

## ACTIVIDAD MICROBIANA EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL BOSQUE DE MANGLAR (*Rhizophora mangle*) DE LA BAHÍA DE PERTIGALETE (ANZOÁTEGUI, VENEZUELA), DURANTE LOS PERÍODOS DE SURGENCIA Y TRANSICIÓN

### MICROBIAL ACTIVITY IN SURFACE SEDIMENTS OF MANGROVE FOREST OF PERTIGALETE BAY (ANZOÁTEGUI, VENEZUELA), DURING THE UP WELLING AND TRANSITION PERIODS.

MEXIMARA RODRÍGUEZ, IRMA GÓMEZ

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Unidad de Estudios Básicos, Departamento de Ciencias,  
Laboratorio de Investigaciones Biológicas, Barcelona, Venezuela  
E-mail: rmximara@yahoo.com

#### RESUMEN

La Bahía de Pertigalete está bordeada de una extensa zona de manglares y se encuentra afectada por un intenso tráfico náutico, el vertido de aguas servidas procedente de poblaciones aledañas y los efluentes de la empresa Cementos de Venezuela. Este trabajo tuvo como objetivo determinar la actividad microbiana en sedimentos superficiales y el posible impacto antropogénico en zonas de manglar de la Bahía de Pertigalete durante los períodos de surgencia y transición. La biomasa microbiana, expresada en carbono de masa microbiana (Cmic), respiración basal (RB), actividad de las deshidrogenasas (DHS), hidrólisis del diacetato de fluoresceína (HDAF) y el cociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) fueron empleados en la determinación de la actividad microbiana. En tres zonas de la bahía se establecieron tres transectos de 30 m de longitud, con una separación de 10 m. En cada transecto se situaron tres puntos de muestreo tomándose por triplicado muestras de sedimento superficial. Los resultados mostraron que durante el período de surgencia existe una mayor Cmic en las tres zonas seleccionadas: 851,01; 539,87; y 533,66 mg Cmic kg<sup>-1</sup> sedimento en las zonas I, II y III respectivamente. La DHS indicó que existe un predominio de poblaciones heterotróficas anaeróbicas durante éste período. La HDAF confirmó que ocurre una mayor actividad heterotrófica durante la surgencia y el qCO<sub>2</sub> reflejó mayor eficiencia en la utilización del carbono. Los resultados reflejan que la predominancia de la flora microbiana y su actividad en los sedimentos está determinada principalmente por las temporadas de surgencia y transición, especialmente en la zona I, la cual está menos expuesta a la acción antrópica.

**PALABRAS CLAVE:** Biomasa microbiana, impacto antropogénico, actividad de las deshidrogenasas.

#### ABSTRACT

The Pertigalete Bay is bordered by an extensive mangrove zone and it is affected by an intense boating and sailing traffic, the pouring of the waste water coming from the nearing population and effluent from the company Cements of Venezuela. The objective of this research was to determinate the microbial activity and the possible anthropogenic impact in surface sediments of mangrove zones in the Pertigalete Bay during the up welling and transition periods. The microbial biomass (Cmic), the basal respiration (RB), dehydrogenases activity (DHS), fluorescein diacetate hydrolysis (HDAF) and the metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) were used in the determination of the microbial activity. In three zones of the bay three transects of 30 m of length were established with a separation of 10 m among them. In each transect, three sampling points were placed and triplicate samples of the surface sediments were taken from each. The results showed that during the up welling period there is a higher Cmic in the three selected zones: 851.01; 539.87 and 533.66 mg Cmic kg<sup>-1</sup> sediment in zones I, II and III, respectively. The DHS indicated that there is a predominance of the anaerobic heterotrophic population during this period. The HDAF confirmed that there is a higher heterotrophic activity during the up welling and the qCO<sub>2</sub> indicated a greater efficiency in the use of carbon by the microorganism present in the sediments. The results showed that the predominance of the microbial flora and its activity in the sediments is mainly determined by the up welling and transition periods, especially in the zone I, which is less exposed to the anthropogenic action.

**KEY WORD:** Microbial biomass, anthropogenic impact, dehydrogenases activity.

#### INTRODUCCIÓN

En Venezuela, los manglares ocupan la franja costera que separa tierra firme de la masa de agua marina, y comprenden una extensión de 1.100 km de la línea costera, representando cerca de un 33% de la costa, pero dada la diversidad de patrones de relieve, salinidad, oleaje y clima en las costas, se

observa una discontinuidad en la ubicación de estos bosques (Pannier y Pannier 1989, Del Mónaco *et al.* 2010). Para la presente investigación se seleccionó la Bahía de Pertigalete, ubicada en el sector La Baritina, municipio Guanta, al norte del estado Anzoátegui. Este es un cuerpo de agua marino-costero bordeado de una extensa zona de manglares que

se encuentra afectada por diversos factores antropogénicos: un intenso tráfico náutico, el vertido de aguas servidas procedente de las poblaciones de Volcadero, Isla Telésforo, Guanta y la Urbanización Pamatacualito; así como por los efluentes procedentes de la empresa Cementos de Venezuela-Planta Pertigalete.

La Bahía de Pertigalete también resulta afectada por factores naturales como la surgencia costera (Marcano 2013), la cual está caracterizada por eventos de afloramiento, los cuales son los fenómenos de renovación de las aguas superficiales menos densas y pobres en nutrientes, por la emersión de aguas subsuperficiales más frías provenientes de la fosa de Cariaco, ricas en nutrientes (Okuda *et al.* 1978). Este es un fenómeno que está asociado con la época de sequía, generalmente de diciembre-abril, en ocasiones hasta mayo (Okuda 1982), e íntimamente relacionado con los regímenes de vientos alisios, que soplan en dirección NNE-ENE (Okuda *et al.* 1978). Por otro lado, los manglares actúan como sumideros naturales de CO<sub>2</sub> y como fuentes de materia orgánica e inorgánica (Díaz *et al.* 2010, Méndez *et al.* 2011). Toda esta conjunción de factores naturales y antropogénicos afectan la actividad microbiana en los sedimentos marinos, actividad que a su vez determina la productividad y estabilidad del sistema; hasta el punto que se le atribuye la mayor participación en el flujo de energía en estos sedimentos (Holguín y Bashan 2007).

Tomando en consideración lo antes señalado, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la actividad microbiana presente en los sedimentos superficiales de las zonas de manglares de la Bahía de Pertigalete, Venezuela, durante las temporadas de surgencia y transición, a través de diversos parámetros microbiológicos, los cuales permiten predecir a corto plazo, cambios en la actividad microbiana y por ende en la calidad biológica de los mismos. Los parámetros microbiológicos seleccionados fueron: el carbono de la biomasa microbiana (Cmic), la actividad de las deshidrogenasas (DHS), la respiración basal (RB), el coeficiente metabólico (qCO<sub>2</sub>) y la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (HDAF). El Cmic, es considerado como uno de los parámetros de mayor importancia en la determinación de la actividad microbiana en los sedimentos marinos (Goutam y Ramanathan 2013), debido no solo a su alta sensibilidad frente a los factores antrópicos y naturales que afectan a estos ecosistemas; sino también por ser un factor que refleja la dinámica microbiana, además de predecir a corto plazo la tendencia de la materia orgánica en suelos y sedimentos (Nannipieri 1994).

