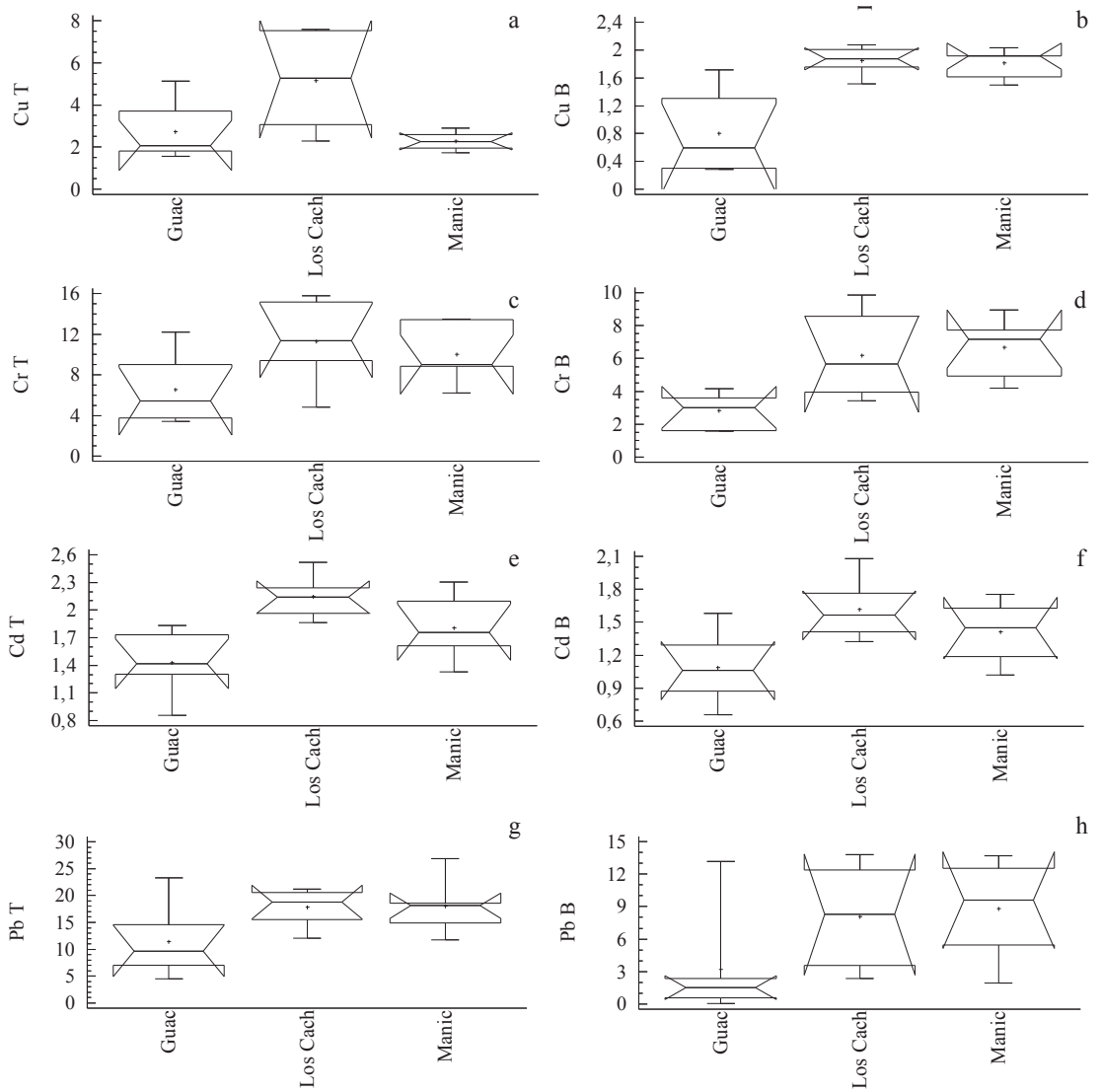


Fig. 3. Concentración de metales totales y biodisponibles (µg.g-1 sedimento seco) de los sedimentos superficiales en los tres meses de muestreo y las localidades del Golfo de Cariaco. a) Cu T, b) Cu B, c) Cr T, d) Cr B, e) Cd T, f) Cd B, g) Pb T, h) Pb B.

ecosistema marino. En este caso, las fuentes principales de Pb a este medio marino son debidas a un importante tráfico de embarcaciones, mayormente con motores fuera de borda, que navegan por el Golfo, y se deposita y acumula en los sedimentos superficiales (Martínez 2002). De igual manera, los pescadores de la zona utilizan el plomo como lastre en sus aparejos y redes para pescar, y gran cantidad de estos pedazos van a parar a los sedimentos del fondo (Martínez 2002).

CONCLUSIÓN

La textura del sedimento en las tres localidades del Golfo de Cariaco es principalmente arenosa, los porcentajes de MO son característicos de sedimentos no reductores. Las concentraciones de MO, NT y PT son características de la alta productividad de la zona y los sedimentos superficiales de las zonas estudiadas presentan una posible contaminación principalmente por Cd en las tres localidades y Pb en las estaciones frente a Manicuare y Los Cachicatos, de acuerdo a lo propuesto por Sadiq (1992) para sedimentos marinos no contaminados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan un sincero agradecimiento al jefe (Prof. Gregorio Martínez Campos) y personal técnico (Deudedit Hernández y Edymir Parra) del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela por su valiosa colaboración en la logística de muestreo, procesamiento y análisis de muestras; así mismo al personal del Centro de Investigaciones de Guayacán, a mis compañeras Alba Liscano y Gabriela Sánchez **(†)** y a todas aquellas personas que de una manera u otra contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior & G. Martínez. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27: 686-690.

Aguado, B. 2012. *Especiación de metales pesados en sedimentos superficiales del sector central del Golfo*, *Estado Sucre*, *Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 88 pp.

Ahumada, R.; A. Rudolph & S. Contreras. 2002. Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en los sedimentos marinos de la región patagónica (52°-56° S), Chile. *Cienc*. *Tecnol*. *mar*, 25: 77-86.

Ahumada, R., E. González, & J. Neira. 2004. Especiación de zinc en sedimentos marinos del fiordo Aysén. *Invest*. *Marinas*, 32(1): 3-10.

Al-Edresy, M., S. Wasel & H. Al-Hagibi. 2019. Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments between Al-Haymah and Al-Mokha, south red sea, Yemen. *Intern*. *Journ*. *Hydrology*. 3(2): 159-173.

Aparicio, R. 2003. *Medio ambiente físico y biológico*. En: *La sardina* (*Sardinella aurita*), *su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. Eds. P. Fréon & J. Mendoza. IRD Editions. 71-206.

Aparicio, R. & R. Contreras. 2003. *Indices de surgencia costera inducida por el viento para la región nororiental de Venezuela*. En: *La sardina* (*Sardinella aurita*), *su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. Eds. P. Fréon & J. Mendoza. IRD Editions. 207-232.

Aranda, S. 1999. *Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 93 pp.

BARCELÓ. A., M. LEMUS, &E. IZAGUIRRE. 2008. Parámetros geoquímicos en sedimentos superficiales de la región marino-costera de Punta de Piedras, Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 47(1): 33-40.

Bonilla, J. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 18(1 & 2): 133-155.

Bonilla, J.; J. Moya, & A. Quintero. 2003b. Contenido orgánico y parámetros reductores de sedimentos del Archipiélago los Roques, Venezuela, *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 42 (1 y 2): 47-63.

Bonilla, J., S. Aranda, C. Ramírez, J. Moya & A. Márquez. 2003a. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, Estado Sucre – Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 42 (1 & 2): 3-27.

Bouyoucos, G. 1962. Hidrometer method improved for making particule size analyses in soils. *Agron*. *Journal*. 544: 464-465.

Buratini, S. & A. Brandelli. 2006. *Bioacumulação* En: *EcotoxicologíaAquática Principios e Aplicações*. Eds. P. Zagatto & A. Bertoletti . RiMa Editora. São Carlos, SP. 55-88 pp.

Castañeda J. 2006. *Hidrografía y aspectos dinámicos de la plataforma norte de la Península de Paria*, *durante 2005*. Trab. Asc Prof. Asociado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Contreras, F. 1994. *Manual de Técnicas Hidrobiológicas*. Editorial Trillas, S.A. México.

Duursma, E. & R. Dawson. 1981. *Marine Organic Chemistry*. *Evo*lution, *composition and chemistry of organic matter in seawater*. Elsevier Oceanography Series, 31. Amsterdam, Holanda. 521 pp.

De La Lanza, G. 1994. *Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano*. En *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Eds. De La Lanza, G. y Cáceres. Publicación de la Universidad Autónoma de Baja California. 127-198.

Fergusson, J. 1990. *The heavy elements*: *chemistry*, *environmental impact and health effects*. Pergamon Press., Oxford. 614 pp.

Fermín, I. 2002. *Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la laguna de Unare*, *Edo*. *Anzoátegui*, *Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 106 pp.

Frankowski, M., A. Ziola, M. Siepak, & J. Siepak. 2008. Analysis of heavy metals in particular granulometric fractions of botton sediments in the Mala Welna River (Poland). *Polish*. *Journ*. *Environm*. *Study*.,17: 343-350.

Fuentes, M.V. 1998. *Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata*, *Edo*. *Sucre*, *Venezuela*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela, 113 pp.

Fuentes, M.V., J. Bonilla & J. Fermín. 1997. Algunas características químicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 36(1&2): 69-79.

Fuentes, M.V., L. Rojas de Astudillo, A. Díaz & G. Martínez. 2010. Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela. *Rev*. *Biol*. *Trop*. 58(3): 129-140.

Fuentes, M.V., O. Sanguinetti & L. Rojas de Astudillo. 2019. Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco. *Rev*. *Intern*. *Contam*. *Amb*.. 35(1): 101-114.

Gade, H. 1961. Further hydrographic observations in the Gulf of Cariaco, Venezuela. The circulations and water exchange. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 1(2): 356-395.

Gerlach, S. 1981. *Marine Pollution*.*Diagnosis and Therapy*. Springer Verlag, Berlín.

Gómez, A. & D. Azevedo. 2003. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in Tropical Recent Sediments of Campos de Goytacazes, RJ, Brazil. *Journ*. *Brazil Chem*. *Soc*. 14(3): 358-368.

Gómez, A. & J. Chanut. 1993. Hidrografía, producción y abundancia planctónica al sur de la Isla de Margarita, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 32(1 & 2): 27-44.

González, E., M. Retamal, V. Medina, & R. Ahumada. 2009. Enriquecimiento, disponibilidad y contaminación de metales traza (Cd, Cu, Pb y Zn) en sedimentos de lagunas urbanas de Concepción-Chile. *Quim*. *Nova*., 32: 902-907.

Guiñez, M., J. Valdés, & A. Siffedine. 2010. Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la zona de mínimo oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, Bahía de Mejillones, Chile. *Lat*. *Amer*. *Journ*. *Aquat*. *Res*. 38(2): 242-253.

Hansen, A. & H. Márquez-Pacheco. 2012. Procedimiento para evaluar cargas internas de nutrientes en cuerpos de agua. *Rev*. *Mex*. *Cien*. *Geol*. 29(1): 265-275.

Hernández, D. 2013. *Fraccionamiento de fósforo en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco*, *Estado Sucre*, *Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 78 pp.

Izquierdo, C.; J. Usero, & I. Gracia. 1997. Speciation of metals in sediments from salt marshes on the Southern Atlantic Coast of Spain. *Mar*. *Poll*. *Bulletin*. *34*(2): 123-128.

Jara, B. & M. Salamanca. 2003. Disponibilidad ambiental de cobre en aguas de Bahía Coliumo. *Cienc*. *Tecn*. *Mar*. 26 (1): 33-44.

Jiménez, I., L. Rojas de Astudillo, G. Martínez, & A. Ramírez. 2008. Fraccionamiento de mercurio en

sedimentos superficiales de la costa norte y golfo de Paria del estado Sucre, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 47(2): 141-147.

Márquez, A., J. Bonilla, G. Martínez, W. Senior, D. Aguilera, & A. González. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 44(2): 89-103.

Martín, A., L. Malavé, D. Sánchez, R. Aparicio, F. Arocha, D. Bone, J.A. Bolaños, J. Bolaños-Jiménez, J Castañeda, J.J. Cárdenas, A.K. Carbonini, Y.J. Díaz, H.J. Guada, E. Klein, R. Lazo, A. Lemus, M. Lentino, C. Lira, C. Lodeiros, R. López, B. Marín, G. Martínez, B. Márquez, A. Márquez, R. Molinet, F. Morales, J. Posada, A. Prieto, A. Riera, C.T. Rodríguez, A. Ramírez, W. Senior, P. Solana, H. Severeyn, P. Spiniello, E. Valera, C. Yanes & E. Zoppi. 2007. *Línea Base Ambiental Plataforma Deltana*. Eds. A. Martín & D. Bone. Petróleos de Venezuela, S. A. - Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. 176 pp.

Martín, J., D. Guan., F. Elbaz-Poulichet., A. Thomas & V. Gordev. 1993. Preliminary assessment of the distribution of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in a pristine aquatic environment in the Lena river estuary (Russia). *Mar*. *Chem*. 43:185-199.

Martínez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 41(1 & 2): 83-96.

Mogollón, J. & R. Bifano. 1989. Contaminación por Cu, Ni, Zn, en sedimentos de la Cuenca del Lago de Valencia. *Act*. *Cient*. *Venezolana*. 40: 157-158.

Moore, J. & S. Ramammorthy. 1984. *Heavy metals in natural Waters*. Springer-Verlog, New York.

Mucci, A., B. Sundbury, M. Gehlen, T. Arakaki, S. Zhong, & N. Silverberg. 2000. The fate of carbon in continental shelf sediments of eastern Canada: a cese study. *Deep Sea Research*. II 47: 733 – 760.

Mujica, L. 2010. *Fraccionamiento geoquímico de metales pesados en sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco*, *Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química. Universidad de Oriente, Venezuela, 65 pp.

Murphy, J. & J. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal*. *Chimic*. *Acta*. 12: 162-170.

