

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

BRITO FELICIA^{1*}, MARTÍNEZ GREGORIO² & QUINTERO ANTONIO³

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 278×10^3 y 570 a 998 mg/kg, respectivamente, mientras que el PT presentó variaciones entre 300 - $1,04 \times 10^3$ 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 278×10^3 and 570 to 998 mg/kg, respectively, while TP presented variations between 300 - 1.04×10^3 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 fósforo 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 63,14° y 63,17° de Long. Oeste y los 10,71° y 10, 73°

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 m² de área y las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y conservaron a -20,0°C 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 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 °C 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% (MARQUEZ *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 Kruskal-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).

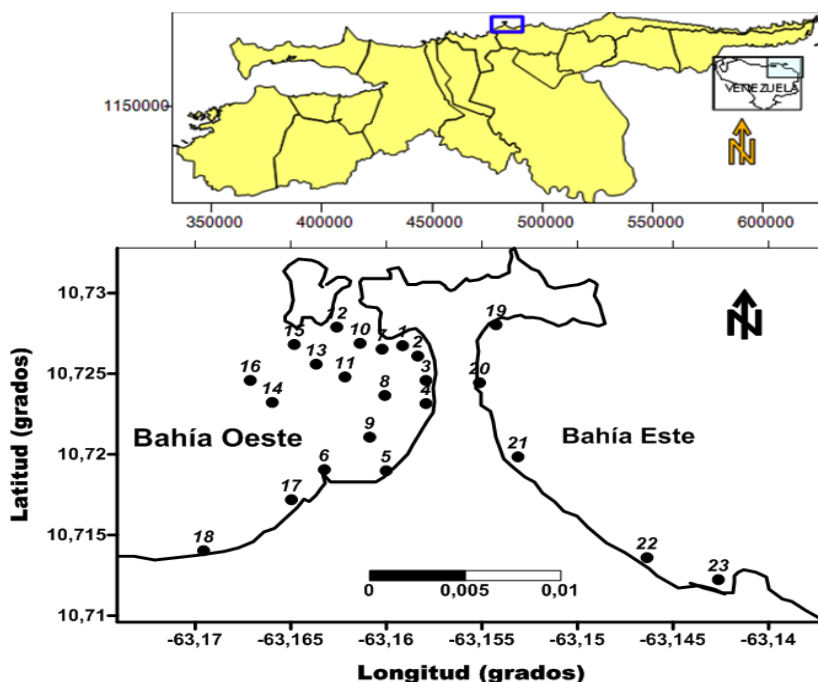


Fig. 1. Área de estudio indicando las estaciones del muestreo en sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

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 (CaCO₃)

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%.

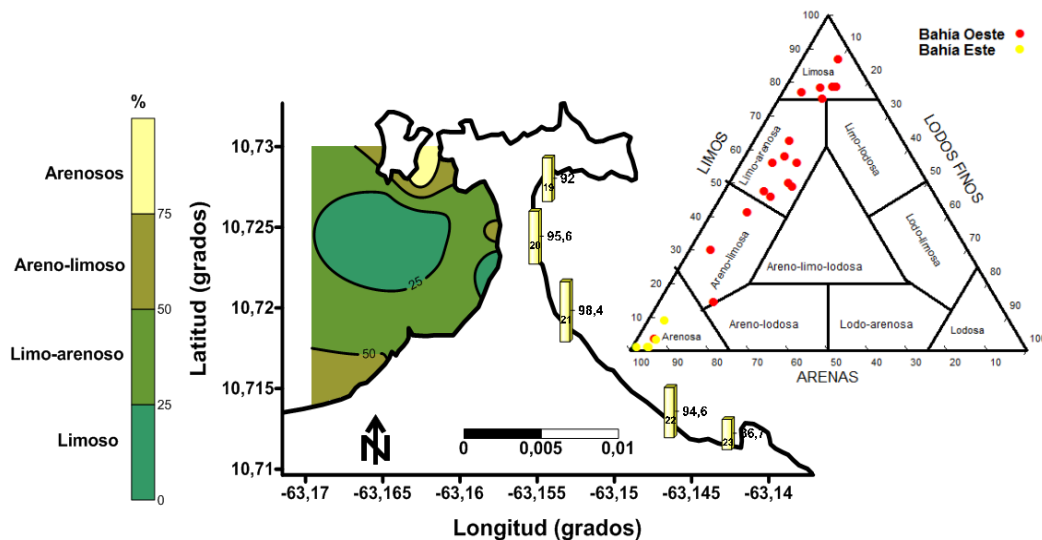


Fig. 2. Distribución espacial y triángulo ternario de la composición granulométrica (%) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