La determinación de las DHS es una medida de la dinámica microbiana y del potencial oxidativo de la biomasa microbiana en los sistemas anaeróbicos (Pamatma y Bhagwat 1973, Nannipieri *et al.* 1990). Es un parámetro muy sensible a la variación estacional y a la degradación del suelo o sedimentos por efecto de la presencia de contaminantes industriales y descarga de efluentes en humedales (Makoi y Ndademi 2008, Cerón y Ramírez 2011). La determinación de la RB es un parámetro que desde el punto de vista ecológico representa una medida de la actividad microbiana aeróbica, la tasa de descomposición de la materia orgánica y de la calidad del carbono en el suelo (Anderson 1982, Saviozzi *et al.* 2001) y sedimentos. Este parámetro responde tempranamente al efecto provocado por las variaciones de las condiciones ambientales (Alef y Nannipieri 1995) y los factores antrópicos. El coeficiente metabólico (qCO<sub>2</sub>) o de respiración específica (Breland y Eltum 1999) es un parámetro que expresa cuan eficiente puede ser la biomasa microbiana en utilizar el carbono disponible para síntesis y mantenimiento de la respiración (Šantrůčková y Straškraba 1991, Saviozzi *et al.* 2001) y la eficiencia competitiva frente a las condiciones ambientales. En el caso de la HDAF, este parámetro representa un indicador de la actividad hidrolítica de la materia orgánica (Adams y Duncan 2001), y se ha empleado para determinar actividad microbiana en sedimentos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Bahía de Pertigalete pertenece territorialmente al Parque Nacional Mochima y se encuentra a 6 km al este de la ciudad de Puerto La Cruz, estado Anzoátegui. Tiene un área aproximada de 4 km<sup>2</sup> en un perímetro costero de 8 km (Ruiz-Allais *et al.* 2012). Está ubicada entre Punta Pertigalete y Punta Queque entre los 10° 14' latitud norte y demarcada por el rango longitudinal 64° 32'45" y 64° 35'30" longitud oeste, según lo describe la Oficina Coordinadora de Hidrografía y Navegación (OCHINA 2012). El área de estudio está caracterizada por la existencia de dos períodos climáticos bien definidos: uno de sequía (diciembre a mayo) y otro lluvioso (junio a noviembre). Los meses con menor precipitación son enero y febrero y los de mayor precipitación julio y agosto (Martelo 2003, INAMEH 2012). Como es conocido, el patrón de vientos en la zona norte de Venezuela está controlado por los vientos alisios que soplan persistentemente desde el noreste (Quintero *et al.*, 2004).

Para la presente investigación se seleccionaron tres zonas de muestreo (Fig. 1): La zona I (10° 14'

17,6" N y 64° 34' 32,7 O) caracterizada por el predominio de bosques de *Rhizophora mangle*. En ésta se aprecia una menor intervención antrópica, por lo que fue considerada como zona "control" para los fines comparativos. La zona II representada por un ecosistema de manglar bajo intensa acción antropogénica, dada su ubicación en la orilla de la playa de Bahía Costamar (10° 14' 49,1" N y 64° 34' 47,1 O), donde recibe la

afectación del caserío ubicado en esa zona. La zona III (10° 14' 27,6" N y 64° 34' 49,7 O) está localizada en el área de salida del muelle de la antigua empresa Halliburton, cercano al embarcadero La Baritina (10° 14' 27,6" N y 64° 34' 49,7 O). En esta zona se presenta un bosque de manglar formado por árboles de *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*, además de un pequeño banco de *Thalassia testudinum*.

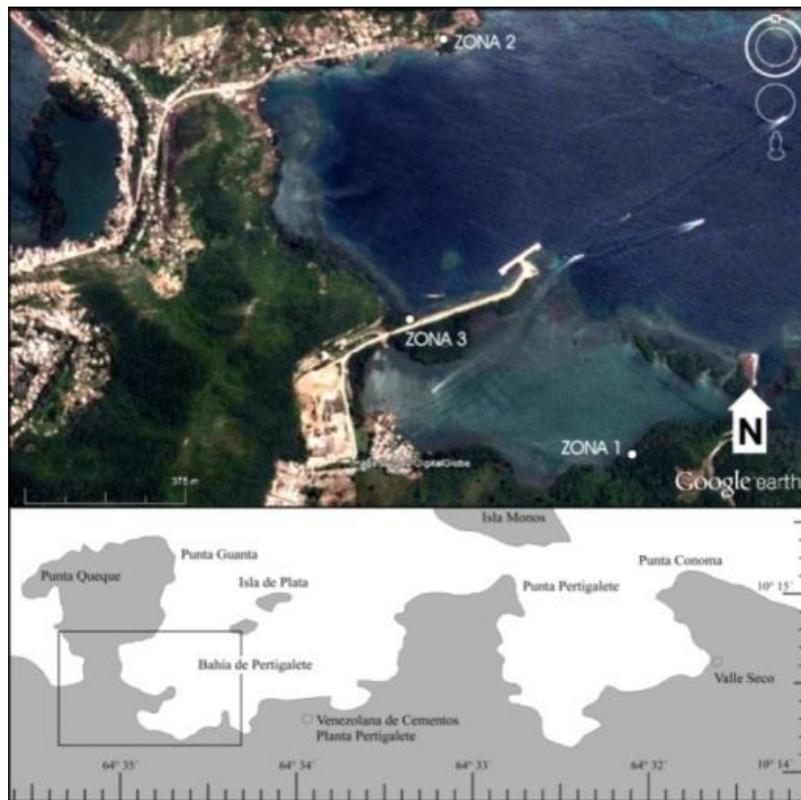


Figura 1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio en la Bahía de Pertigalete, estado Anzoátegui.

### Muestreo

Las muestras de sedimento superficial se tomaron en el mes de agosto de 2012 (período de transición, en éste mes se inicia la disminución progresiva de la magnitud del viento y su dirección en la bahía) y el mes de marzo de 2013 (período de surgencia, mes donde se presenta la mayor intensificación del régimen de vientos en toda la costa) tomando en cuenta los registros climatológicos reportados por Mata (2010) e INAMEH (2012). En cada zona de muestreo, se establecieron tres transectos de 30 m de longitud, partiendo de 5 m de la orilla, separados estos, a su vez, por una distancia de 10 m. En cada transecto se establecieron tres puntos de muestreo cada 10 m, en los cuales se tomaron por triplicado, mediante el uso de una draga box-core (20 x 20 cm) muestras de sedimento superficial (0-10 cm). Cada muestra de sedimento analizado por

transecto fue el resultado de la combinación de tres submuestras (muestras compuestas). Éstas fueron colocadas en bolsas plásticas y refrigeradas a 4°C para su posterior análisis en el laboratorio.

### Análisis físico y químico de los sedimentos

La distribución del tamaño de las partículas del sedimento se determinó de acuerdo al Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (*Unified Soil Classification System, USCS*). El peso seco de las muestras se llevó a cabo mediante el proceso de secado de 1 g de sedimento en una balanza de humedad Ohaus. El pH y la conductividad se determinaron en una mezcla suelo: agua (1:5) mediante el método potenciométrico y conductimétrico respectivamente (Jackson 1960), utilizando un pH-metro Thermo marca Orion, modelo 420A y un conductímetro Thermo Scientific Orion Start. El contenido de carbono

orgánico total (COT) se llevó a cabo por el método Walkey y Black modificado por Anderson e Ingram (1993). Los valores se expresaron en g de Ckg<sup>-1</sup> de sedimento.

