



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y ACTIVIDAD MICROBIANA DE SEDIMENTOS
SUPERFICIALES EN LA ZONA DE MANGLAR DE LA ENSENADA DE
TURPIALITO, GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA

(Modalidad: Tesis de grado)

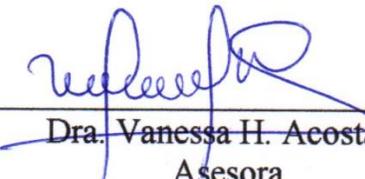
LEDERLE JOSÉ HERNÁNDEZ OTERO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

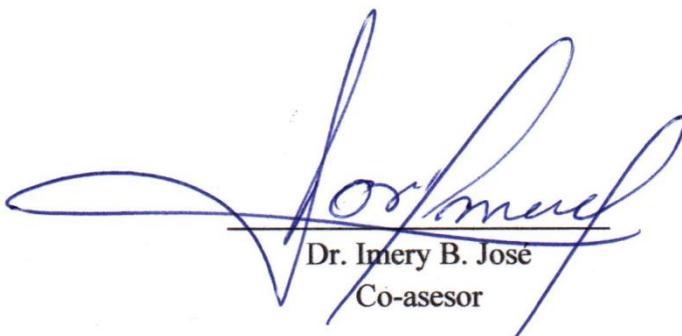
CUMANÁ, 2018

ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y ACTIVIDAD MICROBIANA DE SEDIMENTOS
SUPERFICIALES EN LA ZONA DE MANGLAR DE LA ENSENADA DE
TURPIALITO, GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA

APROBADO POR:



Dra. Vanessa H. Acosta B.
Asesora



Dr. Imery B. José
Co-asesor



Dra. Ivis Fermín
Jurado principal



M.Phil. Isabel Mimbela
Jurado principal

DEDICATORIA

A Dios primeramente, y a la Virgen por siempre guiar mis pasos.

A mis padres Humberto Hernández y Lourdes Otero por ser los responsables de este logro, y a mi hermano Geuker, son ustedes el motor en cada paso que doy, y la razón de superación diaria, este logro es de ustedes, los amo.

A mis asesores, la profesora Vanessa Acosta, por ser mi guía en el área de investigación, motivadora en momentos de desidia y su infinita paciencia, al profesor José Imery por su confianza. Aspiro cultivar mis conocimientos y ser algún día, aunque sea un fragmento de los excelentes profesionales que son, sus experticias, pasión y respeto por la ciencia, y el tesoro humano que poseen, que han cultivado semillas que harán en el mañana un país y mundo mejor, para ustedes mi respeto y admiración.

A nuestra Alma Mater la Universidad de Oriente, que partiendo de su premisa “del pueblo venimos y hacia el pueblo vamos” sigue brindando a nuestra tierra en tiempos austeros, bases firmes para el mantenimiento y construcción de la sociedad que merecemos.

A todo el que pueda servirle la información que se reporta en este trabajo, para ustedes, esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Millones de gracias a mi familia, especialmente mi mamá Lourdes, mi papá Humberto y mi hermano Geuker, por alentarme en cada momento para culminar esta meta, y por los sacrificios vividos para que yo pudiese estudiar lejos de casa y poder culminar esta investigación, son ustedes el claro ejemplo de amor sincero.

A los Departamentos de Biología y Oceanografía por brindarme la oportunidad de utilizar sus espacios, materiales y conocimientos para la realización de este trabajo. De igual manera, al consejo de investigación de la Universidad de Oriente, por el financiamiento parcial del trabajo, bajo el código N° CI-02-030603-1970-17.

A la profesora Vanessa Acosta, Adriano y Eduardo Matheus, por ser de gran ayuda en la búsqueda y traslado de las muestras, mil gracias.

Infinitas gracias a todas las personas que me ayudaron de alguna manera en la práctica en la realización de este trabajo, primero a los Lcdos. Jaime Frontado por su apoyo durante el trabajo de campo y de laboratorio, Yennifer Mata por disponerse desde el primer día a ayudarme en todo lo que pudiese (gracias Chikis) y Patricia Romero por sus consejos a la hora de coleccionar y analizar las muestras.

A los profesores Rosa Martínez, Deudedith Hernández, Edimir Parra y Francisco Pinto por su apoyo en los análisis de sus áreas, sin ustedes, esto no hubiese sido posible.

En el trabajo de laboratorio, ustedes me brindaron una mano de apoyo y más de una palabra de aliento: Manuel Rivas, Orangel Acosta, Giovanna La Manna, Rauxelis Rodríguez, Luis Gutiérrez, Erickxander Jiménez, Rafael Mendoza, Zuleynys Peñaloza, Nohelys Fernández, Rismainy Millán y Amarilis Andrade, mil gracias. Y la documentación fotográfica de este trabajo a Ambar Vallera, quien me acompañó en cada momento. Asimismo, a Wendy Ozols, gracias por permitir compartir tu sabiduría y tus lecciones, eres y serás como estudiante y persona un modelo a seguir.