Otero, X., M. Huerta-Díaz, S. De La Peña, & T. Ferreira.2013. Sand as a relevant fraction in geochemical studies in intertidal environments. *Environ*. *Monit*. *Assess*. 185(4): 17-34.

Páez-Osuna, F., G. Izaguirre, & J. Osuna. 1992. Carbono y fósforo en sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola. *Anal Inst*. *Cienc*. *Mar*. *limn*. Universidad Autónoma de México.

Pazos, P. 2007. *Biodisponibilidad de cromo en sedimentos marinos de la Ría de Arousa*. Trab. Grad. Doct. Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Universidad Santiago de Compostela, 447 pp.

Pérez, M., G. Martínez, & I. Fermín. 2006. Biodisponibilidad de metales traza en sedimentos superficiales del ecosistema lagunar costero Bocaripo-Chacopata (Península de Araya, Estado Sucre). *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 45(2): 81-91.

Pirela-Ochoa, E., L. Troccoli, & I. Hernández-Ávila. 2008. Hidrografía y cambios en la comunidad del microfitoplancton de la Bahía de Charagato, Isla de Cubagua. Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 47(1): 3-15.

Quintero, A., L. Caraballo, J. Bonilla, G. Terejova, & R. Rivadula. 2006. Sedimentos marino-costeros del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 45(2): 127-139.

Ramírez, C. 1999. *Geoquímica de los sedimentos recolectados en trampas ubicadas en Punta Arena*, *Golfo de Cariaco*, *Edo*. *Sucre*, *Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química. Universidad de Oriente. Venezuela, 87 pp.

Rivaro, P., C. Ianni, S. Massolo, S. Ruggieri, & R. Frache. 2004. Heavy metals in Albanian coastal sediments. *Tox*. *Environm*. *Chem*. 86: 85-97.

Rivas-Rojas, T., J. Díaz, L. Troccoli, L. Charzeddine, S. Subero, & A. Márquez. 2007. Variación diaria de algunas variables físico-químicas y de la biomasa del fitoplancton en una Playa Tropical, Cumaná, estado Sucre, Venezuela. *Bol*. *Inst*. *Oceanogr*. *Venezuela*. 46(1): 13-21.

Rojas de As. L., I. Chang, J. Agard, I. Bekele & R. Hubbard. 2002. Heavy metal in green mussel (*Pernaviridis*) and the oyster (*Crassostrea* sp) from Trinidad and Venezuela. *Arch*. *Environm*. *Contam*. *Toxic*. 42: 410-415.

Rosas, H. 2001. *Estudio de contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad Politécnica de Manresa. España, 82 pp.

Rubio, B., M. Nombela, & F. Vilas. 2000. La contaminación por metales pesados en las Rías Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO de España). *Jour*. *Iber*. *Geol*.26: 121-146.

Sadiq, M. 1992. *Toxic metal chemistry in marine environments*. Marcel Dekker, Inc., New York. 390 pp.

Shepard, F. 1954. Nomenclature based on the sand-silt-clay ratios. *Journ*. *Sed*. *Petrology* 24(3):151-158.

Silva, N. 2006. *Características físicas y químicas de los sedimentos superficiales de canales y fiordos australes*. *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas*, *Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 114 pp.

Tessier, A., P. Campbell, & M. Bisson. 1982. Particulate trace metal speciation in stream sediments and relationships with grain size: implications for geochemical exploration. *Journ*. *Geochem*. *Explor*. 16: 77–104.

Treguer, P. & P. Le Corre. 1975. *Manual d'analyses des selsnutritifsdansl'eau de mer*. *Utilization I'autoanalyzer II* .Techicon.LOC-UBC. 2ed. 110 pp.

Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar*. *Chem*. 10: 109-122.

Varela, R., F. Carvajal & F. Müller-Karger. 2003. El fitoplancton en la plataforma nororiental de Venezuela. En: La sardina (*Sardinella aurita*), su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela. Eds. P. Fréon & J. Mendoza. IRD Editions. 263-294 pp.

Velásquez, L. 2005. *Distribución y comportamiento de los metales pesados Cd*, *Cu*, *Ni*, *Zn*, *Fe*, *Mn*, *Co*, *Cr y Pb en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco*, *estado Sucre*, *Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Venezuela 79 pp.

Vogel, A. 1960. *Química Analítica Cuantitativa*. *Vol.1*. Editorial Kapelusz, S.A. Argentina. 664 pp.

Recibido: Octubre 2020
Aceptado: Diciembre 2020

Bol. Inst. Oceanog. Venez. 59(02): 58-75 (2020) 14 Figs., 05 Tabs.

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS, CORRIENTES Y MAREAS (ABRIL - JUNIO 2019) EN EL ARCHIPIÉLAGO LOS ROQUES, VENEZUELA

Quintero Antonio[1*] & Terejova Galina[2]

[1] *Instituto Oceanográfico de Venezuela, Dpto. de Oceanografía, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.*
**autor de correspondencia: agqr2005@gmail.com*

[2] *Investigador Independiente sin filiación institucional.*
E-mail: galina_terejova@hotmail.com

Resumen: El archipiélago Los Roques, lugar emblemático de los mares venezolanos, es una formación coralina en forma de atolón localizado al sur del mar Caribe. La información disponible para su comprensión es muy limitada, sobre todo en lo relativo a lo meteorológico (vientos), corrientes marinas y mareas. Se emplazaron dos estaciones meteorológicas automáticas y dos medidores de presión marinos en las islas Gran Roque, Dos Mosquises y un anemómetro en isla Crasky. Las corrientes se midieron en 31estaciones. Las observaciones se realizaron del 12 abr 2019 al 15 jun 2019. Durante el periodo de observación, la región se encontró bajo la influencia del anticiclón atlántico de las Azores y los parámetros meteorológicos mostraron pequeñas variaciones temporales, características del clima marino. El régimen del viento mostró el comportamiento de los vientos alisios, pero en la isla Dos Mosquises hay indicios de la presencia de brisas marinas. Las corrientes marinas siguen el patrón de circulación de este a oeste obviando obstáculos, con una velocidad del orden de los 20 cm/s. El patrón de circulación es alterado en el valle submarino del Gran Roque y al noroeste de Dos Mosquises. Las mareas son mixtas con predominio del tipo diurno. La pleamar ocurre en las primeras horas de la tarde y la bajamar en la noche. Los constituyentes principales de armónicos, corresponden a cuatro de carácter diurno (K1, O1, J1, Q1), tres de carácter semidiurno (M2, S2, N2) y las componentes lunar mensual y lunisolar sinódica quincenal (Mm, Msf).

Palabras claves: datos oceanográficos y meteorológicos, nivel del mar, medición oceanográfica y corrientes marinas, valle submarino, depresión submarina.

Abstract: The Los Roques archipelago, emblematic of the Venezuelan seas, is an atoll-shaped coral formation located south of the Caribbean Sea. The information available for your understanding is very limited, especially regarding weather (winds), sea currents and tides. Two automatic weather stations and two marine pressure meters were located in the Gran Roque Islands, Dos Mosquises and an anemometer on Crasky Island. The currents were measured in 31stations. Comments were made from 12 Apr 2019 to 15 Jun 2019. During the observation period, the region found itself under the influence of the Atlantic anticyclone of the Azores and weather parameters showed small temporal variations, characteristics of the marine climate. The wind regime showed the behavior of trade winds, but on dos Mosquises Island there are indications of the presence of sea breezes. Sea currents follow the east-west circulation pattern by ignoring obstacles, with an order speed of 20 cm/s. The circulation pattern is altered in the underwater valley of Gran Roque and northwest of Dos Mosquises. The tides are mixed with predominance of the daytime type. Pleamar occurs in the early afternoon and is lowered at night. The main constituents of harmonics correspond to four daytime constituents (K1, O1, J1, Q1), three semi-day (M2, S2, N2) and the monthly lunar and fortnightly synodic lunisolar components (Mm, Msf).

Keywords: oceanographic and meteorological data, sea level, oceanographic measurement and sea currents, underwater valley, underwater depression.

INTRODUCCIÓN

Para muchos, el lugar más emblemático de los mares venezolanos es el archipiélago Los Roques, sin embargo, Bonilla *et al*. (2003) afirman, "Hasta el presente se desconoce el comportamiento hidrogeoquímico del ecosistema Archipiélago Los Roques a pesar de ser geológicamente el rasgo fisiográfico más interesante, es el menos conocido del cordón insular marino oceánico que forma parte de las dependencias federales de Venezuela."

Sin información disponible, el entendimiento, gestión y manejo del área de Los Roques se ve muy limitada. Así, Noriega *et al*. (2006) reportaron la disminución del erizo de mar *Diadema antilliarum* muy abundante en el Atlántico tropical y uno de los más conspicuos en los arrecifes coralinos del Caribe. Las poblaciones de ese organismo disminuyeron en un 87-100% en los años 83-84, 85, 90 y 92. No fue identificado el agente patógeno que causó las mortandades y la recuperación de la especie pudo ser cuantificada por la disponibilidad de información en algunos países del gran Caribe. Venezuela que no contaba con registros, lo que no permitió ver el grado de afectación ni el nivel de recuperación después del evento de mortalidad.

Villamizar *et al.* (2014) mostraron al archipiélago como un sistema arrecifal "saludable", a pesar de las pérdidas por la enfermedad de la "banda blanca" en la década de los 80, o el incremento de la temperatura promedio del agua y el consecuente blanqueamiento en las colonias coralinas, debido a que la región del archipiélago posee condiciones naturales para la existencia duradera de los arrecifes de coral y estar el área bajo poca presión. Por ello el archipiélago Los Roques es muy atractivo para el disfrute de propios y extraños.

A pesar de ser el archipiélago sede del gobierno insular regional con perspectivas de polo turístico del Caribe sur, zona prístina de interés ecológico y ambiental, los estudios con que cuenta son escasos y aun cuando el área de la biología marina es la mejor situada, tiene la limitante, de que la mayoría de los trabajos se centran alrededor de la isla Dos Mosquises (Estación Marina FUNDAMAR). No se tiene noticia de mediciones instrumentales de parámetros dinámicos atmósfero-marinos (vientos, corrientes, olas y mareas), incluso los equipos instalados en el aeropuerto que sirve al archipiélago son mecánicos y no se llevan registros.

De la gama de información aportada por los parámetros ambientales y necesarios para la comprensión del medio marino destacan los parámetros dinámicos atmósfero-marinos. Estos determinan el transporte y remoción de las masas de agua, su temperatura y salinidad, contenido de nutrientes, influyen sobre el clima y condicionan la biota existente.

Por ello, en base a las primeras observaciones instrumentales atmosféricas y marinas realizadas en el archipiélago Los Roques, que vienen a llenar un vacío de información, se evalúa las corrientes marinas inducidas por factores atmosféricos y el comportamiento de las ondas de largo período (mareas) inducidas por factores astronómicos, a través de la descripción de la circulación de las aguas y de la oscilación del nivel medio del mar en esa región.

METODOLOGÍA

Area de estudio

El área del archipiélago Los Roques (Fig. 1) se ubica a unos 160 km al norte franco del litoral central de Venezuela entre los 11°44'26" - 11°58'36" Lat. N y 66°36'25" – 66°57'27" Log. W (Bonilla *et al*. 2003). Es el complejo arrecifal más importante de Venezuela y el Caribe Sur, sitio de gran interés turístico, económico y ecológico (Casanova *et al.* 2007).

El Estado Venezolano ha zonificado el archipiélago en cuatro áreas según su fragilidad, singularidad y valor

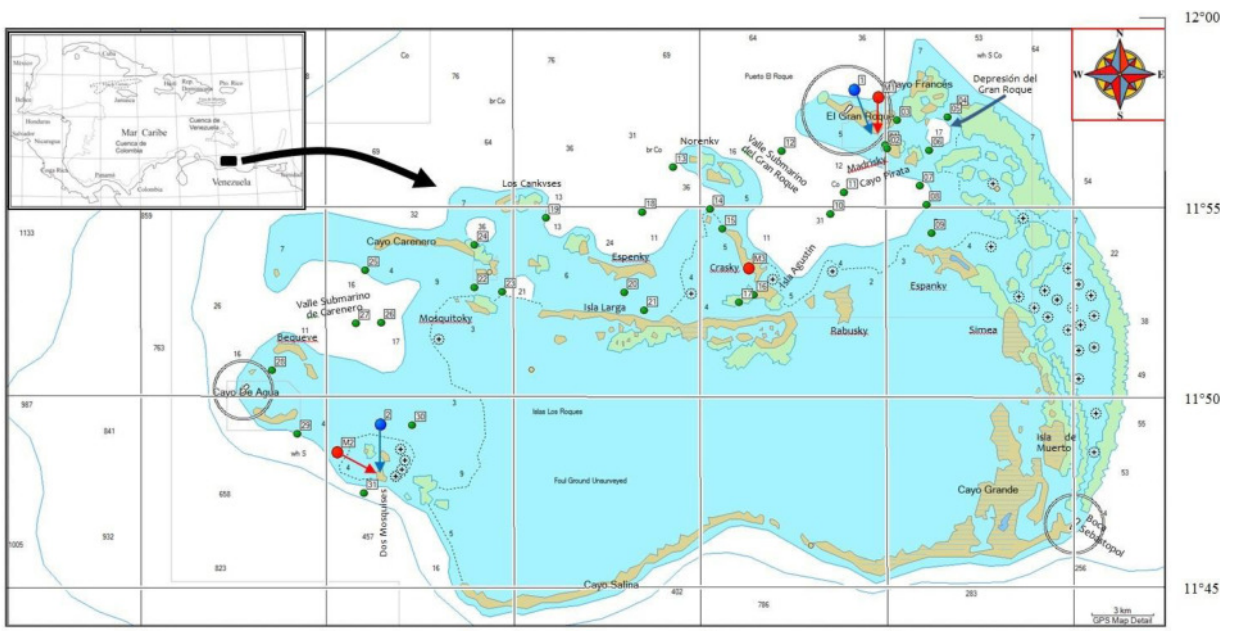


Fig. 1. Batimetría del área del archipiélago Los Roques (Garmin 2007) y ubicación de los sitios de observación meteorológica ● M1 , corrientes ● 1 y mareas ● N1 , Rocas sumergidas ⁂, luces de ayuda a la navegación ⊙ , zona restringida .

de los recursos naturales (Decreto No 1213 1991). Cada una de ellas alberga todos los ecosistemas típicos de las zonas marítimas y costeras tropicales: playas de arena, arrecifes coralinos, lagunas de aguas saladas y salobres, praderas de fanerógamas marinas y manglares, que albergan a diversas especies marinas, que son planctófagas en sus estadios tempranos del desarrollo, convirtiéndolos en sitios de interés para la industria pesquera (Amend 1992).