### Actividad microbiológica en los sedimentos

El carbono de la biomasa microbiana (Cmic) se determinó a través de la técnica de la respiración inducida por sustrato (RIS) (Anderson y Domsch 1978). Cincuenta gramos de sedimento se colocaron en recipientes de vidrio y se mezclaron con 400 mg de glucosa. En su interior se colocó una trampa de álcali conteniendo 20 mL de NaOH 0,1 N. Los frascos se sellaron herméticamente y se incubaron por 4 h a 22°C. Los valores fueron obtenidos por titulación con HCl 0,1N y expresados en mg Cmic kg<sup>-1</sup> sedimento.

La respiración basal (RB) se determinó según el método descrito por Alef y Nannipieri (1995). Cincuenta gramos de la muestra de sedimento fueron colocados en frascos de vidrio los cuales se sellaron herméticamente y se incubaron por 24 h. El CO<sub>2</sub> liberado fue atrapado en una solución de NaOH (0,1N). El CO<sub>2</sub> absorbido fue titulado con HCL (0,1 N). Los resultados se expresaron en mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup> el qCO<sub>2</sub> se calculó a través de la relación entre el CO<sub>2</sub> emitido durante la respiración basal y el C de la biomasa microbiana (Anderson y Domsch 1985). Este fue expresado en mg C-CO<sub>2</sub> (mg C mic 24 h)<sup>-1</sup>.

La actividad de las deshidrogenasas (DHS) se determinó de acuerdo al método de Casida *et al.* (1964). El ensayo se basó en la determinación del trifenilformazan (TFF) formado a partir de la reducción del trifenil tetrazolium cloruro (TTC), el cual actúa como aceptor artificial de electrones. A las muestras de sedimentos se les agregó una pequeña porción (0,02 g) de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), 0,25 mL de la solución de TTC al 3% y 2,50 mL de agua destilada y se incubaron a 37°C por 24 h en tubos sellados herméticamente. El compuesto coloreado formado, el trifenilformazan (TFF) fue extraído con metanol hasta agotamiento. El filtrado se diluyó con metanol hasta 25 mL. El contenido de TFF se determinó colorimétricamente (Spectronic 21D) a 485 nm y los resultados se expresaron en µg de TFF g<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>.

La hidrólisis del diacetato de fluoresceína (HDAF) se determinó por el método descrito por Adams y Duncan (2001). A 0,5 g de sedimento se le añadieron 15 mL del buffer fosfato de potasio (60 mM) pH 7,6 y 0,2 mL de una solución de

diacetato de fluoresceína (1000 µg mL<sup>-1</sup>). La mezcla de reacción se incubó a 30°C por 1 h. Concluido este período, a cada una de las muestras se le añadieron 15 mL de una solución de cloroformo/metanol (2:1 v v<sup>-1</sup>) para detener la reacción. Se centrifugaron a 2.000 rpm por 3 min. El sobrenadante fue filtrado y la fluoresceína extraída fue determinada a 490 nm (Spectronic 21D). Los resultados fueron expresados en µg de fluoresceína g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

### Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas de análisis de varianza de dos vías ( $p < 0,05$ ) para establecer diferencias entre las zonas de muestreo y el efecto del período climático sobre la actividad microbiológica utilizando el programa SPSS versión 17.0 (Visauta 1997).

## RESULTADOS

### Características físico-químicas

La Tabla 1 muestra las características texturales y los valores promedios de pH, conductividad y carbono orgánico total (COT). El análisis textural mostró que las zonas I II y III presentan una textura areno-limosa según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Los valores de pH variaron ente 6,98 y 8,04. Durante la temporada de surgencia se obtuvieron los valores de pH más altos (7,63; 7,91 y 8,04 zonas I, II y III, respectivamente); mientras que los valores obtenidos durante la temporada de transición fueron más bajos (6,96; 7,06 y 6,98 para las zonas I, II y III, respectivamente). Los valores de conductividad variaron entre 4,78 y 7,62 dSm<sup>-1</sup> y fueron en líneas generales mayor durante la temporada de transición (5,11-7,08 dSm<sup>-1</sup>) con relación a la temporada de surgencia (4,78-7,62 dSm<sup>-1</sup>); siendo la zona I la que presentó el mayor valor de esta propiedad (7,08-7,62 dSm<sup>-1</sup>).

En cuanto al contenido de COT presente en los sedimentos de las zonas estudiadas, éste varió significativamente (ANOVA  $F_1 = 355,47$   $p < 0,05$ ) de acuerdo a la temporada climática. El COT durante la temporada de surgencia fue menor para las tres zonas (138,68 g de C kg<sup>-1</sup>; 58,17 g de C kg<sup>-1</sup> y 53,65 g de C kg<sup>-1</sup> para las zonas I, II y III respectivamente) en comparación al obtenido para la temporada de transición, en la cual se obtuvieron valores de 219,0 g de C kg<sup>-1</sup> para la zona I; 137,10 g de C kg<sup>-1</sup> para la zona II y 115,64 g de C kg<sup>-1</sup> para la zona III. La zona I mostró el mayor contenido de COT durante ambas temporadas climáticas (136,68 y 219,0 g de C kg<sup>-1</sup> surgencia y transición, respectivamente).

Tabla 1. Clasificación textural y valores promedio del pH, conductividad y contenido de carbono orgánico total (COT) en los sedimentos superficiales (0-10 cm) de tres zonas de manglares de la Bahía de Pertigalete, Anzoátegui, durante las temporadas de surgencia y transición.

Zona	Textura		pH		Conductividad (dSm <sup>-1</sup> )		COT (g de C kg <sup>-1</sup> )	
	Surgencia	Transición	Surgencia	Transición	Surgencia	Transición	Surgencia	Transición
I	areno limo arcillosa	areno limo arcillosa	7,63 ± 0,05 <sup>a</sup>	6,96 ± 0,07 <sup>b</sup>	7,62 ± 0,44 <sup>a</sup>	7,08 ± 0,83 <sup>b</sup>	138,68 ± 6,38 <sup>a</sup>	219,0 ± 18,12 <sup>b</sup>
II	arena limosa	arena limosa	7,91 ± 0,21 <sup>a</sup>	7,06 ± 0,03 <sup>b</sup>	4,78 ± 0,84 <sup>a</sup>	5,11 ± 0,28 <sup>b</sup>	58,17 ± 7,96 <sup>a</sup>	137,10 ± 24,34 <sup>b</sup>
III	arena limosa	arena limosa	8,04 ± 0,01 <sup>a</sup>	6,98 ± 0,03 <sup>b</sup>	4,87 ± 0,46 <sup>a</sup>	5,14 ± 0,30 <sup>b</sup>	53,65 ± 6,30 <sup>a</sup>	115,64 ± 13,38 <sup>b</sup>

### Actividad microbiológica

El Cmic varió significativamente (ANOVA  $F_1 = 265,76$   $p < 0,05$ ) entre las temporadas climáticas (surgencia y transición) en las zonas estudiadas en la bahía de Pertigalete (Fig. 2A). En la temporada de surgencia se obtuvieron los mayores valores de biomasa microbiana ( $851,01 \pm 39,44$ ;  $539,87 \pm 35,76$  y  $533,66 \pm 48,20$  mg Cmic kg<sup>-1</sup> sedimento) para las zonas I, II y III, respectivamente) mientras

que los valores obtenidos durante la temporada de transición fueron significativamente más bajos ( $621,63 \pm 77,34$ ;  $320,84 \pm 36,90$ ; y  $338,45 \pm 39,41$  mg Cmic kg<sup>-1</sup> sedimento, respectivamente). Con relación a las zonas de estudio, el valor promedio de Cmic obtenido en la zona I durante ambas temporadas resultó significativamente mayor (ANOVA  $F_1 = 235,4$   $p < 0,05$ ) que en las zonas II y III, las cuales no variaron entre sí.