A la profesora Elsa Colón por incluir el pensamiento científico en mí, y despertar las ganas de hacer ciencia, gracias por tanto, “eres una película”.

Agradecido con los profesores que en cada cátedra, impartieron en mí, bases científicas que hoy permitieron lograr este trabajo, especialmente a los profesores: Vanessa Acosta, José Imery, José Veliz, Fanny Medina, Rosanna Valerio, Víctor Franco, María A. Balza, Jorge Muñoz, Jesús Bello, Saraí Acuña, Patricia Velásquez, Roraysi Cortéz, Elena Marcano, Yelitza Mago, Roger Velásquez, Sinatra K. Salazar e Isabel Mimbela.

A todos mis compañeros y amigos que me permitieron compartir el trayecto en este camino: ustedes son como el faro que ilumina en altamar, caminos muchas veces inciertos, son la familia que Dios me colocó en el camino, un gustazo compartirlo con ustedes.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTOS | II |
| ÍNDICE | III |
| LISTA DE TABLAS | IV |
| LISTA DE FIGURAS | V |
| LISTA DE ABREVIATURAS | VII |
| RESUMEN | VIII |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| METODOLOGÍA | 6 |
| Área de estudio | 6 |
| Metodología de campo | 8 |
| Parámetros ambientales | 8 |
| Metodología de laboratorio | 9 |
| Preparación de las muestras | 9 |
| Granulometría y textura de los sedimentos | 9 |
| Determinación del carbono orgánico total y materia orgánica total (COT y MOT) | 11 |
| Determinación del contenido de nitrógeno y fósforo total (NT y PT) | 12 |
| Actividad microbiana | 13 |
| Cociente metabólico (qCO_2) | 14 |
| Análisis estadísticos | 15 |
| RESULTADOS | 16 |
| Variables ambientales | 16 |
| Análisis físico | 18 |
| Granulometría y textura | 18 |
| Análisis químico | 21 |
| Carbono orgánico total (COT) | 21 |
| Materia orgánica total (MOT) | 21 |
| Nitrógeno total (NT) | 22 |
| Fósforo total (PT) | 23 |
| Actividad microbiana | 26 |
| Biomasa microbiana (C_{mic}) | 26 |
| Respiración basal (RB) | 26 |
| Cociente metabólico (qCO_2) | 26 |
| Análisis de Correlación | 28 |
| DISCUSIÓN | 33 |
| CONCLUSIONES | 48 |
| RECOMENDACIONES | 49 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 50 |
| HOJA DE METADATOS | 62 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Promedios y anomalías porcentuales de precipitación para el estado Sucre, entre valores medios reportados en el Boletín Climatológico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) entre las ciudades de Cumaná y Güiria durante los meses de muestreos en el año 2016..... | 8 |
| Tabla 2. Distribución de las diferentes fracciones texturales en los sedimentos superficiales de <i>Rhizophora mangle</i> de la ensenada de Turpialito, durante el período de sequía y el período de lluvia. | 20 |
| Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos de <i>Rhizophora mangle</i> de la ensenada de Turpialito durante el período de sequía en el mes de julio de 2016. | 30 |
| Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos de <i>Rhizophora mangle</i> de la ensenada de Turpialito durante el período de lluvia en el mes de diciembre de 2016..... | 30 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa de la zona de estudio, mostrando las estaciones de muestreos (1, 2, 3, 4 y 5) en la Ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela. 6
- Figura 2. Características distintivas observables en las estaciones de muestreos durante el período de sequía (1a, 2a, 3a, 4a y 5a) y período de lluvia (1b, 2b, 3b, 4b y 5b) en la Ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela. 7
- Figura 3. Triángulo de Sheppard usado para la clasificación de los sedimentos marinos en sus diferentes texturas (Sheppard, 1994). 10
- Figura 4. Titulación realizada para la determinación de la biomasa microbiana por respiración inducida por sustrato (RIS). 13
- Figura 5. A. Variación de la temperatura (°C). B. Salinidad (UPS) y C. pH intersticial entre período ambiental (lluvia y sequía) de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares. 17
- Figura 6. Variación espacial de la temperatura (°C), salinidad (UPS) y pH intersticial entre estaciones, durante el período sequía y el período de lluvia en los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares..... 18
- Figura 7. Composición porcentual de los componentes del sedimento (% arena, limo y arcilla) de *Rhizophora mangle* en la ensenada de Turpialito, durante el período de sequía (A) y durante el período de lluvia (B) en los meses de julio y diciembre de 2016. 19
- Figura 8. Distribución textural de los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito en dos períodos ambientales (sequía y lluvia) en los meses de julio y diciembre de 2016. 20
- Figura 9. A. Variación temporal (lluvia y sequía) del contenido de carbono orgánico total (COT), B. Materia orgánica total (MOT), C. Nitrógeno total (NT) y D. Fósforo total (PT), en sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares..... 24
- Figura 10. Variación espacial (entre estaciones) del contenido de carbono orgánico total (COT), materia orgánica total (MOT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito, durante el período de sequía y el período de lluvia, en los meses de julio y diciembre de 2016.

Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares..... 25

Figura 11. A. Variación de la biomasa microbiana (Cmic), B. Respiración basal (RB), y C. Cociente metabólico (qCO_2) entre período ambiental (lluvia y sequía) en los meses de julio y diciembre de 2016, en los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares..... 27

Figura 12, Variación espacial (entre estaciones) de la biomasa microbiana (Cmic), respiración basal (RB) y cociente metabólico (qCO_2) en sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito durante el período de sequía y el período de lluvia en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares..... 28

LISTA DE ABREVIATURAS

- Cmic= Biomasa microbiana.
COT= Carbono orgánico total.
H= Hora.
MOT= Materia orgánica total.
Min= Minuto.
NT= Nitrógeno total.
PT= Fósforo total.
RPM= revoluciones por minuto.
S= Segundo.
qCO₂= Cociente metabólico.
RB= Respiración basal.
UPS= Unidades prácticas de salinidad.

RESUMEN

Se realizó un análisis geoquímico en sedimentos superficiales de los manglares de la ensenada de Turpialito en dos períodos ambientales: sequía y lluvia (julio y diciembre de 2016), con la finalidad de relacionar espacio-temporalmente la actividad microbiana con la eficiencia en la renovación de nutrientes en el sedimento, y su influencia sobre el ecosistema marino costero. Para determinar la granulometría y textura de los sedimentos, contenidos de materia orgánica total (MOT), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT), así como evaluar indicadores microbianos: biomasa microbiana (Cmic), respiración aeróbica de la biomasa microbiana (RB) y cociente metabólico (qCO_2), se establecieron cinco estaciones paralelas a la zona del manglar rojo que bordea la ensenada (2 m aproximadamente de distancia del mar). En cada estación se obtuvieron muestras de sedimentos superficiales (2 réplicas); asimismo, se tomaron registros de los parámetros ambientales (temperatura, salinidad y pH intersticial). El sedimento se caracterizó granulométricamente por ser arenoso en ambos períodos (sequía= 80%, lluvia= 78%), con un incremento del 12% de texturas limosas durante las lluvias, principalmente en las estaciones 1 y 2, debido al ingreso de material orgánico exógeno y a la hidrodinámica de la ensenada. Se obtuvieron valores promedios no significativos entre período ambiental en el contenido de MOT (sequía= 4,47%, lluvia= 4,23%), COT (sequía= 2,51 mg Kg⁻¹, lluvia= 2,45 mg Kg⁻¹), NT (sequía= 396,73 mg kg⁻¹, lluvia= 286,48 mg kg⁻¹) y PT (sequía= 102,61 mg Kg⁻¹, lluvia= 91,29 mg Kg⁻¹), siguiendo una distribución espacial en ambos períodos con asociación hacia las partículas areno-limosas del sedimento en las estaciones 1 y 2, proveniente posiblemente de las hojarascas del manglar. Los indicadores microbiológicos mostraron que, la sequía promueve una mayor actividad microbiana (315,87 mg Cmic Kg⁻¹ de sedimento), RB (10,03 mg C-CO₂ kg⁻¹ 24h⁻¹) y qCO_2 (0,033 mg C-CO₂ (mg Cmic -24h)⁻¹), obteniendo los valores más bajos durante la lluvia (217,28 mg Cmic Kg⁻¹), RB (4,24 mg C-CO₂ kg⁻¹ 24h⁻¹) y qCO_2 (0,021 mg (C-CO₂ (mg Cmic -24h)⁻¹). En cada período ambiental evaluado, el Cmic tendió a ser superior en las estaciones 1, 2 y 3, con mayores valores de COT, evidenciando el contenido lábil del mismo como modulador de la actividad microbiológica, mientras que la RB siguió el patrón del porcentaje de arenas, predominando en las estaciones 3, 4 y 5 en ambos períodos. Por su parte, el qCO_2 a pesar de haber sido superior en sequía, no supone un estrés en la microbiota del sedimento. Con respecto a los parámetros ambientales, fueron modulados por el período ambiental, influyendo en la actividad microbiana. En los manglares de Turpialito existe una microbiota halófila responsable de la renovación constante de nutrientes en sus sedimentos, asociado a los detritos orgánicos, influyendo en la masa de agua de la ensenada, independientemente del periodo ambiental.

Palabras clave: *Rhizophora mangle*, microbiología, nutrientes, sequía, lluvia.