En el archipiélago Los Roques se agrupan 42 cayos de origen coralino (rocas de coral y conchas marinas), una isla de formación ígneo-metamórfica (Urbani 2005; Toro *et al*. 2014) y aproximadamente 300 bancos de arena que dependen del nivel de la marea. En el ideario popular son 365 islas, una por cada día del año (L. Gil, Morro de Pto. Santo, Edo. Sucre, *com. pers*. marzo 1986). Todo el complejo constituye un atolón, con su típica laguna mayor central comunicada con mar abierto. Según González (1989) las aguas alrededor del cayo Dos Mosquises, al sur-oeste del archipiélago son de carácter altamente oligotrófico, típicas de arrecifes coralinos.

La zona se caracteriza por tener altas temperaturas e insolación constante durante todo el año, con media a la sombra de 28°C. De escasa precipitación de marzo a junio con un promedio de 18 mm y el resto del año entre 18 y 79 mm. Los vientos alisios prevalecientes son del E, E-NE y E-SE con velocidad media de 24 km/h (6,7 m/s) y con una humedad relativa de un 80% anual (Bonilla *et al*. 2003).

Mediciones

Para la descripción climática fueron utilizados los datos de dos (2) estaciones meteorológicas automáticas – EMA: Una EMA, modelo *DAVIES Vantage Pro,* se instaló a 10 metros sobre el nivel del mar, en la torre de control del aeropuerto, en la isla Gran Roque (Fig. 2, Est. M_1), denominada Est. M_1 (11º 56' Lat. N, 66º 40' Long. W). La otra, modelo *Ambient Weather WS-2080* (11º 47' Lat. N, 66º 53' Long. W), fue ubicada a los 6,5 metros sobre nivel del mar, en la isla Dos Mosquises en la sede FUNDAMAR Miranda, denominada Est. M_2 (Fig. 3). Además, el día 14 de mayo en la isla Crasky en la Est. M_3 (11º 53' Lat. N, 66º 43' Long. W) fue colocado un anemómetro digital Vortex Inspeed a 2,5 m de altura. Por carecer de electricidad en isla Crasky, donde solo funciona el alumbrado público alimentado con energia solar, el almacenamiento de la información del anemógrafo no fue continuo y efectivo solo en los los intervalos cuando se activaba una planta electrica.

La información meteorológica obtenida cada hora correspondió al periodo del 12/04/19 hasta el 15//06/19 en la Est. M_1 y hasta el 12/12/19 en la Est. M_2. En las mediciones se consideraron los siguientes parámetros meteorológicos: temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa, dirección y velocidad



Fig. 2. Estación meteorológica Est. M1 y de mareas Est. N1 en Gran Roque.

media, máxima del viento y precipitación. En la Est. M_3 las observaciones se realizaron del 14/05/19 al 15/06/19, solo se midió la velocidad del viento y los datos se obtuvieron cada minuto.

Las mediciones de corrientes marinas se realizaron con apoyo de un derivador lagrangiano compuesto por un posicionador Data Logger *GlobalSat*. En el caso de las corrientes superficiales se adosó un lastre ubicado a un metro (1 m) de profundidad. Para las corrientes subsuperficiales el lastre se hacía descender a las profundidades de medición requerida (Quintero *et al*. 2009). Las mediciones de las corrientes se realizaron en 31 estaciones (Tabla 1) los días 12/05/19, 13/05/19, 13/06/19 y 15/06/19.

Para las mediciones del nivel del mar se emplearon dos (2) sensores de presión Sensus Pro Manager *ReefNet Inc*. Uno se instaló en el embarcadero turístico del Gran Roque (Est. N_1) el día 12/05/19 (11°57' Lat. N, 66°41' Long W). El segundo se colocó el 14/05/19 en la isla de Dos Mosquises Sur (Est. N_2) en el área del muelle abandonado de la estación biológica de FUNDAMAR (11°48' Lat. N, 66°54' Long. W). El equipo instalado en Dos Mosquises fue retirado el día 15/06/19 mientras que en Gran Roque se retiró el 16/06/19, con lo que se totalizaron 31dias 28 horas de observación en la Est. N_2 y 34 días y 14 horas en la Est. N_1. Se consideraron los datos horarios y por cuanto los aparatos fueron ubicados a diferentes profundidades, se procedió a normalizar las series y asignar el nivel "0" a la marea más baja en cada una de las estaciones.

La información batimétrica necesaria para la realización de las mediciones de corrientes e instalación de las estaciones de mareas, se obtuvo a través de las cartas marinas generadas por la Armada de Venezuela y compiladas en el programa "Blue Chart" de GARMIN (Garmin 2007). Igualmente se empleó un GPS Magellan *330Map* para la determinación de las coordenadas geográficas de todas las estaciones.

Métodos empleados

Toda la información recabada fue filtrada y se le aplicaron las siguientes banderas de calidad:

1. Exclusión de datos fuera del conjunto.

2. Exclusión de datos fuera de orden para el fenómeno observado.

3. Exclusión de datos fuera de orden para la región.

4. En todos los casos se consideró el norte geográfico y se dedujo la declinación magnética.

Una vez verificada la calidad de los datos de los diferentes parámetros, estos fueron tabulados. Para el análisis de la información recabada se empleó el "Método Descriptivo", consistente en la adquisición y evaluación de datos objetivos, precisos y sistemáticos que pueden usarse en la "Estadística Descriptiva".



Fig. 3. Estación meteorológica Est. M2 y de mareas Est. N2 en Dos Mosquises.

Tabla 1. Corrientes en el Archipiélago Los Roques.

Fecha	Estación	Profundidad (m)	Distancia m	Tiempo h:m:s	Velocidad cm/s	Dirección (°)	Localidad
15/06/19	Est. 1	0	166	00:14:30	19.08	258	Depresión del Gran Roque
		15	88	00:11:30	12.75	251	
12/05/19	Est. 2	0	195	00:13:30	24.07	225	
15/06/19	Est. 3	0	74	00:10:30	11.75	193	
		5	69	00:09:30	12.11	165	
15/06/19	Est. 4	0	341	00:13:00	43.72	232	
		10	227	00:13:01	29.07	204	
12/05/19	Est. 5	0	356	00:29:30	20.11	225	
15/06/19	Est. 6	0	229	00:14:30	26.32	237	
		15	165	00:12:01	22.88	221	
15/06/19	Est. 7	0	214	00:12:00	29.72	249	Valle submarino del Gran Roque
		15	163	00:10:30	25.87	222	
15/06/19	Est. 8	0	176	00:12:30	23.47	263	
		15	65	00:10:30	10.32	273	
15/06/19	Est. 9	0	280	00:12:00	38.89	280	
		7	87	00:12:30	13.81	270	
13/05/19	Est. 10	0	214	00:19:30	18.29	281	
		15	77	00:13:30	9.51	288	
15/06/19	Est. 11	0	242	00:17:00	23.73	273	
		15	47	00:08:30	9.22	259	
15/06/19	Est. 12	0	130	00:12:00	18.06	180	
		20	122	00:11:00	17.68	171	
15/06/19	Est. 13	0	311	00:10:30	49.37	257	Norte del Archipiélago
		20	159	00:17:00	15.59	242	
15/06/19	Est. 14	0	205	00:10:30	32.54	265	
		20	122	00:11:00	18.48	288	
13/05/19	Est. 15	0	166	00:15:00	16.77	258	
15/06/19	Est. 18	0	205	00:08:30	40.20	265	
		15	98	00:08:30	19.22	266	
15/06/19	Est. 19	0	179	00:10:30	28.41	242	
13/05/19	Est. 16	0	27	00:02:30	18.00	258	Corredor Isla Agustín - Carenero
13/06/19	Est. 17	0	114	00:14:30	13.10	274	
		15	55	00:18:00	8.33	279	
15/06/19	Est. 20	0	198	00:11:00	30.00	265	
		7	122	00:12:00	16.94	259	
13/06/19	Est. 21	0	87	00:09:30	15.26	278	
15/06/19	Est. 22	0	225	00:12:00	31.25	271°	
		5	134	00:11:00	20.30	275°	
13/06/19	Est. 23	0	114	00:11:30	16.52	274	
13/06/19	Est. 24	0	117	00:10:30	18.57	290	Norte Carenero
		10	65	00:11:00	9.85	292	
13/06/19	Est. 25	0	210	00:13:00	26.92	301	Valle submarino de Carenero
		5	143	00:11:00	21.67	307	
15/06/19	Est. 26	0	183	00:11:30	26.52	268	
		15	79	00:12:00	10.97	284	
13/06/19	Est. 27	0	159	00:11:30	23.04	311	
		10	98	00:10:00	14.85	327	
13/06/19	Est. 28	0	55	00:11:00	8.33	279	Cayo de Agua
13/06/19	Est. 29	0	83	00:07:30	18.44	7	Dos Mosquises
		10	110	00:12:00	15.28	44	
15/06/19	Est. 30	0	104	00:08:00	21.67	275	
		15	34	00:10:00	5.67	302	
13/06/19	Est. 31	0	134	00:09:30	23.51	279	

Además, con la información obtenida de los sensores de presión se estimaron los componentes de la marea en las localidades de el Gran Roque y Dos Mosquises, mediante el programa ***t_tide*** de Pawlowicz *et al.* (2002), basado en los trabajos de Godin (1972) y Foreman (1977, 1978).

Por ser las variables empleadas cuantitativas, se empleó la media (promedio) en detrimento de la moda y/o mediana. Igualmente se emplearon los valores máximos y mínimos con su correspondiente fecha y/o hora de ocurrencia. Para la descripción de la estructura misma de las series se empleó la desviación estándar, histogramas de frecuencia, curtosis o coeficiente de asimetría.

La clasificación de la marea (Tabla 2) basada en los criterios de Courtier (Bracho-Magdaleno & DHN 1988) y Duvanin (Vorobev & Smirnov 1999; Malikov 2010), correspondieron a las series de las estaciones de Gran Roque y Dos Mosquises para el periodo del 14/06/2019 1300 h al 16/06/2019 1600 h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de tratar el comportamiento de los parámetros meteorológicos, corrientes y mareas, es necesario tener en consideración que el área del archipiélago en particular y Venezuela en general, se encuentra en la zona tropical, entre 0º 38' 53" y 12º 11' 22" de Lat. N, en consecuencia, las condiciones climatológicas del área_están determinadas por la circulación general de la atmósfera (Quintero & Terejova 2016), los sistemas atmosféricos y factores regionales asociadas en gran medida al relieve. Además, la zona se encuentra bajo la influencia de: situaciones anticiclónicas, Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), situaciones de origen extratropical y perturbaciones tropicales.

Parametros meteorológicos

Temperatura del aire: La temperatura del aire ésta íntimamente relacionada con la radiación solar y varía en función de la insolación. Por cuanto la radiación incidente en el Caribe venezolano es prácticamente uniforme durante todo el año, el régimen térmico se caracteriza por su estabilidad y ausencia de variaciones estacionales considerables (Terejova *et al.* 1998). La insolación se inicia al amanecer y continua con un progresivo incremento de la temperatura hasta las primeras horas de la tarde. Luego de alcanzar su máximo valor, la temperatura disminuye durante la tarde y la noche, registrándose el mínimo en la madrugada. Esta oscilación se repite en las zonas costeras, pero con una menor amplitud debido al efecto regulador del mar sobre el clima.

Tabla 2. Factor de forma "F" por la amplitud de los armónicos principales

COURTIER	DUVANIN	Marea
$H_0 < 0,25$	$H_0 < 0,5$	Semidiurna
$0,25 < H_o < 1,5$	$0,5 < H_0 < 2,0$	Mixta prepondérate semidiurna
$1,5 < H_0 < 3,0$	$2,0 < H_0 < 4,0$	Mixta prepondérate diurna
$H_0 > 3,0$	$H_0 > 4,0$	Diurna

Durante el periodo de observaciones la temperatura media en la Est. M_1 registró un promedio de $_{TGR}$ = 27,2°C. El mínimo (26,6°C) se registra en la madrugada (0200–0600 h) y el máximo (28,0°C) al mediodía y mantiene este valor hasta las 1400 h, de tal manera, que la amplitud de la variación diaria fue baja, apenas 1,4°C. La temperatura registrada en la Est. M_2 (Fig. 4) presentó una variación diaria similar a la de la Est. M_1, pero con un promedio superior ($_{TDM}$ = 28,2°C). La temperatura mínima (27,1°C) se observó a las 0400 h, y la máxima (29,8°C) se registró a las 0200 h. La amplitud de la temperatura media fue de 2,7°C.

Como ya se mencionó, los valores de la temperatura del aire en Dos Mosquises fueron algo mayores que en Gran Roque, suponemos que esta diferencia se debe a la instalación de la Est. M_1 frente al mar, en dirección de los vientos alisios que llevan constantemente aire fresco, que ralentiza el calentamiento diurno. Igualmente la desviación estándar de la temperatura en Dos Mosquises ($\sigma_{T\,DM}$ = 1,1°C) es mayor a la de Gran Roque ($\sigma_{T\,GR}$ = 0,7°C), relacionado con un mayor esparcimiento de la temperatura en la Est.M_2, debido posiblemente a un mecanismo diferente al que induce

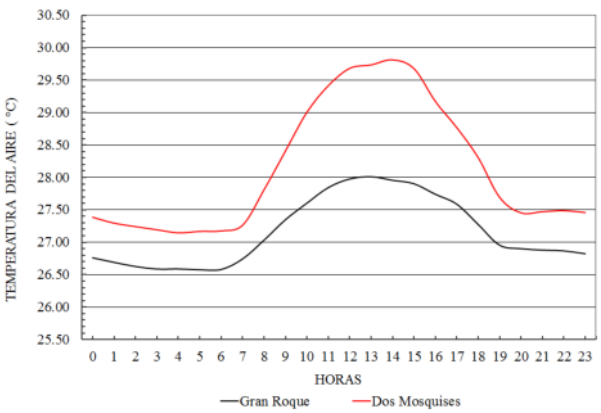


Fig. 4. Variación diaria de la temperatura media.

el domo común de ambas series en la distribución de la temperatura del aire (Fig. 5).