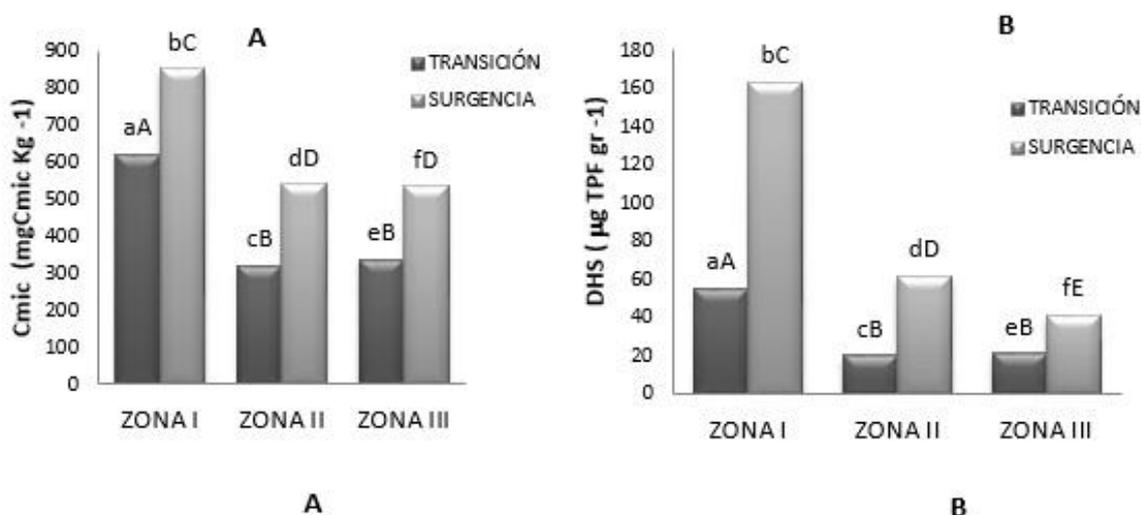


Figura 2. Variación de la biomasa microbiana (Cmic) (A) y de la actividad de la enzima deshidrogenasa (B) en los sedimentos superficiales (0-10 cm) de tres zonas de manglares de la Bahía de Pertigalete, Anzoátegui, durante las temporadas de surgencia y transición. Las medias entre temporadas climáticas para una misma zona de manglar, seguida de letras minúsculas iguales, no son significativamente diferentes. Las medias entre zonas del manglar para una misma temporada climática, seguidas de letras mayúsculas iguales, no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

La actividad de las DHS varió significativamente con respecto a la temporada climática (ANOVA  $F_1 = 216,19$   $p < 0,05$ ) y las zonas seleccionadas (ANOVA  $F_1 = 166,23$   $p < 0,05$ ) (Fig. 2B). La DHS mostró su mayor actividad para el período de surgencia ( $163,04 \pm 31,52$ ;  $61,46 \pm 10,32$  y  $40,95 \pm 5,26$  µg de TFF g<sup>-1</sup> sedimento 24 h<sup>-1</sup> para la zona I, II y III, respectivamente). Estos valores disminuyeron significativamente en transición ( $54,91 \pm 4,33$ ;  $20,11 \pm 4,96$  y  $21,16 \pm 4,66$  µg de TFF g<sup>-1</sup> sedimento 24 h<sup>-1</sup> para las zonas I, II y III,

respectivamente). Estas dos últimas zonas no variaron significativamente entre sí ( $p < 0,05$ ).

Un patrón diferente de variación se observó para los valores de la RB. Estos variaron significativamente (ANOVA  $F_1 = 31,47$   $p < 0,05$ ) durante las temporadas de surgencia y transición y entre las zonas de estudio (ANOVA  $F_1 = 8,10$   $p < 0,05$ ) (Fig. 3A). La zona I mostró los mayores valores de respiración basal ( $111,08 \pm 9,81$  mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> sedimento 24 h<sup>-1</sup>) para la temporada de surgencia. En contraste, las zonas II y III

mostraron su mayor valor durante la temporada de transición ( $150,79 \pm 23,34 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$

sedimento  $24 \text{ h}^{-1}$  y  $121,71 \pm 6,63 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  sedimento  $24 \text{ h}^{-1}$ ).

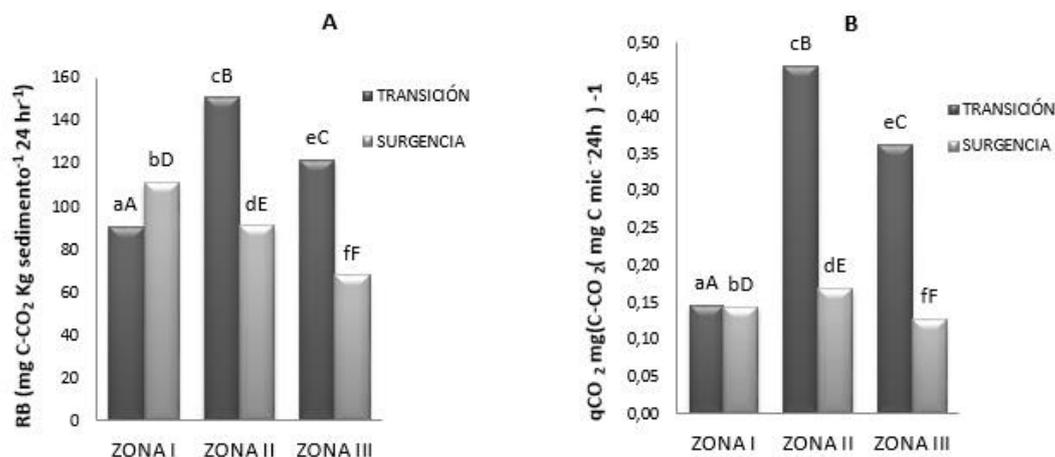


Figura 3. Variación de la respiración basal (A) y el cociente metabólico (B) en los sedimentos superficiales (0-10 cm) de tres zonas de manglares de la Bahía de Pertigalete, Anzoátegui, durante las temporadas de surgencia y transición. Las medias entre temporadas climáticas para una misma zona de manglar, seguida de letras minúsculas iguales, no son significativamente diferentes. Las medias entre zonas del manglar para una misma temporada climática, seguidas de letras mayúsculas iguales, no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los valores del  $q\text{CO}_2$  mostraron diferencias significativas (ANOVA  $F_1 = 236,54$   $p < 0,05$ ) con respecto a la temporada climática y las zonas de estudio (ANOVA  $F_1 = 74,75$   $p < 0,05$ ). En general resultaron mayores para el período de transición (Fig. 3B). En la zona I, el  $q\text{CO}_2$  obtenido fue de  $0,14 \pm 0,01 \text{ mg (C-CO}_2 \text{ (mg Cmic}^{-24 \text{ h}})^{-1})$  durante la surgencia costera y de  $0,15 \pm 0,02 \text{ mg (C-CO}_2 \text{ (mg Cmic}^{-24 \text{ h}})^{-1})$  para el período de transición; mientras que para la zona II estos valores fueron  $0,17 \pm 0,01$  y  $0,47 \pm 0,09 \text{ mg (C-CO}_2 \text{ (mg Cmic}^{-24 \text{ h}})^{-1})$  durante las mismas temporadas. En la zona III los valores de  $q\text{CO}_2$  obtenidos para surgencia y transición fueron  $0,13 \pm 0,02$  y  $0,36 \pm 0,04 \text{ mg (C-CO}_2 \text{ (mg Cmic}^{-24 \text{ h}})^{-1})$ , respectivamente.