INTRODUCCIÓN

Los manglares, son formaciones vegetales que habitan en costas tropicales y subtropicales del mundo localizadas entre los 25 grados de latitud N y S; sin embargo, aproximadamente el 1,4% de los bosques de manglares globales se encuentran fuera de este rango latitudinal, ya que en los últimos años se encuentran creciendo en condiciones que pueden ser ampliamente caracterizadas como templadas (Morrisey y cols., 2010).

Los manglares se encuentran ubicados en la interfase entre comunidades terrestres y marinas (Yáñez y cols., 1998), abarcando distintos tipos de sedimentos, hábitats biológicos y procesos de transporte y deposición (Márquez y cols., 2007); se distribuyen en América desde México hasta Perú en la zona del Océano Pacífico, y desde Florida (EE.UU.) hasta Brasil, pasando por el Caribe insular en el Océano Atlántico (Yáñez y Lara, 1999). En Venezuela, se encuentran distribuidos de manera irregular, principalmente en zonas costeras (FUDENA, 2004), ocupando entre 200 000 y 300 000 hectáreas, cuyas especies representativas son: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, *Rhizophora racemosa* y *Rhizophora harrisonii* (Lacerda, 1993).

Ecológicamente llevan a cabo diversas funciones (Ewel y cols., 1998) como protección costera frente a la erosión, constituyen un hábitat para una alta diversidad de especies de algas, invertebrados y alevines de peces que además poseen gran importancia comercial (Mumby y cols., 2004). De hecho, los ecosistemas costeros con presencia de mangle rojo (*R. mangle*) se encuentran entre los sistemas ecológicos más productivos del mundo (Lacerda, 2001; Alongi, 2009).

Los conocimientos que permiten identificar zonas de depósito, tendencias de flujo y energía del medio, se tienen gracias a estudios sedimentológicos (Bernal y Betancur, 1996; Fuentes, 2006; Calva y Torres, 2011). Según criterios granulométricos, los sedimentos de manglares se caracterizan por presentar predominancia de arenas (gruesas) y arcillas (finas), que incluyen además, texturas limosas como transición a

éstos dos tipos granulométricos (Rosas y López, 2014). En estos ambientes, se realizan los ciclos de los nutrientes gracias a los microorganismos por efecto de la mineralización (Nixon, 1981), asociada a la degradación de la materia orgánica, proveniente principalmente de la biomasa vegetal del manglar (Zaldívar y cols., 2004; Sánchez y cols., 2010).

En los ecosistemas marino-costeros como los manglares, la composición de la materia orgánica varía de acuerdo a la morfología sistema, dependiendo en gran medida de distintos factores, tales como la circulación de agua, tasas de sedimentación y composición granulométrica del sedimento (Silva, 2005; Palma y cols., 2015). Asimismo, los manglares son receptores de grandes cargas de desechos, permitiendo a sus sedimentos ser utilizados como indicadores en el monitoreo de contaminantes o de estudios biogeoquímicos en general (Gontikaki y cols., 2013; Hernández, 2013), siendo además considerados, como sumideros de carbono y sustancias de origen orgánico de gran importancia económica (Hernández, 2010, Méndez y cols., 2011; Marinho y cols., 2012; Chuang y cols., 2016).

Las reacciones biogeoquímicas que se realizan en los sedimentos de los manglares, permiten que se lleven a cabo ciclos que conllevan la mineralización de distintos elementos como el nitrógeno, azufre, fósforo, carbono orgánico y otros compuestos importantes para el desarrollo y mantenimiento de estos ecosistemas (Alexander, 1980), alterando la composición del sedimento. Esto determina la distribución de microorganismos y macrofauna en los mismos, especialmente de organismos detritívoros por acumulación de materia orgánica (Rex y cols., 2006), los cuales constituyen una fuente de elementos biogénicos, particularmente de nitrógeno y fósforo, restituyéndolos al ecosistema marino adyacente, que permiten reintegrar estos elementos nutritivos necesarios en la productividad primaria (Valdés y Real, 1997).

Los estudios biogeoquímicos, son ampliamente realizados alrededor del mundo, particularmente en manglares, donde se pueden mencionar los trabajos de Arumugam y

Sugirtha (2015) en India, quienes indicaron que la fracción principal granulométrica es la arena y que la acumulación de nutrientes puede estar controlada por la influencia exógena en el ecosistema de manglar, y Quan y cols. (2016) en China, quienes mencionaron que los cambios en la comunidad microbiana de sedimentos probablemente se pueda explicar por los incrementos en nutrientes y la heterogeneidad de microhábitats durante la sucesión de manglares, principalmente la altura de la planta y los contenidos de MO y PT. En América, se pueden mencionar los trabajos de Lovelock y cols. (2005) reportando niveles altos de fósforo en sedimentos del borde del manglar con respecto a los de aguas someras en Panamá en un bosque de manglar dominado por *R. mangle*, Bernini y cols. (2010) estudiaron la variación espacial y temporal de los nutrientes en el sedimento y hojas de dos especies de mangles brasileños y su papel en la retención de metales pesados ambientales, suministrando evidencias de la importancia de los manglares en el tránsito de los metales pesados en ecosistemas marino-costeros. En Colombia se caracterizó físico-químicamente suelos de mangle en la costa atlántica de ese país, reportando un predominio de suelos granulares con un 80% de las zonas exploradas conformadas por arenas limosas (Díaz y cols., 2010). Asimismo, se reporta el trabajo de De La Lanza y cols. (2011) quienes reportaron valores altos de nutrientes en una laguna costera contaminada en el noreste de México.