Humedad del aire: La humedad relativa tiene un comportamiento inverso a la temperatura del aire. Al comparar las curvas de ambos, se puede apreciar que los máximos y mínimos aparecen invertidos.

Para las zonas costeras y áreas oceánicas la humedad relativa es alta y bastante homogénea, sin oscilaciones significativas. Durante abril-mayo-junio la humedad relativa media mostró valores por encima de 70% para ambas estaciones (Fig. 6). El promedio en la Est. M_1 fue igual a $_{HGR=}$ 77% y en la Est. M_2 de $_{HGR=}$ 82%. Las máximas humedades en las estaciones se registran en la madrugada (80% y 87% respectivamente) y las mínimas se observan en horas de la tarde (73% y 74%), coincidiendo con las altas temperaturas de la zona. La amplitud diaria de la humedad relativa constituyó 6% para la estación de Gran Roque y 13% para la de Dos Mosquises.

El comportamiento de la desviación estándar de la humedad relativa es similar a la de la temperatura del aire. Así, para Dos Mosquises fue mayor ($s_{H\ DM}$ = 6%) y menor para el Gran Roque ($s_{H\ GR}$ = 4%). Sin embargo, la distribución de los datos es diferente en ambas estaciones (Fig. 5) con coeficientes de asimetría para la humedad iguales a C_{AGR} = 0,270 para el Gran Roque y C_{ADM} = -0,632 para Dos Mosquises.

Presión atmosférica: La variación diaria de la presión atmosférica consiste en una doble oscilación en 24 horas, originada por la diferencia de temperatura y humedad a lo largo del día. En las zonas tropicales, la variación diaria se destaca por la regularidad en la ocurrencia de los máximos y mínimos, que se alternan aproximadamente cada 6 horas. La variación diaria de la presión es llamada marea barométrica.

En nuestro caso para el área del Gran Roque en la Est. M_1 el promedio de la presión fue igual a $_{PGR=}$ 1009,9

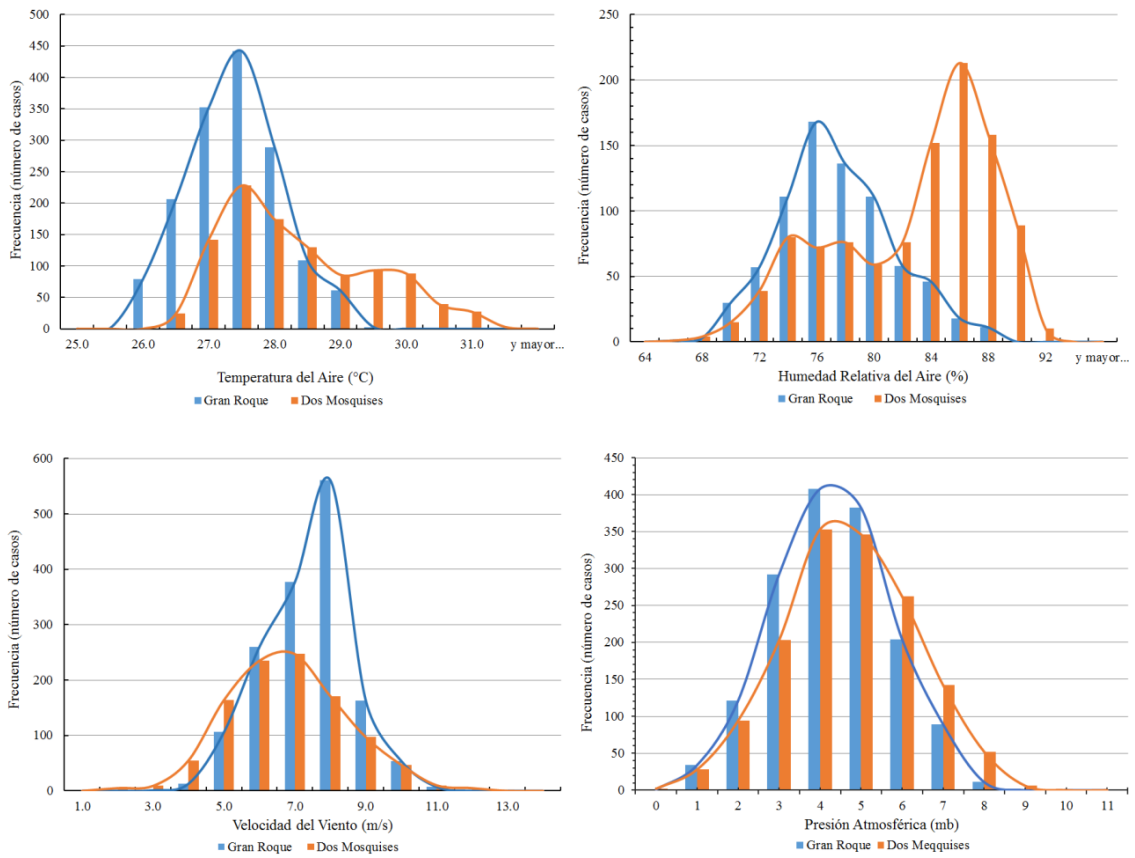


Fig. 5. Distribución de las series de la temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y presión atmosférica en las estaciones de Gran Roque (Est. M1) y Dos Mosquises (Est. M2).

mb (Fig. 7). El máximo principal (1011,6 mb) se registra las 1000 h y el secundario ocurre a las 2300 h (1010,7 mb). El mínimo principal (1008,0 mb) a las 1700 h y el segundo mínimo ocurre a las 0300 h (1009.1 mb). En Dos Mosquises en la Est. M_2 la presión atmosférica en promedio fue de $_{PGR =}$ 1011,3 mb. La llegada de los máximos y mínimos ocurre una hora después que el en el Gran Roque, es decir, los dos mínimos se observaron a las 0400 h (1010.4mb) y 1800 h (1009.5 mb) y dos máximos a las 1100 h (1013.0 mb) y 0000 h (1012.0 mb). La amplitud diaria de la presión resultó ser igual para ambas estaciones y constituyó 3,5 mb.

La desviación estándar para ambas estaciones fue similar, en Gran Roque $\sigma_{P\ GR}$ = 1,4 mb y en Dos Mosquises $\sigma_{P\ DM}$ = 1,6 mb ($\sigma_{P\ GR}$,- $\sigma_{P\ DM}$ = 0,18 mb), lo que se interpretaría como la acción disminuida de factores locales.

Velocidad y dirección del viento: El régimen del viento al norte del país depende principalmente de la posición e intensidad del anticiclón de las Azores – Bermudas y ZCIT. Los vientos asociados a este tienen

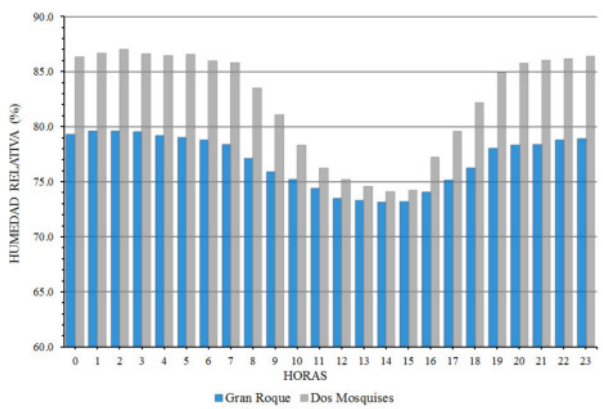


Fig. 6. Variación diaria de la humedad relativa y media.

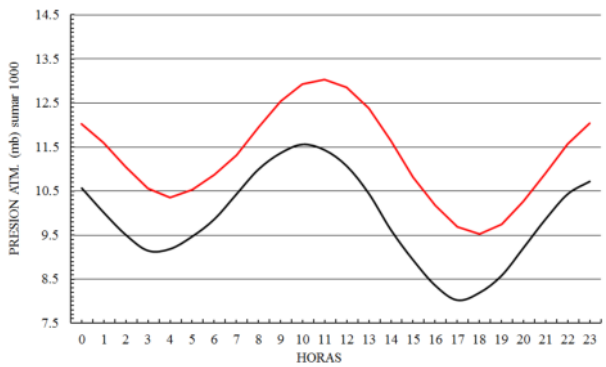


Fig. 7. Variación diaria de la presión atmosférica.

una dirección predominante del Este "vientos alisios". Al mismo tiempo, en las costas están presentes las brisas de mar, que empiezan a sentirse cerca de las 1000 h y alcanzan su mayor intensidad al mediodía y finalizan en las horas de la tarde. El viento resultante se intensifica al coincidir la brisa del mar y los alisios (época seca del año) y a veces es difícil diferenciarlos. Cuando las brisas y los alisios soplan en sentido contrario se contrarrestan mutuamente (Guevara 1988).

Las observaciones realizadas mostraron, que el promedio de la velocidad del viento fue igual a $_{VGR =}$ 7,0 m/s y $_{VGR =}$ 6,3 m/s en las Ests. M_1 y M_2 respectivamente y la desviación estándar fue igual a $\sigma_{V\ GR}$ = 1,2 m/s para Gran Roque y $\sigma_{V\ DM}$ = 1,7 m/s para Dos Mosquises. Estos valores estarían relacionados con la posición que ocupa el archipiélago Los Roques en el campo de los vientos alisios en la zona tropical. Así, en la península de Paraguaná, ubicada al oeste aproximadamente en la misma latitud que el archipiélago Los Roques (11°25' Lat. Norte), el promedio de la velocidad media del viento oscila entre es de 6,8 m/s (marzo-abril) y 4,7m/s (octubre) y la dirección E predomina todo el año a excepción de julio cuando se registran vientos del SE (Quintero & Terejova 2009). Y Cumaná, ubicada al sureste en la latitud 10°26' Lat. Norte con un promedio de la velocidad media del viento igual a 3,9 m/s (Quintero & Lodeiros 1996), con dirección preponderante del E exceptuando el periodo agosto – noviembre (Quintero *et al.* 2009) cuando suelen manifestarse vientos del SE.

Esta similitud en la dirección del viento en toda la costa venezolana con lo obtenido para Los Roques, así como el aumento en la velocidad media de sur a norte, solo se puede relacionar con los macro procesos de transición del campo bárico entre el mínimo de presión en la ZCIT y el máximo de presión de los Azores: los vientos alisios.

En la variación diaria presentó los mayores valores al mediodía y primeras horas de la tarde y las menores en la noche y madrugada (Fig. 8). Este comportamiento no fue tan marcado en la estación de Gran Roque, donde los vientos alisios soplan con una intensidad bastante constante en el transcurso del día. Así, la máxima velocidad media fue de 7,1 m/s y mantiene este valor por siete horas consecutivas, desde las 0900 h hasta las 1400 h y el mínimo de 6,8 m/s a la 0100 h, presentando una reducida amplitud diaria de 0,3 m/s. En Dos Mosquises el viento más intenso registró 7,8 m/s a las 1300–1600 h

y el mínimo valor fue de 5,1 m/s. La oscilación diaria en dicha estación constituyó 2,7 m/s.

El promedio de la velocidad máxima fue de $_{VM\ GR}$ = 10,6 m/s y $_{VM\ GR}$ = 7,8 m/s en las estaciones M_1 y M_2 respectivamente. La desviación estándar de la velocidad máxima del viento constituyó $\sigma_{VM\ GR}$ = 1,6 m/s para Gran Roque y $\sigma_{VM\ DM}$ = 1,9 m/s para Dos Mosquises. La mayor ráfaga de viento con 15,6 m/s se registró el día 11 de junio en Gran Roque, mientras que en Dos Mosquises el viento más fuerte (14,6 m/s) se observó el 13 de mayo.

En la Est. M_3 (isla Crasky), se registraron valores inferiores del viento en comparación con los observados en las otras dos estaciones. La velocidad media fue de 4,1 m/s y la velocidad máxima de 6,2 m/s. Esa disminución podría estar relacionada con el obstáculo que ofrecen las islas, como el Gran Roque, al paso de los vientos preponderantes en la región.

La dirección Este del viento (Fig. 9) en la Est. M_1 (Gran Roque) fue muy persistente, constituyendo un 54,6% de la frecuencia total, seguido por los vientos de Este-Noreste con un 21,6% y de Este-Sureste con un 18,7%. En la Est. M_2 (Dos Mosquises) los vientos soplaron mayoritariamente del Este con un 39,4% y del Sur-Este con un 43,6% de la frecuencia total.

Cabe destacar, que durante el periodo de observaciones no se registraron los vientos procedentes del III y IV cuadrantes (Fig. 9). Predominaron los vientos del I y II cuadrante, con una fuerte componente del Este. Esto evidencia que las mencionadas islas están bajo la influencia del anticiclón y los vientos alisios asociados a este. Aunque, en la Est. M_2 (Dos Mosquises) el régimen del viento con dos direcciones predominantes (SE y E) parece indicar la presencia del fenómeno de las brisas marinas.

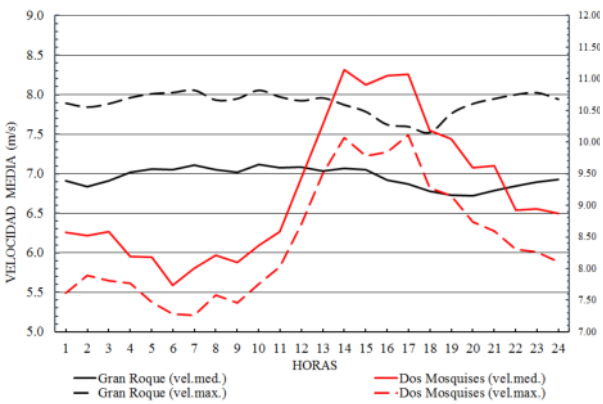


Fig. 8. Variación diaria de la presión atmosférica media.