Una variación similar al  $\text{Cmic}$  y  $\text{DHS}$  se observó para la  $\text{HDAF}$  (Fig.4). Los valores de la  $\text{HDAF}$  variaron significativamente con la temporada climática (ANOVA  $F_1 = 523,86$   $p < 0,05$ ) y la zona estudiada (ANOVA  $F_1 = 276,91$   $p < 0,05$ ). En la temporada de surgencia se obtuvieron los valores más altos ( $276,36 \pm 17,17$ ;  $101,97 \pm 21,52$  y  $135,35 \pm 15,68 \mu\text{g de fluoresceína g}^{-1}\text{s h}^{-1}$ , para las zonas I, II y III, respectivamente); mientras que los valores obtenidos durante la temporada de transición fueron significativamente más bajos ( $102,82 \pm 13,86$ ;  $54,58 \pm 4,93$  y  $82,24 \pm 8,34 \mu\text{g de fluoresceína g}^{-1}\text{s h}^{-1}$ , respectivamente).

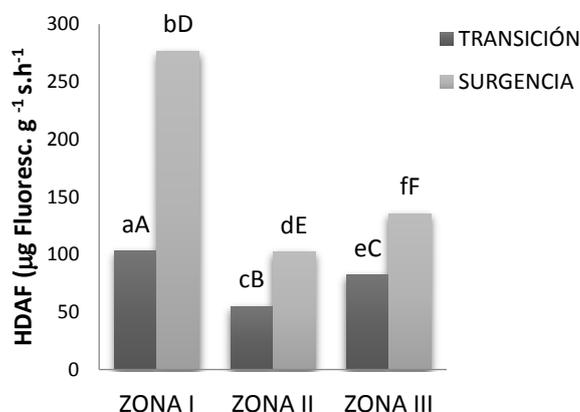


Figura 4. Variación de la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (HDAF) en los sedimentos superficiales (0-10 cm) de tres zonas de manglares de la Bahía de Pertigalete, Anzoátegui, durante las temporadas de surgencia y transición. Las medias entre temporadas climáticas para una misma zona de manglar, seguida de letras minúsculas iguales, no son significativamente diferentes. Las medias entre zonas del manglar para una misma temporada climática, seguidas de letras mayúsculas iguales, no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

En la región nororiental de Venezuela ocurre periódicamente un fenómeno de renovación de las aguas superficiales del mar llamado surgencia costera. Este fenómeno está relacionado con los vientos alisios que soplan en dirección E-NE y que predominan durante la temporada de sequía, la cual comprende los meses de diciembre a abril e inclusive mayo (Okuda *et al.* 1978, Gómez *et al.* 2013). Se ha señalado que a mayor velocidad del viento, mayor será el efecto sobre la superficie oceánica y en consecuencia sobre el afloramiento de nutrientes (Castellanos *et al.* 2002). En el caso específico de la Bahía de Pertigalete, el análisis de los registros climatológicos de 20 años (1968-1988) han mostrado que las mayores velocidades del viento ocurren entre los meses de enero y mayo, con valores de 10,46 a 11,16 km h<sup>-1</sup> y con dirección prevaleciente N-NE alcanzando el máximo de 12,20 km h<sup>-1</sup> en los meses de marzo y abril; mientras que a partir del mes de julio, iniciado ya el período lluvioso, la dirección prevaleciente cambia a E-SE y baja su velocidad a magnitudes de 8,31 km h<sup>-1</sup> entre julio y diciembre (Mata 2010). Otro factor importante que determina la surgencia costera es la temperatura del agua. Se ha establecido que en el Mar Caribe Suroriental una temperatura de la superficie del agua inferior o igual a 24°C es indicio de un evento de surgencia (Okuda *et al.* 1978, Quintero *et al.* 2004). Los datos aportados por [www.seatemperature.org](http://www.seatemperature.org) muestran que en la zona costera de Puerto La Cruz, para el mes de agosto de 2012, considerado dentro del período de transición, la temperatura promedio del agua osciló entre 27 y 28,3°C, mientras que para el mes de marzo de 2013 (considerado dentro del período de surgencia), la temperatura promedio del agua estuvo en el rango de 24,3 a 25,4°C. Todo lo cual confirma la ocurrencia del fenómeno de surgencia en la Bahía de Pertigalete durante el muestreo del mes de marzo del citado año, con el subsecuente impacto sobre los sedimentos como un componente clave de los ecosistemas marinos.

Los sedimentos superficiales estudiados en la zona I de la Bahía de Pertigalete son texturalmente arena limo arcillosos, lo cual sugiere, que el poco oleaje y las corrientes débiles en esta zona, permiten la deposición del material fino (Quintero *et al.* 2006). Este tipo de sedimentos, se encuentran frecuentemente en áreas más protegidas y menos afectadas por corrientes (Astorga y Silva 2005). La fracción arcillosa en conjunción con la limosa promueve la preservación del contenido orgánico presente en ellos, debido al efecto de adsorción que ejercen las cargas negativas asociadas a su estructura.

En general, los mayores valores de pH observados en los sedimentos estudiados (Tabla I) están asociados en parte, a la contribución de los restos de conchas y de coral que se depositan en éstos (Paolini y Sánchez-Arias 2008). La disminución del pH que se observa durante la temporada de transición puede estar determinada a que durante esta temporada ocurre una mayor descarga de los caseríos aledaños; así como de la escorrentía pluvial y la degradación heterotrófica del material orgánico proveniente de los productores primarios como consecuencia de la mayor precipitación que ocurre en ésta época del año.

Los valores de conductividad están dentro del rango de valores señalados por Pannier y Pannier (1989) para manglares de Venezuela y son similares a los informados por Paolini y Sánchez-Arias (2008) para suelos rizosféricos de *Rhizophora mangle*. El mayor valor obtenido en los sedimentos de la zona I tanto en la temporada de surgencia como de transición ( $7,62 \pm 0,44$  y  $7,08 \pm 0,83$  dSm<sup>-1</sup>, respectivamente) puede estar asociado a la naturaleza geoquímica del sedimento y al estado trófico del sistema (Huaylinos *et al.* 2003); así como al tipo de hidrología que prevalezca en ellos como resultado de su ubicación (orillas costeras o ribereñas), altura y amplitud de la marea (Olguín *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2010), a la polaridad del agua y la abundancia de iones disueltos. En el caso específico de la zona I, sus sedimentos permanecen inundados todo el año, en comparación a las zonas II y III las cuales están sujetas a periodos de inundación temporal de acuerdo al nivel de la marea.