El estudio de actividad microbiana en sedimentos de manglares toma cada vez más auge, permitiendo obtener información amplia junto a variables geoquímicas, ya que constituyen una excelente herramienta para evaluar ecosistemas perturbados (Carvalho, 2002; Infante y cols., 2008). La actividad respiratoria, es uno de los parámetros determinantes en el estudio microbiano, ya que evalúa el anhídrido carbónico desprendido por la actividad de los microorganismos del suelo conocido como carbono asociado a la biomasa microbiana (C_{mic}). La biomasa microbiana (C_{mic}), determinada a través del método de la respiración inducida por sustrato (RIS), se basa en la respuesta fisiológica microbiana ante la adición de un sustrato fácilmente asimilable como la glucosa; de esta manera, la tasa de respuesta inicial a la misma, es la máxima actividad respiratoria de la microbiota, limitada por la cantidad de microorganismos (Anderson y

Domsch, 1978). Esta respuesta de los microorganismos, es proporcional al tamaño de la biomasa microbiana, expresando su componente activo, puesto que los microorganismos en fase latente no son incluidos en esta medición (Priha y Smolander, 1994).

Otra medida en fisiología microbiana que también puede ser usada como metabolismo aeróbico, es la respiración basal (RB), al ser el CO₂ liberado como parte final de la respiración aeróbica por parte de la microbiota, permitiendo una visión general de la actividad microbiológica de los sedimentos, como parte fundamental de la movilización y disponibilidad de nutrientes (Borie y cols., 1999), por lo que se le atribuye la mayor participación en el flujo de energía en estos sedimentos (Holguín y Bashan, 2007).

Una de las principales características en el estudio de la biomasa microbiana es, que al ser los microorganismos el componente más activo del suelo, responden rápidamente a variaciones medioambientales (Ross y cols., 2001), por lo cual, el cociente metabólico o índice qCO₂, es un indicador idóneo para este tipo de situación (Llorente y Turrión, 2010); de hecho, la relación de parámetros microbiológicos se utiliza para la evaluación de la ecofisiología microbiana (Anderson, 2003), siendo además, una medida relativa de cuan eficazmente la biomasa microbiana está utilizando los recursos de C (Anderson y Domsch, 1990).

En líneas generales, los estudios reportados desde el punto de vista geoquímico y microbiano en sedimentos de manglares, permiten estimar, como aspecto fundamental en la geoquímica de este tipo de ambiente, que puede existir una variabilidad en relación al contenido de nutrientes y al período ambiental (Alongi y cols., 1993; Rojas y cols., 2003; González y cols., 2010).

En Venezuela, hasta el momento, las investigaciones desde el punto de vista biogeoquímico están confinadas a litorales costeros y fondos marinos, especialmente a estudios de contaminantes como metales traza (Landaeta, 2002; Bonilla y cols., 2003; Márquez y cols., 2005; López, 2012; Querales, 2012; Rivero, 2012; Asaeda, 2013;

Hernández, 2013; Mata, 2016, Velásquez y cols., 2016); sin embargo, en lo relacionado con ecosistemas de manglares, son varios los trabajos reportados (Márquez y cols., 2007; Márquez y cols., 2009; Díaz, 2012; Gómez y Carvajal, 2012; Brun, 2013; Gómez y cols., 2013), particularmente en Lagunas de los estados Anzoátegui (Rodríguez y Gómez, 2016; Umbría, 2016), y Nueva Esparta (Sánchez y cols., 2010; Méndez y cols., 2010; Rosas y López, 2014; Romero y cols., 2016), y para Sucre se tiene el reporte de actividad microbiana en la Laguna Chacopata-Bocaripo por Segnini y cols. (2015), mientras que en los manglares del Golfo de Cariaco es limitado el conocimiento sobre ecología microbiana en manglares, ya que solo se tiene el registro de Gómez y cols. (2013), y aunque dicho estudio se realizó cercano a una comunidad de manglares no fue precisamente sedimentos de los mismos, determinando actividad microbiana en sedimentos superficiales de dos localidades del Saco del Golfo de Cariaco (Chiguana y Muelle de Cariaco) en los períodos de surgencia y transición.