La distribución de las series en Dos Mosquises son asimétricas (Fig. 10), positiva para la temperatura (0,638) y negativa para la humedad (0,632). Ello está relacionado con la presencia de dos modas en la distribución de frecuencia de ambos parámetros. Tal como se menciona en un trabajo anterior (Quintero & Terejova 2010) para la región del valle submarino de Araya, tanto la humedad como la temperatura reaccionan directamente a los cambios en la dirección del viento.

Precipitaciones: Durante el estudio se observó un buen tiempo meteorológico, sin presentar ningún tipo de precipitaciones.

Sobre los parámetros meteorológicos se concluye, que lo reportado sobre los parámetros meteorológicos en cuanto a temperatura y humedad del aire, viento y precipitaciones confirman lo obtenido por Bonilla *et al*. (2003).

Corrientes marinas

Es ampliamente conocido por las tareas de navegación, la experiencia de los habitantes de las regiones costeras, así como por la literatura científica disponible, que las corrientes marinas en el mar Caribe tienen dirección Este – Oeste y no ofrece esfuerzo deducir y/o podemos intuir, que en la región del archipiélago el flujo de las corrientes tiene la misma dirección E - W.

Al ser el viento el impulsor de las corrientes en la zona y en virtud de su constancia y velocidad moderada, el sistema marino responde igualmente con corrientes constantes y estables, que son alteradas por variaciones en la circulación del aire y por la orografía del archipiélago, en donde las corrientes de aire y agua evaden los obstáculos representados por los cayos, islas

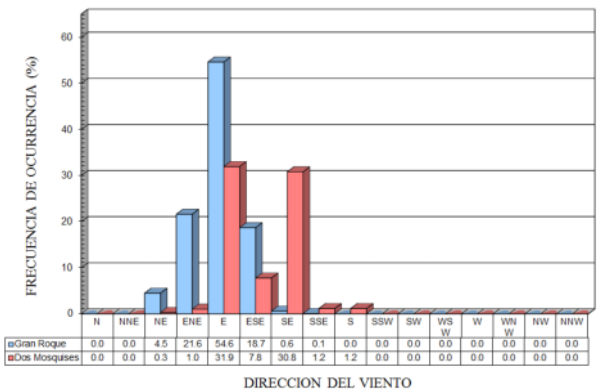


Fig. 9. Variación dela ocurrencia de la dirección del viento.

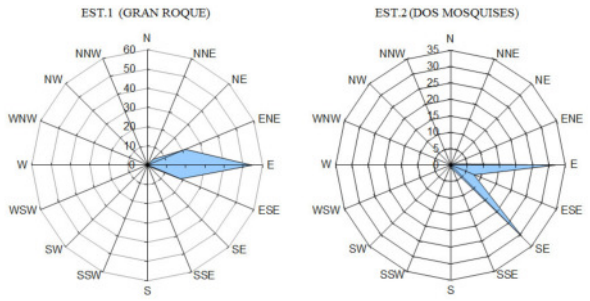


Fig. 10. Rosa del viento.

y bancos, pero manteniendo la tendencia en la dirección general E – W.

En referencia a las corrientes superficiales registradas (Fig. 11, Tabla 1), llama la atención que la velocidad registrada en la Est. 04 ubicada al noreste del sistema, entre Francisky Medio y Nordisky, alcanzó 43,72 cm/s, velocidad considerable para los sistemas marinos si se tiene en cuenta que la densidad del agua, es aproximadamente mil veces mayor a la del aire. Además, la zona del noreste es la más expuesta del archipiélago y no tiene la atenuación de la barrera coralina del este y el mar y los vientos impactan y forman acantilados. Caso contrario ocurre a sotavento de las islas como en el Gran Roque, donde se forman playas y las aguas son más tranquilas.

A pesar de la exposición directa de la zona noreste, en la Est. 3 situada entre El Gran Roque y Francisky Arriba, se detectó una baja velocidad de las corrientes superficiales (11,75 cm/s). Entendemos que ello está relacionado con lo somero o la poca profundidad del sitio de observación. Por tanto, mientras que los cayos de Francisky tienen fuertes corrientes a barlovento, en sotavento tiene aguas tranquilas.

Los menores valores de las corrientes superficiales se registraron en las estaciones Est. 03 (11,75 cm/s), Est. 17 (13,11 cm/s) y Est. 28 (8,33 cm/s), situadas en sitios muy someros y donde la acción de la fricción del fondo marino impide el desarrollo de las corrientes inducidas por el viento. Las estaciones corresponden a los canales entre Gran Roque y Francisky Arriba, Crasky e Isla Agustín y en el interior de la laguna de Cayo de Agua. Igualmente, la acción de fricción del fondo y del borde costero se deja sentir en las estaciones Est. 15 (16,77 cm/s), Est.21 (15, 26 cm/s) y Est. 23 (15,26 cm/s), situadas al este de Crasky, y en los canales entre Isla Larga y Es 23 (15,26 cm/s), situadas al este de Crasky, y en los canales entre Isla Larga y Spenky, Mosquitoky y Lanky, respectivamente.

Suponemos que en el interior de "La Laguna" del Archipiélago Los Roques, las velocidades de las

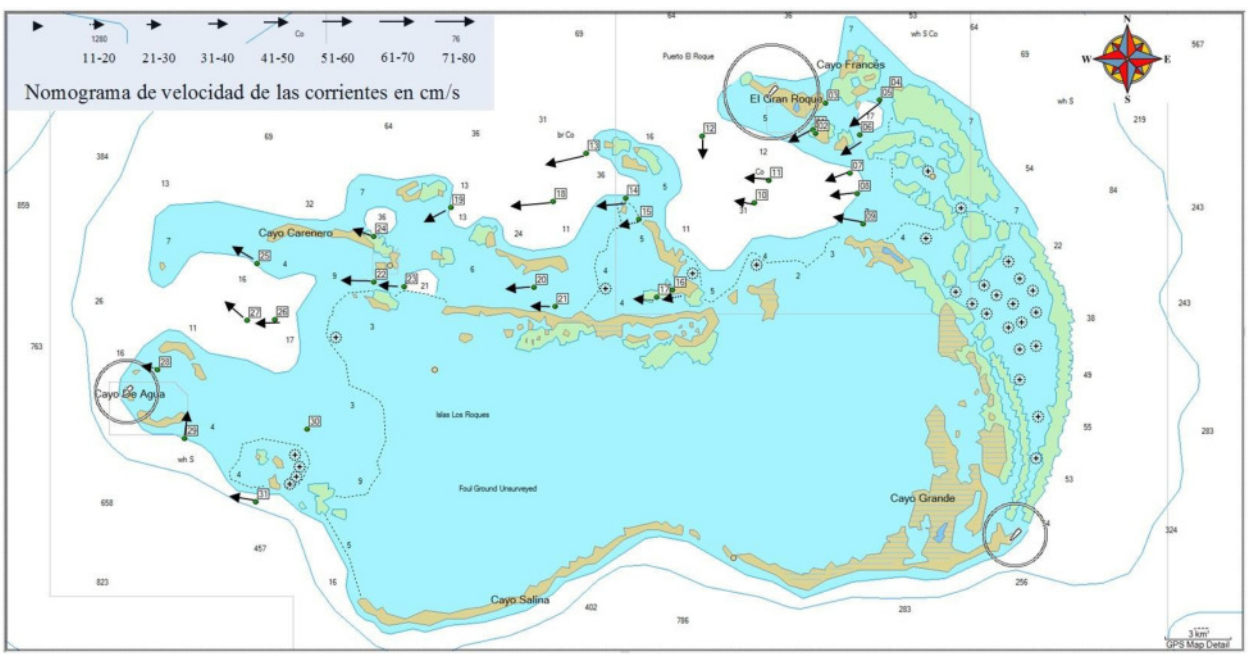


Fig. 11. Velocidad (cm/s) y dirección (°) de las corrientes superficiales.

corrientes tienen valores reducidos debido a lo somero del sitio, que según información de las cartas disponibles la profundidad es de 3,0 – 5,0 m. Allí debería tener peso las corrientes inducidas por las mareas que son del orden de 5 cm/s.

Las corrientes con velocidades superiores a 27,5 cm/s se registraron en las estaciones situadas en canales relativamente profundos como la Est. 4 (43,72 cm/s), Est. 7 (29,72 cm/s), Est, 14 (32,54 cm/s), Est. 19 (28,41 cm/s), Est. 20 (30,00 cm/s), Est. 22 (31,25 cm/s). Valores elevados se exhiben en las estaciones situadas más hacia el norte del archipiélago: Est. 13 (49,37 cm/s), Est. 18 (40,20 cm/s) y Est.9 (38,89cm/s).

Las estaciones con velocidad de corriente entre 17,5 cm/s y 27,5 cm/s se sitúan en el sector más oriental de archipiélago: Est. 1 (19,08 cm/s), Est. 2 (24,07 cm/s), Est. 5 (20,11 cm/s), Est.6 (26,32 cm/s), Est. 8 (23,47 cm/s), Est. 10 (18,29 cm/s), Est. 11 (23,73 cm/s), Est. 12 (18,06 cm/s) y Est. 16 (18,00 cm/s). Separadas de estas, están las estaciones del sector occidental: Est. 24 (18,57 cm/s), Est. 25 (26,92 cm/s), Est. 26 (26,52 cm/s), Est.27 (23,04 cm/s), Est. 29 (21,67 cm/s), Est. 30 (18,44 cm/s) y Est. 31(23,51 cm/s).

Referente a las corrientes subsuperficales (Fig. 12, Tabla 1), estas resultan ser mayores hacia la "*depresión del Gran Roque*", que llamaremos la cubeta, situada entre Gran Roque, Madrisky y Francisky. Las aguas penetran directamente por la Est. 4 (29,07 cm/s), continúan hacia la Est. 6 (22,88 cm/s). Fuera de la cubeta, se aceleran de nuevo hasta 25,87 cm/s, en la estrechez entre Cayo Pirata y Cayo Muerto (Est. 7).

Las velocidades de las corrientes subsuperficiales en las estaciones situadas en el canal de orientación este – oeste formado por las islas Isla Larga, Mosquitoky, Espenky, Lanky y Carenero se aceleran paulatinamente desde la Est. 20 (16,94 cm/s), Est. 22 (20,30 cm/s) hasta la Est. 25 (21,67 cm/s), debido a la acción de los vientos predominantes la dirección de los cuales coinciden con la orientación del mencionado canal.

En la depresión situada en el extremo occidental, que representa una disminución continua del gradiente batimétrico hacia el oeste y que llamaremos "*valle submarino de Carenero*", las corrientes (Est. 26 y Est. 27) se desvían al noroeste debido a la topografía del fondo marino.

La depresión situada al oeste del Gran Roque también presenta un gradiente continuo, pero hacia el norte y que llamaremos "*valle submarino del Gran Roque*", las corrientes subsuperficiales presentan velocidades similares: Est. 08 (10,32 cm/s), Est, 09 (13,81 cm/s), Est. 10 (9,51 cm/s) y Est. 11 (9,22 cm/s).

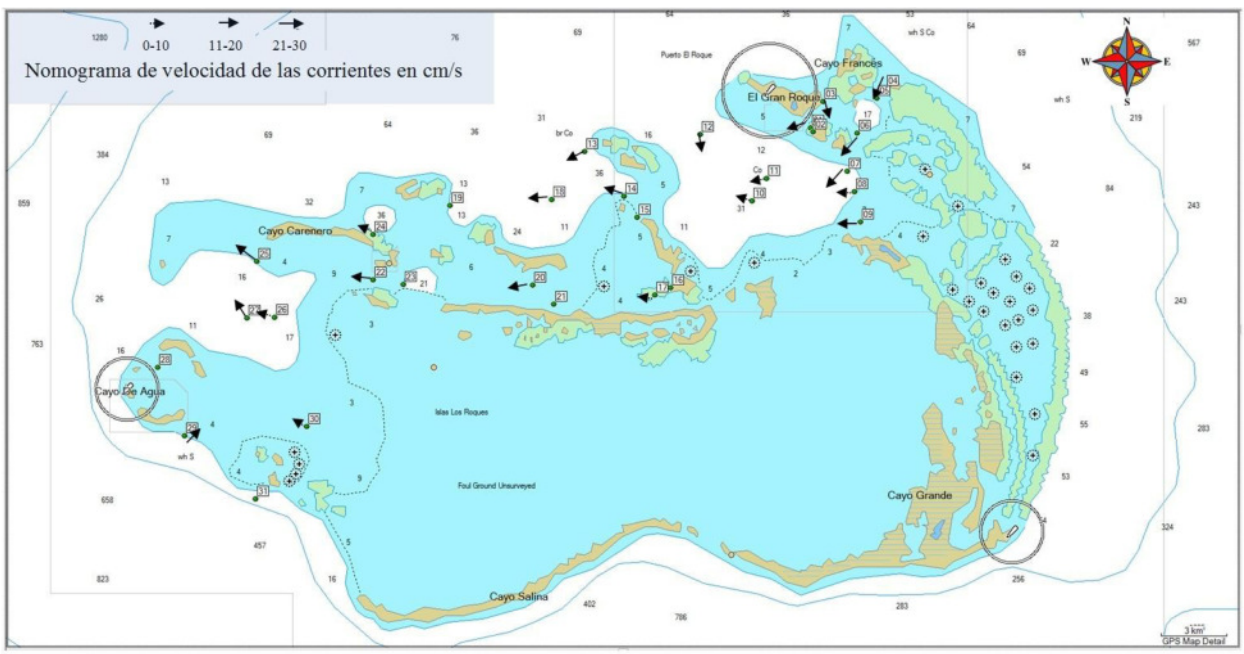


Fig. 12. Velocidad (cm/s) y dirección (°) de las corrientes subsuperficiales.

Al sur y al este del Gran Roque las velocidades de las corrientes subsuperficiales son casi idénticas: Est. 1 (12,75 cm/s) y Est. 2 (12,11 cm/s).