Se ha señalado que los sedimentos de manglares presentan una elevada proporción de materia orgánica, lo cual evidencia la presencia de un sistema eficiente para el secuestro de carbono (Olguín *et al.* 2007, Díaz *et al.* 2010, Méndez *et al.* 2011). En los sedimentos marinos, el contenido de materia orgánica varía entre 0,5 y 10%. Sin embargo, en condiciones reductoras del fondo o en cuencas semi cerradas con escasa circulación del agua, se pueden encontrar valores superiores al 10%. (Guiñez *et al.* 2010). La zona I presentó el mayor contenido de carbono durante las temporadas de surgencia y transición ( $138,68 \pm 6,38$  g kg<sup>-1</sup> y  $219 \pm 18,12$  g kg<sup>-1</sup>, respectivamente), estos valores están en el rango de los informados por Sánchez-Arias *et al.* (2010) para sedimentos de la Laguna de la Restinga en bosques de *R. mangle*. Los valores de COT reportados por los autores fueron mayores para el período de transición (201,5 g kg<sup>-1</sup>). El mayor contenido de COT en la zona I en ambos períodos climáticos, puede estar asociado a la condición textural de

esta zona (areno-limo-arcilloso), la cual facilita una mayor preservación del carbono. Aguilera (2005) señaló que los sedimentos de la bahía Oeste del Morro de Puerto Santo presentaron un alto contenido de material orgánico que coincidió con las mayores concentraciones de limos y arcillas. Salazar *et al.* (2003) señalaron para los sedimentos de la laguna La Restinga un alto contenido de materia orgánica reflejado principalmente en la fracción fina. A pesar de que las zonas II y III presentaron un contenido de COT menor, también registraron mayores valores durante la temporada de transición (Tabla 1). En general, el mayor contenido de COT que se presenta en esta temporada climática, puede estar asociado al origen de la materia orgánica. El aporte de las escorrentías y aguas servidas durante el período de transición podrían favorecer esta condición. Ruiz-Allais *et al.* (2012) informaron sobre una alta concentración de materia orgánica en sedimentos de la Bahía de Pertigalete en época de lluvia. La disminución de este factor durante la temporada de surgencia, podría estar asociada a la dinámica microbiana y a los niveles de oxigenación en la columna de agua.

Los valores de Cmic para la temporada de surgencia fueron mayores a los reportados para diferentes tipos de sedimentos de zonas marino-costeras venezolanas (Sánchez-Arias *et al.* 2010, Gómez *et al.* 2013); aunque son congruentes con los señalados por González-Terreros *et al.* (2006) para sedimentos de manglares en México. Mientras que los obtenidos durante la temporada de transición (320,84 y 338,45 mg Cmic kg<sup>-1</sup> sedimento para las zonas II y III, respectivamente), están en el rango de aquellos informados por Sánchez-Arias *et al.* 2010 para zonas salinas e hipersalina de la Laguna de la Restinga.

Las diferencias de valores del Cmic en las dos temporadas climáticas confirma los reportes de Pezeshki (2001) y Poret-Peterson *et al.* (2007) quienes han señalado que en ambientes costeros y de humedales, los cambios en las variaciones ambientales tienen efecto sobre la variación de la biomasa microbiana. Los elevados valores obtenidos para la temporada de surgencia en las tres zonas de estudio son una respuesta al mayor aporte de nutrientes, acarreados por este fenómeno que permite el afloramiento de los mismos desde el fondo marino. Este fenómeno está íntimamente relacionado al aumento de la actividad planctónica y a la mayor productividad primaria que generalmente ocurre durante este período en el oriente Venezolano (González Terreros *et al.* 2006), lo cual promueve el desarrollo de bacterias heterotróficas en los sedimentos marino-costeros. En general, las

diferencias observada entre las zonas de muestreo puede deberse a la variación espacial entre las localidades (Pezeshki 2001, Poret-Peterson *et al.* 2007) y a los efectos de la perturbación antrópica (González-Terreros *et al.* 2006) que en este caso son más marcados en las zonas II y III. En la zona I, los mayores valores de biomasa microbiana, están determinados por el contenido de COT y a la naturaleza textural de los sedimentos de esta zona (areno-limo-arcillosa). Se ha indicado, que los sedimentos con predominios de granos finos contienen un mayor contenido de materia orgánica y de biomasa microbiana en comparación a los sedimentos arenosos (Meyer-Reil 1994).

Los valores para la actividad de la DHS están comprendidos en el rango de los reportados por Gómez *et al.* (2013) para sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco (6,67 ± 1,29 y 577,81 µg TFF g<sup>-1</sup> suelo·24 h) y por Segnini *et al.* (2015) para sedimentos superficiales del eje Chacopata-Bocaripo (7,79 y 228,70 µg TFF g<sup>-1</sup> suelo·24 h). No obstante, fueron menores a los informados por Paolini y Sánchez-Arias (2008) y Sánchez-Arias *et al.* (2010) en estudios de suelos de bosques de *Rhizophora mangle* (361,6 y 1255,8 µg TFF g<sup>-1</sup> suelo·24 h).

Al igual que el Cmic, los valores de la actividad de la DHS fueron mayores en la temporada de surgencia en las tres zonas estudiadas (Fig. 2B), lo cual es un reflejo de una mayor actividad oxidativa, y por ende, una mayor actividad microbiana que se realiza en esa temporada climática, producto del aporte de carbono fácilmente asimilable proveniente del afloramiento de aguas profundas ricas en nutrientes (Okuda *et al.* 1978). Pamatmat y Bhagwat (1973) informaron que cuando una cantidad de materia orgánica fácilmente degradable está presente, ocurre un rápido incremento de la actividad de la deshidrogenasa. Los bajos valores obtenidos para la DHS en las zonas II y III, con respecto a la zona I, podrían estar asociados a la calidad de los sedimentos de estas zonas, ya que éstos están sometidos a un elevado impacto antrópico provenientes de la actividad petrolera y a la perturbación causada por las embarcaciones que navegan en el área. Se ha señalado, que la actividad de la deshidrogenasa puede ser inhibida por cepas bacterianas de ambientes marinos afectados por efluentes derivados del petróleo (Nwyanwu y Abu 2010). Ruiz-Allais *et al.* (2012) y Marcano (2013) informaron sobre valores bajos de riqueza y diversidad en comunidades coralinas costeras y fitoplancton en la Bahía de Pertigalete. Es probable que la presencia de estos contaminantes afecten el estado metabólico de las poblaciones microbianas presentes en estos sedimentos.

Paolini y Sánchez-Arias (2008) reportaron que la actividad de la DHS parece ser más influenciada por el estado metabólico de la población microbiana que por el sustrato presente. Otro factor a considerar, es que los sedimentos de la zona I permanecen constantemente cubiertos por agua, lo cual favorece una mayor actividad de microorganismos anaeróbicos en dicha zona (Paolini y Sánchez-Arias 2008); mientras que las zonas II y III, están sujetas al efecto de la marea, quedando en oportunidades sus sedimentos al descubierto.