En la ensenada de Turpialito hasta el momento no se han realizado estudios en los sedimentos en la comunidad de manglares, siendo necesaria la evaluación de los mismos, a través del análisis del componente microbiano asociado a algunas características fisicoquímicas de los sedimentos, con la finalidad de sustentar la hipótesis establecida en estudios anteriores (Montes, 2011; Acosta y Prieto, 2015; Gotera, 2016), que señalan que los manglares aportan de manera continua nutrientes a la ensenada, independientemente del período ambiental (lluvia y sequía), para así evidenciar la dinámica sedimentaria, eficiencia en la renovación de nutrientes, actividad microbiana y su influencia sobre el ambiente marino costero.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La ensenada de Turpialito, se encuentra en la costa sur del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela (Figura 1), a 3 km de distancia al este de la ciudad de Cumaná (10° 26' 56'' N, 64° 02' 00'' O). El área está protegida del oleaje por la península de Araya; los manglares de la ensenada tiene un área de 4001,43 m², distribuidos discontinuamente en pequeños parches, con densidades variables en toda la línea de la costa, cuyas especies más representativas son: *Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus* y *Laguncularia racemosa* (Bello y cols., 2014).

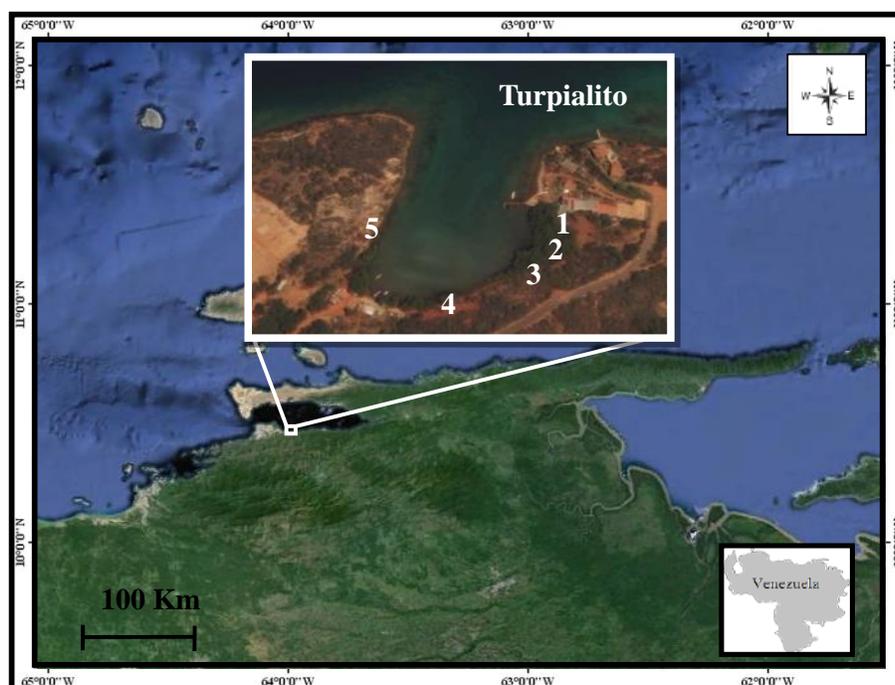


Figura 1. Mapa de la zona de estudio, mostrando las estaciones de muestreo (1, 2, 3, 4 y 5) en la Ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela.

Se seleccionaron cinco estaciones paralelas a la costa, cada una con características distintivas entre ellas en relación a la presencia del mangle rojo (*R. mangle*) y a las características de la costa (Figura 2).

Estación 1: situada en la zona más densa de mangle rojo dominante (*R. mangle*).

Dominando sedimentos de textura fina al tacto, con una coloración oscura en la parte superficial, con un marcado olor a azufre, siendo influenciada por aporte de agua dulce proveniente de la estación Hidrobiológica de Turpialito y/o de la comunidad adyacente.

Estación 2: se mantienen las mismas características antes descritas. El sedimento muestra una coloración oscura y al igual que la primera estación, posee un marcado olor a azufre, encontrándose también en la zona de mayor densidad de presencia de los manglares, principalmente de *R. mangle*.

Estación 3: es una zona más anegadiza., ya que se encuentra influenciada por los eventos de pleamar y bajamar, presencia de texturas ásperas, con importante presencia de hojarascas y propágulos en distintas etapas de descomposición.

Estación 4: en esta zona abunda un tapiz de algas, con hojarascas, verticilos florales y propágulos de manglar en menor grado que la estación 3, el sedimento tenía un color claro y textura áspera al tacto.

Estación 5: se encuentra más influenciada por la hidrodinámica de la ensenada, con suelo rocoso, poca presencia de hojarascas pero con abundante restos de organismos macrobentónicos como bivalvos y gasterópodos.