El flujo de las corrientes externas al archipiélago "corriente del Caribe" de dirección E-W (270°) por efectos hidrodinámicos y batimétricos penetra al interior del archipiélago. En la Est. 12 las corrientes no siguen con la dirección prevaleciente hacia el oeste, por el contrario, tiene dirección sur (180°) y las aguas penetran al interior del archipiélago, como ya se mencionó, con una velocidad de 18,06 cm/s. Es probable que continúe hacia la Est 14 donde se acelera en la estrechez entre Crasky e Isla Agustín (18,48 cm/s) y de allí a la Est. 18 (19, 22 cm/s). En la profundidad de la Est. 12, la dirección de la corriente se mantiene hacia el sur (171°) y la velocidad alcanzada (17,68 cm/s) se diferencia poco de la superficial.

Igualmente, en la Est. 29 (18,44 cm/s) no se sigue el patrón E-W. El flujo externo de la corriente del Caribe entra al interior del archipiélago con dirección norte (7°). En la profundidad donde se alcanza la velocidad de 15,28 cm/s la dirección es hacia noreste (44°).

Régimen de las mareas

El espectro de mareas influye en la amplia franja costera e insular del mar Caribe y Venezuela. Los componentes diurnos (un máximo y un mínimo) predominan hacia el oeste y los componentes semidiurnos (dos máximos y dos mínimos) hacia el este donde se convierten en dominantes (Ávila *et al.* 1980).

Las mareas generadas en el Caribe no son significativas y no adquieren la magnitud que alcanzan, por ejemplo, en el golfo de Paria o en el río San Juan, donde llegan hasta los 4 metros y favorecen a la navegación durante las pleamares. A pesar de los valores reducidos de las mareas en el Mar Caribe, estas pueden ser significativas en embarcaderos someros y tienen mucha importancia para la vida marina, al mantener la turbulencia y remoción de las aguas del fondo marino. Generalmente las corrientes generadas por las mareas son del orden de los 5,0 cm/s, allí donde no hay vaciamiento o llenado forzado directo.

Las mareas en las estaciones de Gran Roque - Est. N_1 y Dos Mosquises - Est. N_2 (Fig. 13, Tabla 2 y Tabla 3) tienen carácter claramente diurno los días del 20/05/19 al 25/05/19, después de Luna Llena (LL) y alcanza los mayores valores de pleamar de 0,53 m en Gran Roque y de 0,48 m en Dos Mosquises. Después de Luna Nueva (LN) el día 04/06/19 se registran los menores valores de bajamar de 0,0 m se registran en ambas estaciones.-

Luego del Cuarto Menguante (CM) y sobre todo después del Cuarto Creciente (CC), la marea comienza a tener carácter claramente semidiurno mixto, es decir, dos pleamares y bajamares de altura diferente. Así, en Gran Roque el 15/05/19 la bajamar principal alcanza 0,25 m y la pleamar principal 0,43 m, mientras que la bajamar secundaria tiene 0,27 m y la pleamar secundario alcanza 0,37 m. En Dos Mosquises 12/06/19 la marea semidiurna mixta tiene los valores de pleamar y bajamar principales iguales a 0,38 m y 0,12 m respectivamente, mientras que la pleamar y bajamar secundarios exhiben los valores de 0,32 m y 0,24 m.

La diferencia entre de altura de las pleamares y bajamares (amplitud de la marea) es mayor después de LL y LN. En gran Roque se registró los días 20/05/19 y 21/05/19 después de LL y es igual a 0,46 m y en Dos Mosquises la misma alcanza 0,50 m el día el 20/05/19. Después de LN la mayor amplitud en Gran Roque fue de 0,50 m los días 05/06/19 y 06/06/19, mientras que en Dos Mosquises la mayor oscilación de 0,52 m se presentó el día 0/06/19.

Los valores mínimos de la amplitud se registran el 28/05/19, después del CM y es igual a 0,24 m para Gran Roque y 0,27 m para Dos Mosquises. La amplitud de la marea después de CC es algo mayor la amplitud posterior al CM y alcanza 0,30 m en Gran Roque (12/06/19) y 0,32 m en Dos Mosquises (10/06/19). El nivel más bajo alcanzado por las bajamares se registró el 04/06/19 (0,00 m), mientras que los mayores niveles de las pleamares se registraron el 20/05/19. En Gran Roque fue 0,53 m y en Dos Mosquises 0,48 m.-

La variación diaria del nivel del mar muestra, que las bajamares o "vaciado" tienen lugar en horas cercanas a media noche, mientras que las pleamares o "llenado" se observan en las primeras horas de la tarde. La variación diaria para Dos Mosquises es algo más complicada, debido a un pico a las 1100 h, por eso, es necesario realizar observaciones adicionales por tiempo más prolongado para descartar alteraciones inducidas por factores meteorologías o batimétricos.

La aplicación del programa ***t_tide*** dio un total de 35 armónicas de las cuales describen el 91,65 (Est. N_1) y 94,5% (Est.N_2) de la variación del nivel mar en los sitios

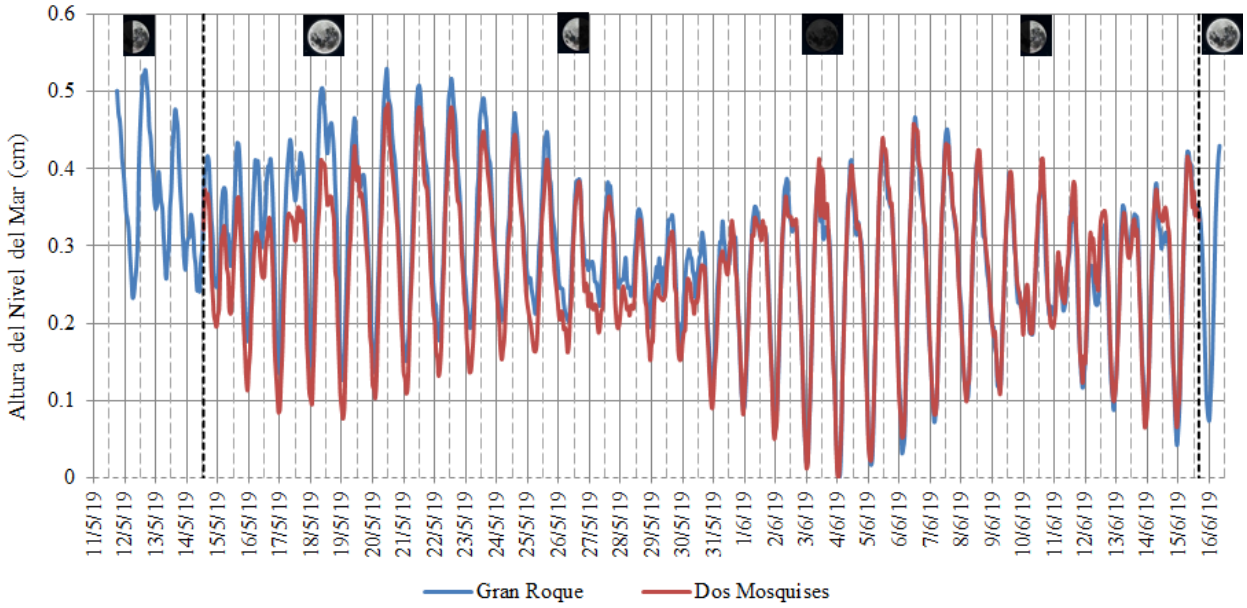


Fig. 13. Variación del nivel del mar en el Gran Roque y Dos Mosquises.

señalados. En la estación de Gran Roque 8 armónicas y en Dos Mosquises 9, alcanzan amplitudes algo mayores o iguales a 1 cm, las cuales en suma constituyen 37,74 cm para el gran Roque y 36,49 cm para Dos Mosquises. La contribución de las restantes 27 – 26 armónicas esta entre 0,05 cm y 0,75 cm en Gran Roque y entre 0,01 y 0,51 cm y contribuyen con 5,96 cm de la amplitud en Gran Roque y 5,58 cm en Dos Mosquises.

El análisis espectral de las series mostró que las armónicas significativas se centran para ambas estaciones, en las frecuencias bajas de 28 – 15 días (Mm, Msf), 1 día (O1, K1, J1) y medio día (N2, M2, S2), además, para la Est.N_2 tiene significado la armónica "Q1". El conjunto de estas armónicas contribuyen con el 84,21% en la Est. N_1 y 84,71% Est. N_2 de la amplitud de la marea en los sitios señalados (Fig. 14).

La importancia relativa de los constituyentes diurnos y semidiurnos de la marea expresados en términos de "factor de forma" adimensional **F**, como el cociente entre suma de componentes diurnos y semidiurnos criterios de Courtier y Duvanin son iguales a 2,74 y 3,48 respectivamente para el Gran Roque y 2,88 y 3,95 para Dos Mosquises. En ambos casos la marea por su forma se califica como mixta preponderantemente diurna (Tabla 4), y eventualmente aumenta la influencia de los componentes semidiurnos hacia el este (Carúpano), lo que coincide a lo expresado por Redfild (1961), Ávila *et al.* (1980), Kjerfve (1981), Herrera *et al.* (1981) y Peligrí & Ávila (1986).

Los componentes armónicos de la marea que más afectan las fluctuación del nivel del mar en la zona del archipiélago Los Roques son los componentes diurnos K_1 (lunisolar de declinación diurna) y O_1 (lunar de declinación diurna). Estas componentes tienen un gran efecto sobre las variaciones mensuales del nivel del mar, haciéndolo elevar casi 11 cm y 6 cm con declinación 0°. El tercer componente diurno J_1 (lunar elíptica menor diurna) hace elevar el nivel en solo cerca de 1 cm. De los componentes semidiurnos el de mayor significación M2 (lunar principalsemidiurna) contribuye con cerca de 4,5 cm y los

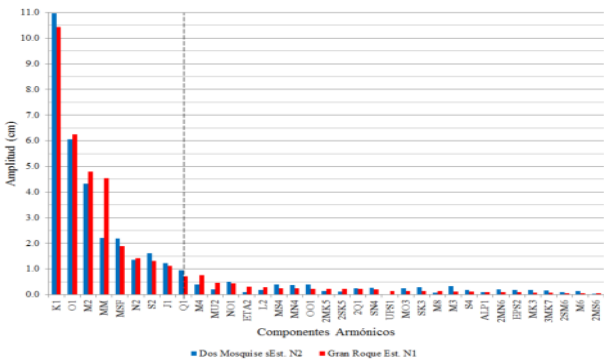


Fig. 14. Aporte de los componentes armónicos de las mareas en el Gran Roque Est. N1 y Dos Mosquises Est.N2. División entre componentes principales y componentes menos significativos "¦".