Los valores promedios de la RB obtenidos para las tres zonas son notablemente superiores a los reportados por Sánchez-Arias *et al.* (2010) para suelos en bosques de mangle y contrastan con lo informado por Olguín *et al.* (2007), quienes indicaron que una de las características del suelo de manglar es una baja tasa de respiración, lo cual está asociado al bajo contenido de O<sub>2</sub> y la presencia predominante de organismos anaeróbicos que utilizan específicamente nitratos, sulfatos y metano como aceptores de electrones (Pamatmat y Bhagwat 1973, Relexans 1996). El mayor valor de respiración basal (111,08 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> sedimento) fue obtenido en la zona I durante la temporada de surgencia, lo cual puede estar relacionado a la mayor disponibilidad de nutrientes como consecuencia de la surgencia costera que ocurre en ésta época de año; mientras que los mayores valores de respiración basal observados en las zonas II y III para la temporada de transición (Fig. 3A) sugieren que las descargas fluviales, escorrentías y las aguas residuales procedentes de los caseríos cercanos promueven la actividad respiratoria. Conducta que puede ser una respuesta ante la presencia de un mejor sustrato o ante una condición de estrés. Es importante señalar, que el bosque de manglar de la zona II está cercano al embarcadero La Baritina, siendo éste un importante punto de zarpe de embarcaciones hacia las islas del Parque Nacional Mochima, por lo que el ecosistema está bajo la acción de una notoria contaminación por combustibles procedente de las embarcaciones. Además, en esta zona existe un continuo aporte de materia orgánica proveniente del caserío ubicado en la orilla de playa, lo cual podría incrementarse a través de la escorrentía producto de las lluvias que ocurren durante la época de transición, todo lo cual promueve una condición de estrés en esa zona. Sánchez-Arias *et al.* (2010) señalaron un descenso de los valores de respiración basal durante la época seca en suelos de manglares de la Isla de Margarita.

Los más bajos valores del qCO<sub>2</sub> obtenidos durante el período de surgencia para las tres zonas sugieren que para éste período climático, la

biomasa microbiana es más eficiente en utilizar el carbono disponible para la biosíntesis celular, más que para el mantenimiento de la respiración, lo cual se ve reflejado en los mayores valores del Cmic obtenidos para ésta época climática. Los valores más altos obtenidos para las zonas II y III durante el período de transición, son un reflejo de la condición de estrés (Dilly 2001) en la cual se encuentran las poblaciones microbianas presentes en estas zonas, en especial en la zona II por su cercanía al área de zarpe y tránsito de embarcaciones.

Aunque los valores para la HDAF son más bajos que los reportados por Paolini y Sánchez-Arias (2008) y Sánchez-Arias *et al.* (2010) en estudios de sedimentos de *R. mangle*, y por Gómez *et al.* (2013) para sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, éstos se encuentran en el rango de los valores informados por Segnini *et al.* (2015) para el eje Chacopata-Bocaripo. La HDAF presentó un comportamiento similar al de la actividad de la DHS, es decir su actividad fue mayor en surgencia, lo que es indicativo de una mayor diversidad y cantidad de nutrientes durante esta temporada climática, lo cual promueve la liberación de una mayor diversidad de enzimas extracelulares provenientes de la flora microbiana presente en los sedimentos, las cuales son capaces de degradar el diacetato de fluoresceína (DAF), reflejando así la magnitud de la actividad heterotrófica. Las diferencias observadas entre las zonas de estudio indican que una mayor actividad heterotrófica está presente en la zona I, lo cual se corresponde con la mayor biomasa microbiana presente en esta zona. Estas diferencias también podrían estar asociadas a la heterogeneidad espacial en la distribución de la materia orgánica, los nutrientes remineralizados, y la composición de las poblaciones bacterianas presentes en cada zona de estudio y a su diversidad fisiológica, las cuales en última instancia determinan la cantidad y diversidad de enzimas extracelulares liberadas hacia los sedimentos (Meyer-Reil y Koster 1992).

## CONCLUSIONES

El bosque de manglar es un ecosistema muy frágil y como tal, susceptible a los cambios ambientales ocasionados por la actividad natural y antrópica. Los resultados obtenidos en éste estudio nos permiten sugerir que los parámetros microbianos y bioquímicos estudiados son sensibles a las actividades citadas y por lo tanto, proveen información sobre el grado de afectación del ecosistema. La biomasa microbiana (Cmic), la respiración basal (RB), la actividad de la enzima deshidrogenasa (DHS) y la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (HDAF) resultaron eficientes

indicadores de cambios en la actividad microbiana de los sedimentos superficiales de la Bahía de Pertigalete por efecto de las temporadas climáticas (surgencia y transición) y de la actividad antrópogénica. La temporada de surgencia costera, favorece en general, la actividad heterotrófica en los sedimentos estudiados. Sin embargo, su efecto se ve perturbado por la constante e intensa afectación antrópica a la que están sometidas zonas de la Bahía.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS A, DUNCAN H. 2001. Development of sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biol. Biochem.* 33(7-8):943-951.
- AGUILERA D. 2005. Evaluación geoquímica de los sedimentos superficiales de las bahías este y oeste del Morro de Puerto Santo, estado Sucre, Venezuela. Cumaná: Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela [Disertación Maestría], pp. 127.
- ALEF K, NANNIPIERI P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London, England, pp. 568.
- ANDERSON J, INGRAM J. 1993. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods* CAB, Wallingford, UK, pp. 171.
- ANDERSON JP. 1982. Soil respiration. *In: MILLER AL, KEENY DR. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological properties*. Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 837-871.
- ANDERSON JP, DOMSCH K. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 10(3):215-221.
- ASTORGA M, SILVA N. 2005. Textura, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total, en sedimentos marinos superficiales de la X región. Libro de Informes Preliminares, Taller sobre los resultados del Crucero Cimar 10, Fiordos. Chile, pp. 203-216.
- BRELAND TA, ELTUM R. 1999. Soil microbial biomass and mineralization of carbon and nitrogen in ecological, integrated and conventional forage and arable cropping system. *Biol. Fertil. Soils.* 30(3):193-201.
- CASIDA LE JR, KLEIN DA, SANTORO T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98(6):371-376.
- CASTELLANOS P, RAMÓN V, MULLER-KARGER F. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del Mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Mem. Fund. La Salle Cienc. Nat.* 154:55-76.
- CERÓN LE, RAMÍREZ E. 2011. Actividad microbiana en suelos y sedimentos en el sistema Córdoba Juan Amarillo, Bogotá D.C. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 35(136):349-361.
- DEL MÓNACO C, GIMÉNEZ E, NARCISO S, ALFONSO F, BUSTILLOS F. 2010. Caracterización de los bosques de manglar y las praderas de *Thalassia testudinum* de la Isla La Tortuga y cayos adyacentes, Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol.* 44(3):297-316.
- DÍAZ C, CASTRO I, MANJARREZ G. 2010. Mangles de Cartagena de Indias: "Patrimonio biológico y fuente de biodiversidad". Cartagena, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia, pp. 72.
- DILLY O. 2001. Microbial respiratory quotient during basal metabolism and after glucose amendment in soil and litter. *Soil Biol. Biochem.* 33(1):117-127.
- GÓMEZ I, MÁRQUEZ B, SEGNINI MI, VILLAFRANCA S. 2013. La actividad microbiana en sedimentos superficiales de dos localidades del Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela, durante los períodos de surgencia y transición. *Ciencia y Mar.* 17(49):21-37.
- GONZÁLEZ-TERREROS E, SÁNCHEZ-GARCÍA C, TRUJILLO-TAPIA N, AMADOR-HERNÁNDEZ J, DENDOOVEN L, RAMÍREZ-FUENTES E. 2006. Determinación de biomasa microbiana en suelos de manglar. *In: Memorias in extenso V Congreso Internacional y XI Nacional de Ciencias Ambientales Oaxtepec, Morelos, México, Univ. Auton. Estado de Morelos, México.*
- GOUTAM K, RAMANATHAN, AI. 2013. Microbial Diversity in the Surface Sediments and its Interaction with Nutrients of Mangroves of Gulf of Kachchh, Gujarat, India. *Int. Res. J. Environ. Sci.* 2(1): 25-30.