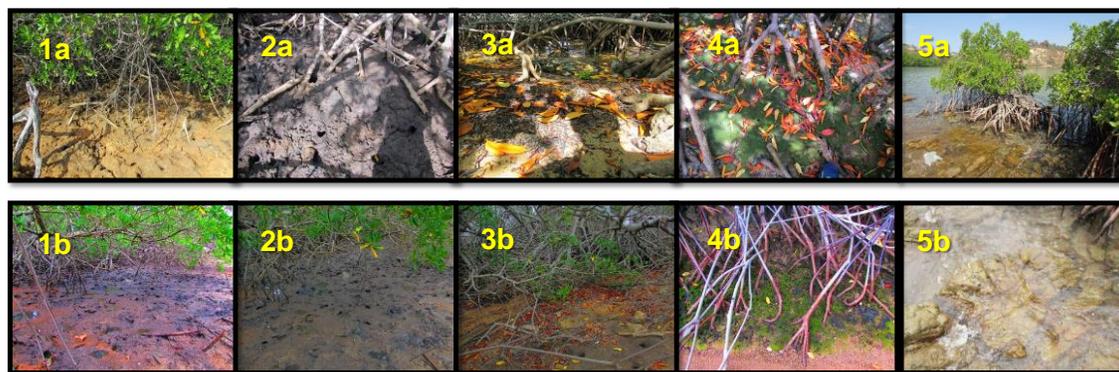


Figura 2. Características distintivas observables en las estaciones de muestreo durante el período de sequía (1a, 2a, 3a, 4a y 5a) y período de lluvia (1b, 2b, 3b, 4b y 5b) en la Ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela.

Metodología de campo

Los muestreos fueron realizados en dos periodos ambientales: sequía y lluvia, correspondientes a los meses de julio y diciembre de 2016 respectivamente. Estos meses, son considerados generalmente como lluvia (julio) y sequía (diciembre); sin embargo, en dicho año inició la transición del fenómeno climático El Niño a La Niña, el cual produce cambios en la precipitación media mensual anual (datos constatados en la Tabla 1), obteniendo valores de déficit y abundante precipitación respectivamente, reportándose estas anomalías de precipitación.

Tabla 1. Promedios y anomalías porcentuales de precipitación para el estado Sucre, entre valores medios reportados en el Boletín Climatológico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) entre las ciudades de Cumaná y Güiria durante los meses de muestreos en el año 2016.

| Mes de muestreo | Precipitación (mm) | Anomalía (%) | Anomalía |
|------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Julio 2016 | 38 | -66,5 | Moderadamente por debajo de lo normal |
| Diciembre 2016 | 71 | 25 | Ligeramente por encima de lo normal |

Valores negativos en anomalías porcentual indican déficit / valores positivos indican superávit pluviométrico.

Se recolectaron muestras superficiales (0-10 cm) de sedimento en las cinco estaciones, empleando un material de tipo recogedor (pala), de donde se obtuvieron 10 submuestras (por duplicado para cada estación), los cuales se almacenaron en bolsas de polietileno etiquetadas y refrigeradas para el análisis microbiano, mientras que, para el análisis geoquímico se transportaron al Laboratorio de Acuicultura del Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV) donde se mantuvieron congeladas (-10°C) hasta su análisis.

Parámetros ambientales

Se realizó la determinación *in situ* de parámetros ambientales (temperatura y salinidad

intersticial). El procedimiento utilizado fue el descrito por Sánchez y cols. (2010), introduciendo un tubo de PVC en el suelo y luego el termómetro ambiental (0,01 °C de apreciación) en el agua intersticial, mientras que, para la lectura de la salinidad se tomó agua con ayuda de una inyectora de 10 ml utilizando un densímetro (Khalisco 118wc200). La determinación del pH del sedimento se realizó siguiendo la metodología de Beretta y cols. (2014) utilizando una proporción 1:5 de sedimento y agua destilada por triplicado para cada estación de muestreo.

Metodología de laboratorio

Preparación de las muestras

El secado de 100 g de las muestras se realizó en una estufa P SELECTA a 60°C, por alrededor de 72 h para eliminar la humedad y obtener una masa constante al pesarse, como lo describe (Rivero, 2012). Luego se dividieron en dos porciones de 50 g, una para el análisis granulométrico y otra pulverizada con un mortero de porcelana, para el análisis químico, almacenándose posteriormente en envases de polietileno herméticamente cerrados, hasta las respectivas evaluaciones.

Granulometría y textura de los sedimentos

Para conocer la composición de las diferentes fracciones del sedimento, por cada estación de muestreo en cada período ambiental, se utilizó el procedimiento basado en la tasa de sedimentación de los granos, a diferentes intervalos de tiempo, según la Ley de Stokes (Prego y cols., 1999). Se tomaron 50 g de sedimento seco tamizados a través de una malla de 2 mm. La cantidad pesada de sedimento se colocó en un Beaker junto a 10 ml de una solución dispersante de hexametáfosfato de sodio $(\text{NaPO}_3)_6$ al 10% m v^{-1} y 300 ml de agua destilada, agitándose durante 5 min y dejando reposar por alrededor de 20 s, para luego transferir la mezcla resultante a un cilindro graduado de 1 l, arrastrando con agua destilada hasta completar la capacidad del cilindro. Luego se agitó fuertemente para homogeneizarlo, momento en el cual se activó el cronómetro y se introdujo el hidrómetro, y a los 40 s del cese de la agitación se tomaron las primeras lecturas de

temperatura y densidad de la suspensión. Al dejar transcurrir 120 min, nuevamente se tomaron lecturas de densidad y temperatura de la suspensión.