Tabla 3. Nivel del mar en Gran Roque

	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
12/5/19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1.00	-1.03	-1.04	-1.06	-1.09	-1.11
13/5/19	-1.13	-1.16	-1.17	-1.18	-1.21	-1.24	-1.27	-1.26	-1.25	-1.23	-1.19	-1.09	-1.04	-1.01	-0.98	-0.98	-0.97	-0.99	-1.01	-1.05	-1.06	-1.09	-1.11	-1.14
14/5/19	-1.20	-1.19	-1.19	-1.16	-1.17	-1.18	-1.21	-1.23	-1.26	-1.26	-1.26	-1.22	-1.20	-1.14	-1.10	-1.10	-1.08	-1.09	-1.13	-1.16	-1.19	-1.24	-1.25	-1.25
15/5/19	-1.25	-1.22	-1.20	-1.15	-1.13	-1.12	-1.13	-1.18	-1.18	-1.21	-1.23	-1.20	-1.18	-1.14	-1.09	-1.07	-1.07	-1.09	-1.14	-1.19	-1.22	-1.28	-1.32	-1.32
16/5/19	-1.30	-1.26	-1.22	-1.16	-1.12	-1.09	-1.09	-1.09	-1.11	-1.15	-1.20	-1.18	-1.18	-1.15	-1.11	-1.10	-1.10	-1.09	-1.12	-1.16	-1.22	-1.29	-1.35	-1.36
17/5/19	-1.36	-1.32	-1.25	-1.22	-1.17	-1.13	-1.10	-1.08	-1.06	-1.07	-1.11	-1.13	-1.14	-1.13	-1.10	-1.11	-1.08	-1.09	-1.10	-1.13	-1.18	-1.24	-1.28	-1.34
18/5/19	-1.35	-1.34	-1.29	-1.23	-1.16	-1.11	-1.06	-1.02	-1.00	-1.00	-1.01	-1.03	-1.06	-1.08	-1.05	-1.04	-1.04	-1.06	-1.08	-1.12	-1.16	-1.21	-1.28	-1.34
19/5/19	-1.37	-1.36	-1.35	-1.29	-1.23	-1.16	-1.14	-1.10	-1.07	-1.05	-1.03	-1.06	-1.09	-1.11	-1.12	-1.12	-1.11	-1.11	-1.13	-1.16	-1.19	-1.23	-1.26	-1.31
20/5/19	-1.34	-1.36	-1.36	-1.30	-1.25	-1.21	-1.14	-1.09	-1.04	-1.01	-0.98	-0.97	-1.01	-1.01	-1.02	-1.05	-1.07	-1.09	-1.11	-1.14	-1.18	-1.21	-1.25	-1.30
21/5/19	-1.33	-1.34	-1.35	-1.33	-1.31	-1.26	-1.22	-1.17	-1.13	-1.08	-1.02	-1.00	-0.99	-1.00	-1.04	-1.05	-1.08	-1.09	-1.10	-1.12	-1.16	-1.20	-1.22	-1.25
22/5/19	-1.27	-1.28	-1.32	-1.31	-1.32	-1.29	-1.24	-1.21	-1.15	-1.10	-1.06	-1.01	-1.00	-0.98	-1.00	-1.02	-1.04	-1.07	-1.10	-1.13	-1.15	-1.19	-1.22	-1.23
23/5/19	-1.25	-1.27	-1.29	-1.31	-1.31	-1.29	-1.27	-1.23	-1.19	-1.13	-1.11	-1.04	-1.02	-1.01	-1.01	-1.03	-1.04	-1.07	-1.09	-1.09	-1.13	-1.17	-1.18	-1.21
24/5/19	-1.23	-1.24	-1.26	-1.28	-1.30	-1.29	-1.28	-1.26	-1.22	-1.18	-1.16	-1.11	-1.08	-1.04	-1.03	-1.04	-1.06	-1.09	-1.12	-1.14	-1.16	-1.18	-1.21	-1.23
25/5/19	-1.24	-1.25	-1.24	-1.26	-1.27	-1.28	-1.29	-1.28	-1.24	-1.20	-1.18	-1.14	-1.11	-1.07	-1.06	-1.05	-1.07	-1.11	-1.12	-1.15	-1.17	-1.18	-1.20	-1.22
26/5/19	-1.24	-1.25	-1.25	-1.26	-1.27	-1.29	-1.29	-1.30	-1.30	-1.27	-1.23	-1.19	-1.16	-1.13	-1.12	-1.12	-1.11	-1.13	-1.17	-1.19	-1.22	-1.22	-1.22	-1.23
27/5/19	-1.23	-1.22	-1.22	-1.23	-1.25	-1.25	-1.25	-1.27	-1.28	-1.24	-1.22	-1.19	-1.16	-1.15	-1.12	-1.12	-1.12	-1.15	-1.17	-1.19	-1.21	-1.24	-1.25	-1.25
28/5/19	-1.25	-1.24	-1.24	-1.23	-1.22	-1.25	-1.25	-1.25	-1.26	-1.25	-1.25	-1.21	-1.19	-1.16	-1.15	-1.16	-1.16	-1.19	-1.21	-1.23	-1.25	-1.29	-1.31	-1.29
29/5/19	-1.27	-1.25	-1.25	-1.24	-1.23	-1.24	-1.22	-1.25	-1.23	-1.26	-1.25	-1.22	-1.20	-1.17	-1.17	-1.17	-1.16	-1.18	-1.21	-1.25	-1.30	-1.30	-1.33	-1.32
30/5/19	-1.31	-1.27	-1.24	-1.22	-1.21	-1.20	-1.21	-1.22	-1.23	-1.24	-1.27	-1.24	-1.23	-1.22	-1.21	-1.18	-1.19	-1.20	-1.24	-1.29	-1.31	-1.34	-1.38	-1.39
31/5/19	-1.37	-1.34	-1.30	-1.25	-1.23	-1.19	-1.20	-1.17	-1.19	-1.20	-1.22	-1.22	-1.22	-1.20	-1.19	-1.18	-1.19	-1.19	-1.24	-1.28	-1.32	-1.36	-1.40	-1.41
1/6/19	-1.41	-1.38	-1.34	-1.28	-1.23	-1.20	-1.17	-1.16	-1.15	-1.15	-1.16	-1.17	-1.19	-1.18	-1.18	-1.18	-1.18	-1.19	-1.23	-1.27	-1.31	-1.36	-1.39	-1.43
2/6/19	-1.44	-1.41	-1.38	-1.32	-1.26	-1.22	-1.17	-1.13	-1.12	-1.11	-1.14	-1.16	-1.17	-1.18	-1.17	-1.18	-1.17	-1.19	-1.23	-1.28	-1.31	-1.36	-1.40	-1.46
3/6/19	-1.48	-1.48	-1.44	-1.39	-1.33	-1.27	-1.22	-1.17	-1.13	-1.12	-1.12	-1.17	-1.14	-1.19	-1.19	-1.18	-1.18	-1.18	-1.20	-1.25	-1.30	-1.35	-1.39	-1.45
4/6/19	-1.49	-1.50	-1.50	-1.45	-1.36	-1.30	-1.24	-1.21	-1.14	-1.13	-1.09	-1.09	-1.14	-1.15	-1.18	-1.19	-1.17	-1.18	-1.19	-1.21	-1.26	-1.30	-1.35	-1.39
5/6/19	-1.45	-1.47	-1.48	-1.47	-1.42	-1.34	-1.29	-1.22	-1.16	-1.12	-1.09	-1.06	-1.08	-1.08	-1.11	-1.14	-1.14	-1.15	-1.15	-1.18	-1.22	-1.25	-1.29	-1.33
6/6/19	-1.38	-1.41	-1.47	-1.46	-1.45	-1.38	-1.32	-1.25	-1.18	-1.14	-1.09	-1.06	-1.03	-1.05	-1.08	-1.10	-1.13	-1.14	-1.15	-1.17	-1.20	-1.23	-1.27	-1.32
7/6/19	-1.34	-1.37	-1.41	-1.43	-1.42	-1.40	-1.34	-1.29	-1.23	-1.16	-1.12	-1.08	-1.05	-1.05	-1.06	-1.10	-1.12	-1.15	-1.16	-1.17	-1.18	-1.21	-1.24	-1.26
8/6/19	-1.28	-1.34	-1.37	-1.38	-1.40	-1.40	-1.37	-1.32	-1.26	-1.21	-1.17	-1.12	-1.09	-1.10	-1.10	-1.12	-1.16	-1.19	-1.19	-1.21	-1.24	-1.25	-1.27	-1.30
9/6/19	-1.30	-1.31	-1.33	-1.34	-1.38	-1.38	-1.39	-1.36	-1.29	-1.26	-1.21	-1.17	-1.15	-1.11	-1.11	-1.13	-1.15	-1.20	-1.21	-1.26	-1.27	-1.26	-1.28	-1.27
10/6/19	-1.29	-1.27	-1.26	-1.28	-1.29	-1.31	-1.31	-1.31	-1.29	-1.25	-1.22	-1.19	-1.14	-1.13	-1.12	-1.13	-1.14	-1.20	-1.24	-1.27	-1.29	-1.28	-1.29	-1.29
11/6/19	-1.28	-1.25	-1.23	-1.22	-1.22	-1.25	-1.26	-1.28	-1.28	-1.27	-1.24	-1.22	-1.20	-1.15	-1.14	-1.14	-1.17	-1.20	-1.26	-1.31	-1.34	-1.37	-1.38	-1.37
12/6/19	-1.35	-1.32	-1.27	-1.23	-1.23	-1.23	-1.24	-1.26	-1.27	-1.28	-1.27	-1.24	-1.22	-1.18	-1.19	-1.17	-1.18	-1.23	-1.28	-1.33	-1.37	-1.39	-1.41	-1.39
13/6/19	-1.36	-1.32	-1.28	-1.22	-1.17	-1.15	-1.15	-1.16	-1.19	-1.19	-1.21	-1.20	-1.18	-1.17	-1.16	-1.16	-1.16	-1.19	-1.25	-1.29	-1.34	-1.38	-1.42	-1.41
14/6/19	-1.40	-1.37	-1.31	-1.26	-1.21	-1.17	-1.13	-1.12	-1.14	-1.17	-1.18	-1.20	-1.19	-1.20	-1.18	-1.18	-1.19	-1.21	-1.26	-1.29	-1.35	-1.39	-1.43	-1.46
15/6/19	-1.44	-1.41	-1.34	-1.29	-1.22	-1.17	-1.11	-1.08	-1.08	-1.10	-1.09	-1.13	-1.14	-1.16	-1.15	-1.16	-1.15	-1.16	-1.19	-1.22	-1.29	-1.35	-1.40	-1.42
16/6/19	-1.40	-1.36	-1.30	-1.24	-1.16	-1.12	-1.09	-1.07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	-1.33	-1.32	-1.31	-1.28	-1.26	-1.24	-1.22	-1.20	-1.19	-1.17	-1.16	-1.14	-1.13	-1.12	-1.11	-1.12	-1.12	-1.14	-1.16	-1.20	-1.23	-1.26	-1.30	-1.32
																	Nivel medio		-1.21		Marea más baja:			-1.50

Tabla 3. Nivel del mar en Dos Mosquises.

	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
14/5/19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-1.74	-1.69	-1.70	-1.69	-1.70	-1.73	-1.79	-1.82	-1.85	-1.86	-1.86
15/5/19	-1.85	-1.84	-1.79	-1.75	-1.74	-1.73	-1.76	-1.79	-1.80	-1.84	-1.85	-1.83	-1.80	-1.76	-1.73	-1.70	-1.70	-1.72	-1.76	-1.81	-1.86	-1.89	-1.93	-1.95
16/5/19	-1.92	-1.90	-1.85	-1.81	-1.77	-1.75	-1.74	-1.75	-1.75	-1.78	-1.80	-1.80	-1.80	-1.77	-1.75	-1.73	-1.72	-1.74	-1.77	-1.81	-1.89	-1.92	-1.95	-1.98
17/5/19	-1.97	-1.93	-1.90	-1.83	-1.79	-1.76	-1.73	-1.72	-1.72	-1.72	-1.73	-1.74	-1.75	-1.74	-1.71	-1.71	-1.73	-1.71	-1.72	-1.76	-1.81	-1.88	-1.92	-1.95
18/5/19	-1.96	-1.96	-1.92	-1.86	-1.80	-1.75	-1.72	-1.70	-1.65	-1.66	-1.65	-1.66	-1.69	-1.71	-1.70	-1.70	-1.70	-1.71	-1.73	-1.79	-1.81	-1.86	-1.91	-1.95
19/5/19	-1.97	-1.98	-1.97	-1.91	-1.86	-1.81	-1.77	-1.75	-1.69	-1.65	-1.63	-1.66	-1.68	-1.66	-1.70	-1.69	-1.70	-1.72	-1.74	-1.76	-1.78	-1.81	-1.87	-1.89
20/5/19	-1.94	-1.94	-1.96	-1.93	-1.86	-1.80	-1.75	-1.72	-1.65	-1.62	-1.58	-1.59	-1.58	-1.62	-1.64	-1.66	-1.68	-1.69	-1.72	-1.73	-1.77	-1.81	-1.85	-1.88
21/5/19	-1.92	-1.93	-1.95	-1.94	-1.90	-1.84	-1.81	-1.77	-1.72	-1.66	-1.61	-1.59	-1.58	-1.59	-1.62	-1.64	-1.67	-1.68	-1.69	-1.72	-1.75	-1.79	-1.82	-1.85
22/5/19	-1.86	-1.89	-1.90	-1.93	-1.92	-1.89	-1.83	-1.79	-1.72	-1.69	-1.66	-1.61	-1.59	-1.58	-1.60	-1.64	-1.65	-1.69	-1.70	-1.71	-1.73	-1.77	-1.80	-1.83
23/5/19	-1.84	-1.88	-1.90	-1.92	-1.92	-1.90	-1.87	-1.82	-1.79	-1.74	-1.72	-1.67	-1.63	-1.62	-1.61	-1.63	-1.64	-1.66	-1.68	-1.69	-1.71	-1.74	-1.76	-1.79
24/5/19	-1.82	-1.84	-1.86	-1.89	-1.91	-1.89	-1.88	-1.84	-1.80	-1.76	-1.74	-1.71	-1.66	-1.63	-1.62	-1.63	-1.66	-1.68	-1.70	-1.72	-1.73	-1.77	-1.80	-1.82
25/5/19	-1.84	-1.85	-1.86	-1.87	-1.88	-1.90	-1.90	-1.89	-1.86	-1.81	-1.77	-1.73	-1.71	-1.69	-1.66	-1.65	-1.66	-1.68	-1.72	-1.76	-1.77	-1.80	-1.81	-1.83
26/5/19	-1.85	-1.86	-1.84	-1.85	-1.87	-1.87	-1.88	-1.90	-1.88	-1.85	-1.83	-1.77	-1.74	-1.71	-1.69	-1.68	-1.68	-1.69	-1.74	-1.78	-1.82	-1.81	-1.81	-1.84
27/5/19	-1.83	-1.82	-1.84	-1.84	-1.84	-1.84	-1.86	-1.87	-1.86	-1.84	-1.84	-1.81	-1.75	-1.72	-1.71	-1.70	-1.70	-1.72	-1.73	-1.79	-1.84	-1.86	-1.87	-1.86
28/5/19	-1.84	-1.82	-1.81	-1.82	-1.83	-1.84	-1.84	-1.85	-1.84	-1.84	-1.84	-1.82	-1.78	-1.76	-1.73	-1.73	-1.74	-1.76	-1.79	-1.83	-1.84	-1.87	-1.89	-1.91
29/5/19	-1.89	-1.88	-1.84	-1.82	-1.82	-1.81	-1.82	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.82	-1.79	-1.77	-1.75	-1.75	-1.74	-1.76	-1.81	-1.82	-1.87	-1.90	-1.91	-1.91
30/5/19	-1.88	-1.87	-1.87	-1.82	-1.80	-1.81	-1.81	-1.83	-1.83	-1.85	-1.83	-1.83	-1.83	-1.81	-1.79	-1.78	-1.79	-1.79	-1.82	-1.87	-1.90	-1.93	-1.96	-1.97
31/5/19	-1.95	-1.92	-1.89	-1.86	-1.82	-1.78	-1.77	-1.77	-1.78	-1.78	-1.79	-1.80	-1.78	-1.76	-1.73	-1.74	-1.75	-1.79	-1.80	-1.85	-1.87	-1.91	-1.95	-1.98
1/6/19	-1.95	-1.92	-1.89	-1.86	-1.80	-1.78	-1.75	-1.75	-1.72	-1.73	-1.73	-1.73	-1.74	-1.75	-1.73	-1.74	-1.74	-1.76	-1.81	-1.84	-1.89	-1.92	-1.98	-2.01
2/6/19	-2.00	-1.99	-1.92	-1.87	-1.82	-1.76	-1.73	-1.72	-1.70	-1.71	-1.72	-1.72	-1.72	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.77	-1.80	-1.83	-1.88	-1.92	-1.98	-2.01
3/6/19	-2.05	-2.04	-1.99	-1.95	-1.89	-1.83	-1.77	-1.73	-1.69	-1.67	-1.65	-1.72	-1.66	-1.67	-1.72	-1.71	-1.71	-1.74	-1.78	-1.83	-1.87	-1.92	-1.95	-2.02
4/6/19	-2.06	-2.06	-2.03	-1.99	-1.92	-1.87	-1.80	-1.76	-1.72	-1.69	-1.67	-1.66	-1.67	-1.69	-1.71	-1.74	-1.73	-1.74	-1.76	-1.78	-1.82	-1.88	-1.92	-1.96
5/6/19	-2.02	-2.04	-2.04	-2.02	-1.97	-1.91	-1.85	-1.78	-1.71	-1.67	-1.64	-1.62	-1.63	-1.63	-1.65	-1.68	-1.69	-1.71	-1.70	-1.74	-1.77	-1.82	-1.86	-1.91
6/6/19	-1.96	-1.98	-2.01	-2.01	-1.99	-1.92	-1.85	-1.80	-1.74	-1.70	-1.66	-1.60	-1.61	-1.61	-1.61	-1.65	-1.66	-1.67	-1.70	-1.73	-1.74	-1.79	-1.83	-1.86
7/6/19	-1.90	-1.93	-1.96	-1.98	-1.98	-1.96	-1.89	-1.83	-1.77	-1.72	-1.69	-1.65	-1.63	-1.63	-1.63	-1.67	-1.67	-1.70	-1.72	-1.73	-1.74	-1.77	-1.81	-1.84
8/6/19	-1.87	-1.90	-1.92	-1.95	-1.96	-1.94	-1.93	-1.87	-1.81	-1.75	-1.72	-1.69	-1.65	-1.64	-1.64	-1.67	-1.69	-1.71	-1.74	-1.76	-1.78	-1.79	-1.82	-1.84
9/6/19	-1.86	-1.88	-1.87	-1.90	-1.93	-1.94	-1.95	-1.92	-1.86	-1.81	-1.76	-1.73	-1.70	-1.67	-1.66	-1.67	-1.71	-1.74	-1.78	-1.80	-1.81	-1.82	-1.84	-1.85
10/6/19	-1.87	-1.83	-1.82	-1.81	-1.83	-1.87	-1.87	-1.87	-1.84	-1.81	-1.76	-1.73	-1.70	-1.69	-1.65	-1.65	-1.68	-1.72	-1.77	-1.83	-1.84	-1.86	-1.86	-1.87
11/6/19	-1.86	-1.84	-1.79	-1.77	-1.79	-1.79	-1.83	-1.83	-1.83	-1.81	-1.79	-1.77	-1.72	-1.73	-1.69	-1.68	-1.68	-1.74	-1.77	-1.84	-1.90	-1.92	-1.94	-1.90
12/6/19	-1.91	-1.86	-1.81	-1.78	-1.74	-1.76	-1.75	-1.78	-1.81	-1.81	-1.82	-1.76	-1.73	-1.72	-1.72	-1.71	-1.73	-1.77	-1.81	-1.87	-1.91	-1.95	-1.96	-1.95
13/6/19	-1.93	-1.89	-1.85	-1.79	-1.75	-1.73	-1.72	-1.73	-1.75	-1.77	-1.78	-1.77	-1.75	-1.73	-1.73	-1.75	-1.74	-1.77	-1.82	-1.86	-1.92	-1.96	-1.99	-1.99
14/6/19	-1.97	-1.93	-1.88	-1.81	-1.77	-1.72	-1.70	-1.69	-1.70	-1.71	-1.72	-1.72	-1.73	-1.71	-1.71	-1.72	-1.74	-1.75	-1.79	-1.83	-1.91	-1.94	-1.98	-1.99
15/6/19	-1.97	-1.95	-1.89	-1.83	-1.76	-1.72	-1.68	-1.64	-1.65	-1.65	-1.67	-1.71	-1.69	-1.72	-1.71	-1.71	-1.73	x	x	x	x	x	x	x
	-1.92	-1.91	-1.89	-1.87	-1.85	-1.83	-1.81	-1.79	-1.77	-1.75	-1.73	-1.72	-1.70	-1.64	-1.64	-1.64	-1.65	-1.73	-1.75	-1.79	-1.82	-1.86	-1.89	-1.91
																	Nivel medio		-1.79		Marea más baja:			-2.06