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 ($r_{(CaCO_3-Arenas)} = 0,87$) y disminuye en las fracciones más finas ($r_{(CaCO_3-Limos)} = -0,86$;

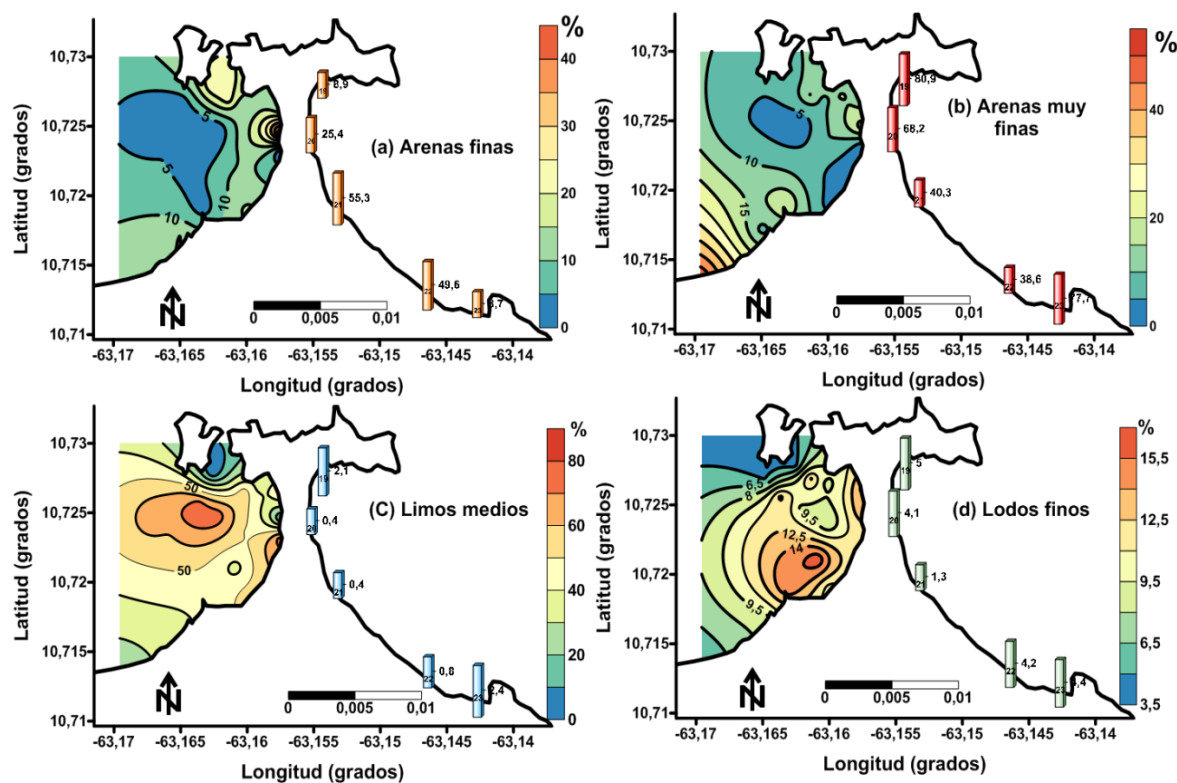


Fig. 3. Distribución granulométrica de: arenas (a,b), limos medios (c) y lodos finos (d) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

$r_{(\text{CaCO}_3\text{-L.finos})} = -0,59$). 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 ($K_{w(\text{CaCO}_3)} = 36,0$; $p < 0,0001$). 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 ($K_{w(\text{NT})} = 34,7$; $p < 0,0001$).

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 $2,78 \times 10^3$ 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