- GUIÑEZ M, VALDÉS J, SIFFEDINE A. 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. Am. J. Aquat. Res.* 38(2):242-253.
- HOLGUÍN G, BASHAN Y. 2007. La importancia de los manglares y su microbiología para el sostenimiento de las pesquerías costeras. *In: FERRERA-CERRATO R, ALARCON A. (Eds.). Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo.* Editorial Trillas, Ciudad de México, México, pp. 239-253.
- HUAYLINOS W, QUISPITUPAC E, MARTÍNEZ N. 2003. Variabilidad fisicoquímica y fisiográfica del ecosistema de Manglar San Pedro-Vice (Piura-Perú). *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geogr.* 6(11):7-19.
- INAMEH (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA). 2012. Disponible en línea en: <http://www.inameh.gob.ve/mensual/index.php>. (Acceso 15 de mayo 2012)
- JACKSON ML. 1960. *Soil chemical analysis.* Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, pp. 38-56.
- MAKOI J, NDAKIDEMI P. 2008. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. *African J. Biotech.* 7(3):181-191.
- MARCANO L. 2013. Variación del fitoplancton en la Bahía de Pertigalete, sector La Baritina, municipio Guanta, estado Anzoátegui, durante el período septiembre- diciembre de 2012. Barcelona: Universidad de Oriente, Unidad de Estudios Básicos, Departamento de Ciencias [Ascenso Profesor Asistente], pp. 52.
- MARTELO M. 2003. La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología, Dirección General de Cuencas Hidrográficas MARN. Disponible en línea en: [http://www.inameh.gob.ve/documentos/precipitacion\\_venezuela\\_relacion\\_sistema%20climatico.pdf](http://www.inameh.gob.ve/documentos/precipitacion_venezuela_relacion_sistema%20climatico.pdf). (Acceso 18 de octubre 2012).
- MATA A. 2010. Estudio geotécnico de la zona en deslizamiento de la cantera Cantil Sur de la Planta Pertigalete, Km 6 carretera nacional Guanta-Cumaná, estado Anzoátegui. Ciudad Bolívar: Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Departamento de Geotecnia [Disertación Grado Ingeniero Geólogo], pp. 150.
- MÉNDEZ A, OTERO X, MACÍAS F, MELÉNDEZ W. 2011. Formas de carbono y actividad microbiana en suelos de manglar de Venezuela. Disponible en línea en: <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/pps.htm>. (Acceso 05 de mayo 2012).
- MEYER-REIL LA. 1994. Microbial life in sedimentary biofilms the challenge to microbial ecologists. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 112:303-311.
- MEYER-REIL LA, KOSTER M. 1992. Microbial life in pelagic sediments: the impact of environmental parameters on enzymatic degradation of organic material. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 81:65-72.
- NANNIPIERI P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. *In: PANKHURST CE, DOUBE BM, GUPTA VVSR, GRACE PR. (Eds.). Soil biota: management sustainable farming systems.* CSIRO, Melbourne, Australian, pp. 238-244.
- NANNIPIERI P, GRECO S, CECCANTI B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. *In: BOLLAG J-M, STOTZKY G (Eds.) Soil Biochemistry, Vol 7, Marcel Dekker, New York, USA pp. 293-355.*
- NWANYANWU CE, ABU GE. 2010. *In vitro* effects of petroleum refinery wastewater on dehydrogenase activity in marine bacterial strains. *Ambi-Agua, Taubaté.* 5(2):21-29.
- OCHINA (OFICINA DE COORDINADORA DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN). 2012. Disponible en línea en: <http://www.ochina.gov.ve/costas/descripciones/oriental.htm> (Acceso 21 de junio 2012).
- OKUDA T. 1982. Rate of water renewal and phosphate input in the Gulf of Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 21(1-2):3-12.
- OKUDA T, BENÍTEZ-ÁLVAREZ J, BONILLA J, CEDEÑO C. 1978. Características hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 17(1-2):69-88.

- OLGUÍN E, HERNÁNDEZ M, SÁNCHEZ-GALVÁ G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23(3):139-154.
- PAMATMAT MM, BHAGWAT AM. 1973. Anaerobic metabolism in Lake Washington sediments. *Limnol. Oceanogr.* 18(4):611-627.
- PANNIER F, PANNIER R. 1989. Los Manglares de Venezuela. Serie Cuadernos Lagoven, Lagoven SA, Caracas, Venezuela, pp. 66.
- PAOLINI J, SÁNCHEZ-ARIAS L. 2008. Comparative Biochemical study of the rhizosphere of *Rhizophora mangle* and its associated species *Cyperus* sp. in the Ciénaga de Soledad (Colombia). In: LIETH H, GARCÍA-SUCRE M, HERZOG B (Eds.) *Mangroves and halophytes: Restoration and Utilisation* Dordrecht Springer Science + Business Media B.V., pp. 79-84.
- PEZESHKI RL. 2001 Wetland plant responses to soil flooding. *Environ. Exper. Bot.* 46(3):299-312.
- PORET-PETERSON AT, ENGELHAUPT B, GULLEDGE J. 2007. Soil microbial biomass along a hydrolytic gradient in a subsiding coastal bottomland forest: Implications for future subsidence and sea-level rise. *Soil Biol. Biochem.* 39(2):641-645.
- QUINTERO A, BONILLA J, SERRANO L, AMARO M, RODRÍGUEZ B, TEREJOVA G, FIGUEROA Y. 2004. Características ambientales de la Bahía de Mochima y adyacencias de la cuenca de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 43(1-2):49-64.
- QUINTERO A, CARABALLO L, BONILLA J, TEREJOVA G, RIVADULA R. 2006. Sedimentos marino-costeros del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 45(2):127-139.
- RELEXANS JC. 1996. Measurement of the respiratory electron transport system (ETS) activity in marine sediments: state-of-the-art and interpretation. I. Methodology and review of literature data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 136:277-287.
- RUIZ-ALLAIS J, AMARO M, BARRIOS J. 2012. Evaluación biológica de las comunidades coralino costeras de la Bahía de Conoma y Pertigalete Edo. Anzoátegui, Venezuela. Fundación Costa de Venezuela. Disponible en línea en: <http://www.costadevenezuela.org/evaluacion%20pertigalete.pdf> (Acceso: 16 de diciembre 2014).
- SALAZAR J, ROSAS J, RODRÍGUEZ, J. 2003. Condiciones sedimentológicas de la laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Interciencia.* 28(1):44-50.
- SÁNCHEZ-ARIAS L, PAOLINI J, RODRÍGUEZ J. 2010. Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) en Isla de Margarita, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 58(2):547-564.
- ŠANTRŮČKOVÁ H, STRAŠKRABA M. 1991. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 23(6):525-532.
- SAVIOZZI A, LEVI-MINZI R, CARDELLI R, RIFFALDI R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant Soil.* 233(2):251-259.
- SEGNINI DE BM, GÓMEZ I, BRITO L, ACOSTA V, TROCCOLI L. 2015. Microbial activity in surface sediments of Chacopata-Bocaripo lagoon axis, Sucre State, Venezuela. *Mar. Pollut. Bull.* 91(2):483-490.
- VISAUTA BV. 1997. Análisis estadístico con SPSS para Windows: Estadística Básica. Vol. I. McGraw Hill, Madrid, España, pp. 297.