Tabla 5. Componentes de la marea en dos localidades del archipiélago Los Roques y Caribe suroriental.

	Archipiélago Los Roques				Otras localidades del Caribe sur (KJERFVE 1981)					
	Gran Roque		Dos Mosquises		Bonaire		La Guaira		Carúpano	
	11,94° N 66,67°W		11,80°N 66,89°W							
	Observaciones 14/5/19 1300h 15/6/19 1600h		Observaciones 14/5/19 1300h 15/6/19 1600h		12,15°N 68,28°W		10,61°N 66,94°W		10,67°N 63,25°W	
Componente	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)	Amplitud (cm)	Fase (°)
K1- Lunisolar de declinación diurna. T=23,934 h. Frecuencia =0,0417807	10,44	183,82	10,97	184,52	11,00	250	9,80		10,40	238
O1 - Lunar de declinación diurna. T=25,819 h. Frecuencia=0,0387307	6,05	196,86	6,09	196,86	7,00	239	6,70		7,50	230
M2 - Luna principal semidiurna. T=12,421h Frecuencia = 0,0805114	4,80	82,54	4,32	84,94	5,00	174	4,80	158	11,30	190
Mm – Lunar mensual. T=27,421 días Frecuencia = 0,00151	4,53	120,78	2,22	102,03						
MSF - Lunisolar sinódica quincenal. T=14,765 días Frecuencia=0,0028219	1.90	195,86	2,20	227,74						
N2 - Lunar principal, semidiurna. T=12,658 h Frecuencia=0,0789992	1,43	244,69	1,35	239,27	-----	-----	1.70	137	*3,20*	*172*
S2 – Solar elíptica mayor semidiurna. T=12 h. Frecuencia=0.0833333	1,31	332,39	1,61	326,24	1,00	268	-----	-----	*3,2*	*217*
J1 - Lunar elíptica menor diurna. T=23,098 h. Frecuencia=0,0432929	*1,1398*	13,37	1,23	11,03						
Q1- Lunar elíptica diurna T=26,87 h Frecuencia = 0,0372185	-----	-----	0,96	13,91						
$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$ COURTIER	*2,74*		2,88		----------		----------		1,23	
$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2}$ DUVANIN	*3,48*		3,95		3,60		3,44		1,58	

demás componentes semidiurnos principales N2 (lunar principal) y S_2 (solar principal) contribuyen con cerca de 1,5 cm. Los componentes de menor frecuencia Mm (lunar mensual) contribuye con cerca de 2 cm y la componente Msf (lunisolar sinódica quincenal) contribuye con 4,5 cm en Gran Roque y 2,22 cm en Dos Mosquises. Esta es la mayor discrepancia entre ambos sitios.

CONCLUSIONES

Por la información recabada del archipiélago Los Roques y su correspondiente análisis, se concluye que:

1) La región se encontraba bajo la influencia del anticiclón atlántico, presentando un buen tiempo, sin precipitaciones y poca nubosidad.

2) Los parámetros meteorológicos mostraron pequeñas variaciones temporales, característicos del clima marino:

a) La temperatura osciló entre 26,6ºC y 29,8ºC, la humedad relativa estuvo todo el tiempo por encima de 70%,

b) El viento fue de moderada intensidad y varió entre 7,8 m/s a 5,1 m/s. Las máximas velocidades del viento (ráfagas) alcanzaron 15,5 m/s - 15,6 m/s,

c) El régimen del viento mostró un comportamiento típico de los vientos alisios. La dirección predominante presentó un fuerte componente del Este (E) oscilando principalmente entre ENE y SE;

d) En la isla Dos Mosquises hay indicios de la presencia de las brisas marinas.

3) En general, las corrientes marinas siguen el patrón de circulación de Este a Oeste obviando obstáculos batimétricos, con una velocidad del orden de los 20 cm/s. La velocidad de las corrientes se incrementa en los canales relativamente profundos y orientados con los vientos alisios preponderante y se ralentizan en los sitios someros. En el valle submarino del Gran Roque y al oeste de Dos Mosquises, las aguas del flujo general E-W penetran en el archipiélago.

4) Las mareas en la zona son mixtas con predominancia del tipo diurno. La mayor amplitud en Gran Roque fue de 0,41 m y 0,40 m en Dos Mosquises. La pleamar o "llenado" tiene lugar en las primeras horas de la tarde y la bajamar o "vaciado" en horas de la noche.

a) La clasificación mixta principalmente diurna, coincide con lo reportado por Kjerfve (1981) para regiones cercanas como La Guaira en el litoral central de Venezuela.

b) Los constituyentes principales de armónicos separados en las series de tiempo, corresponden a cuatro de carácter diurno (K1, O1, J1, Q1), tres de carácter semidiurno (M2, S2, N2) y las componentes lunar mensual y lunisolar sinódica quincenal (Mm, Msf).

5) Se asignan los términos "depresión del Gran Roque", "valle submarino del Gran Roque" y "valle submarino de Carenero".

6) Al ser la cantidad de observaciones litada, queda claro que estas deben ser continuadas a fin de detectar e identificar variaciones espacio – temporales para entender la condición ambiental del ecosistema archipiélago Los Roques.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al Ministerio de Turismo de Venezuela y muy especialmente a la Ministro Stella Lugo por permitir el empleo de la información recabada, a FUNDAMAR en la persona del Sr. Pacdin Rodríguez por el apoyo prestado y disposición de las instalaciones de la Estación de Dos Mosquises, así como al Ing. José Guerra de la Consultora CEPA C.A. por permitir el empleo de sus equipos y al oceanógrafo Julio Castro del Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile por el apoyo brindado. Al Ing. Dionisio González por su apoyo, al Sr. José Feliciano Iriarte (Félix) por su ayuda con las mediciones en isla Crasky.

REFERENCIAS

Amend, T. 1992. *Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Series Parques Nacionales y Conservación Ambiental, Venezuela.* 225 pp.

Ávila, R. G., L. E. Herrera, C. A. Febres & H. Tonda. 1980. *Régimen de mareas de las aguas costeras de Venezuela en especial en la región del Delta del Orinoco.* Centro de Investigación y Desarrollo de Petróleos de Venezuela S.A. 1: 1 – 36.

Bonilla, j., J. Moya & A. Quintero. 2003. Contenido orgánico y parámetros reductores de sedimentos del Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 49(1 & 2): 47- 63.

Bracho-Magdaleno, C. L. & Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN).1988. *Diccionario de mareas y corrientes*. Caracas: República de Venezuela, Ministerio de la Defensa, Armada, Dirección de Hidrografía y Navegación. 168 pp.

Casanova, E., E. Zoppi de Roa & E. Montiel. 2007. Caracterización espacial y temporal del zooplancton en el archipiélago Los Roques, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 46(1): 51-65.

Decreto N° 1213. *Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso Parque Nacional "Archipiélago Los Roques"*. Gaceta Oficial Nº 4250, 18 de enero 1991.

Foreman, M. G. G. 1977. *Manual for tidal heights analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 97pp.

Foreman, M. G. G. 1978. *Manual for tidal currents analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 57pp.

Garmin. 2007. Blue Chart Americas v2008 (Versión 2010). [Software PC].

Godin, G. 1972. *The Analysis of Tides*. University of Toronto Press, Toronto, 264pp.

González, J. 1989. Producción primaria del fitoplancton y caracterización fisicoquímica de las aguas del

Cayo Dos Mosquises, Los Roques, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 28(1&2): 35-45.

Guevara D., J. 1988. *Meteorología*. Ediciones de la Universidad Central de Venezuela. Caracas. 196 pp.

Herrera, L. E., G. E. Febres & R. G. Ávila. 1981. Las mareas en aguas venezolanas y su amplificación en la región del Delta del Orinoco. *Acta Cient. Venezolana*. 32: 299 – 3066.

Kjerfve, B. 1981. Tides of the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.* 86(C5): 4243-4247.

Malikov, I. 2010. Regimen de la marea en las costas colombianas. IDEAM Colombia. Notas Técnicas. 21 pp. Disponible en http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/ meteorología-marina (revisada 20/07/2020).

Noriega, N., S. Pauls & C. del Monaco. 2006. Abundancia de *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea) en las costas de Venezuela. *Rev. Bio. Trop.* 54: 763-802.

Pawlowicz, R., B. Beardsley & Lentz. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Comput. Geosci.* 28: 929 - 937.

Peligrí, J. L. & R. G. Ávila. 1986. Las mareas como sistemas cooscilantes en los golfos de Venzuela y Paria. *Rev. Tec. INTEVEP*. 6 (1): 3 – 15.

Quintero, A & C. Lodeiros 1996. Variaciones térmicas en Turpialito - Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 35 (1 & 2): 27 - 40.

Quintero, A. & G. Terejova. 2009. Influencia de las corrientes marinas sobre el transporte de sedimentos en la Boca del golfete de Coro, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 47 (1): 77 - 87.

_____. 2010. Brisas de mar y tierra al norte de la península de Araya, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 49 (1): 41 - 52.

_____. 2016. Evaluación de los parámetros del viento en los períodos de lluvia y sequía en el valle submarino de Araya, Venezuela. I Parte. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 55 (2): 3 – 16.

Quintero, A., G. Terejova & J. Bonilla. 2009. Las corrientes marinas en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.* 48 (2): 109 – 119.

Terejova, G., A. Quintero & A. Piñero. 1998. Descripción de las características climáticas de Carúpano, Estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr Venezuela.* 37 (1 & 2): 43 – 52.

Toro, L., M. Moreno, A. Gómez & J. Giraldo. 2014. Metagabros de la isla Gran Roque (Venezuela). Geoquímica y petrografía. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 38(148): 312 - 320.

Urbani, F. 2005. *Geología de la isla del Gran Roque, Parque Nacional los Roques, Venezuela: guía de excursión*. FUNVISIS y UCV, p. 28.

Villamizar, E., A. Yranzo, J. Pérez & H. Camisotti. 2014. Diversidad y condiciones de corales pétreos en algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Acta Biol. Venez.* 34(2): 257-279.

Vorobev, V. N. & N. P. Smirnov. 1999. *Oceanología General. II Parte. Procesos dinámicos.* Edit. RGGMU. Sant Petersburgo. Federación Rusa. 230 pp.

Recibido: ?????
Aceptado: ?????