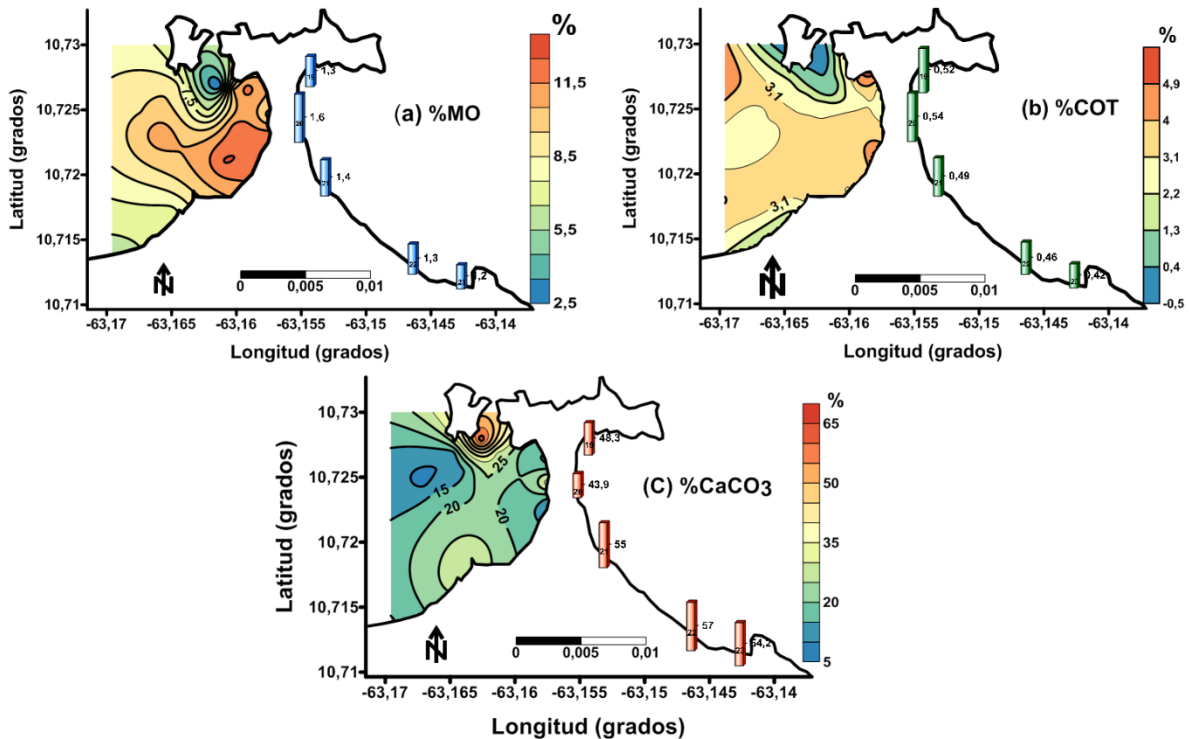


Fig. 4. Distribución espacial del porcentaje de: a) Materia orgánica total (MOT), b) Carbono orgánico total (COT) y c) Carbonatos (CaCO_3) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

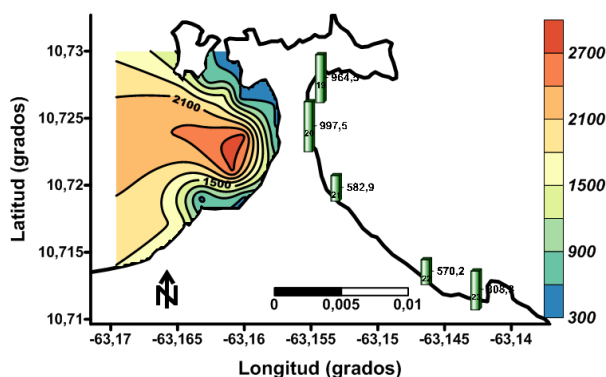


Fig. 5. Distribución espacial de nitrógeno total (NT) mg/kg en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

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 $1,3 \times 10^3$ 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 ($220-1,51 \times 10^3$ mg/kg en Primavera y $270-1,27 \times 10^3$ 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 ($4,22 \times 10^3$ 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 $1,04 \times 10^3$ 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 ($K_{w(PT)}=34,7$; $p<0,0001$).

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 periodo 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 testudinum* 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 $4,10 \times 10^3$ mg/kg, con un promedio de 920 mg/kg.

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

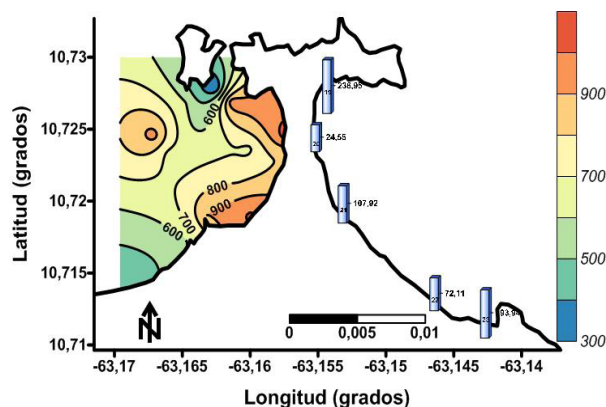


Fig. 6. Distribución espacial de fósforo total (PT) mg/kg en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

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 autóctona 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 autóctona 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

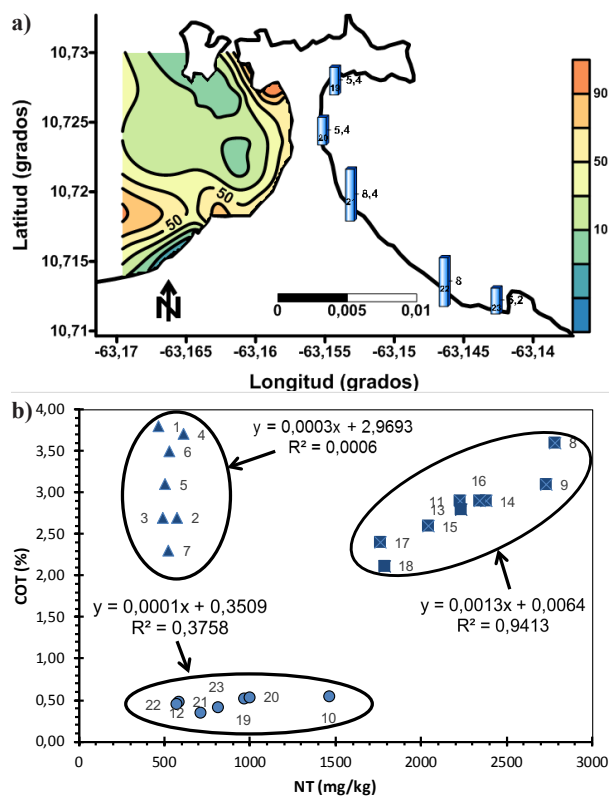


Fig. 7. Distribución espacial de la razón COT/NT (a) y relación COT/NT (b) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

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.

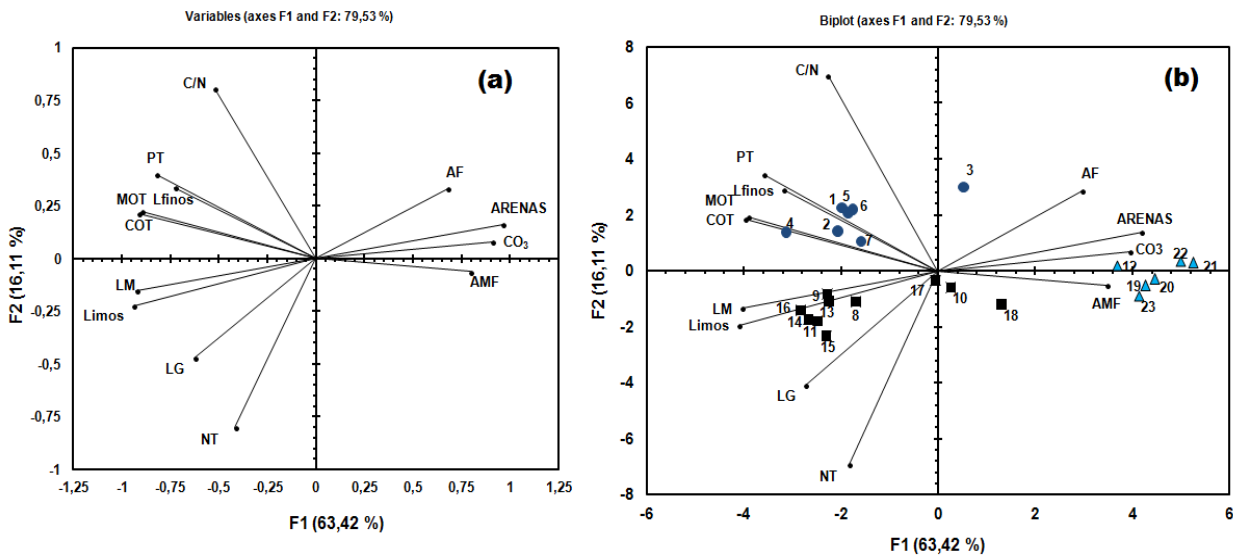


Fig. 8. Representación ortogonal de los dos componentes principales para las variables estudiadas (a) y estaciones (b) en los sedimentos recientes de El Morro de Puerto Santo, Venezuela.

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. *Evaluación 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. FALICK. 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. NING & Z. H. WANG. 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 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 $\delta^{13}\text{C}$ 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. MATHESIU. 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 Mediterranean 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. HILLAIRES-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 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 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. PÁEZ-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 d'analyse des sels nutritifs dans lean MER*. Université 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. ZHANG. 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. KHALILULIN, E. R. TERBJERG & 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. CHEN. 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