Finalmente, los porcentajes de las fracciones sedimentarias, se obtuvieron por medio de la introducción de los datos experimentales en las ecuaciones señaladas por Primo y Carrasco (1973):

$$X = \frac{c + (t - 20) 0,36}{50} * 100$$

$$Y = \frac{c' + (t' - 20) 0,36}{50} * 100$$

Donde:

x = porcentaje de limo + arcilla

arcilla= x – porcentaje de limo

(x – y)= porcentaje de limo

(100 – x)= porcentaje de arena

La textura se realizó según la nomenclatura propuesta por Sheppard (1954) como se observa en la figura 3.

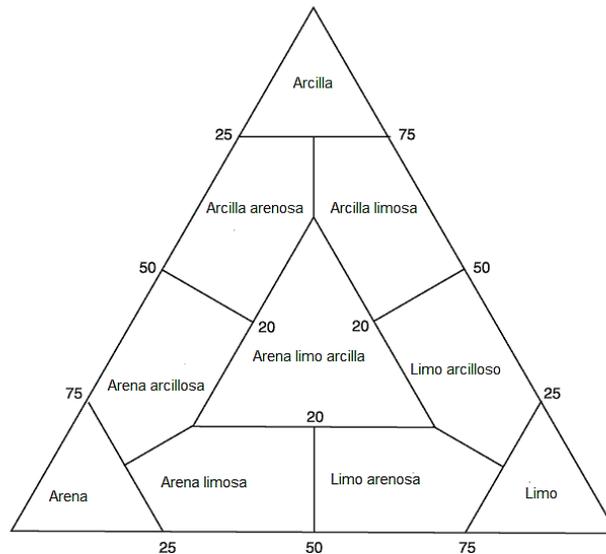
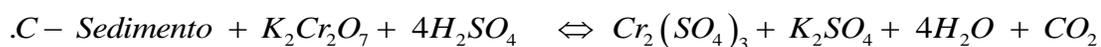


Figura 3. Triángulo de Sheppard usado para la clasificación de los sedimentos marinos en sus diferentes texturas (Sheppard, 1994).

Determinación del carbono orgánico total y materia orgánica total (COT y MOT)

El carbono orgánico se determinó mediante el método de combustión húmeda propuesto por Walkley y Black (1934); modificado por Heanes (1984) y descrito en Hernández (2013). El procedimiento consistió en la oxidación del carbono orgánico a CO₂, por una mezcla oxidante de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado (ácido sulfocrómico) acelerada por el calor de dilución del ácido sulfúrico en agua. El carbono orgánico reduce los iones Cr⁶⁺ (amarillo-naranja) del dicromato inicial a iones Cr³⁺ (color verde). Este último es una medida directa de la cantidad de carbono oxidado. El reactivo oxidante consistió en la combinación de aproximadamente 20 g de dicromato de potasio disueltos en 400 ml de agua desionizada y 500 ml de ácido sulfúrico concentrado añadidos lentamente, enrasándose hasta 1 l con agua desionizada.

Para analizar las muestras, se pesaron aproximadamente 0,01g de sedimento seco, a los cuales se les añadieron 5 ml del reactivo oxidante (ácido sulfocrómico 0,5 mol l⁻¹), para luego calentar hasta ebullición por dos minutos, dejándose enfriar posteriormente. Seguidamente, se centrifugaron las soluciones a 5 000 rpm por 5 min, y el extracto obtenido fue diluido a 25 ml con agua desionizada. Finalmente, la solución se transfirió a una celda de vidrio (1 cm de trayecto óptico), leyendo su absorbancia en un espectrofotómetro GENESYS 8, a la longitud de onda de 590 nm (máximo de absorbancia del complejo formado por los iones Cr³⁺). Paralelamente, se preparó una curva de calibración a partir de una solución de biftalato de potasio (KHC₈H₄O₄); para ello fueron pesados exactamente 0,26 g del patrón primario, disolviéndose después en 100 ml de agua desionizada. De esta solución se tomaron volúmenes de 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 y 3,0 ml respectivamente, realizándose un procedimiento similar al anteriormente descrito. De acuerdo con esto, los valores para la curva de calibración se ubicaron en un rango de valores con un mínimo de 0,25 hasta un máximo de 3,74 mg de equivalente de carbono orgánico, respectivamente.



El contenido de materia orgánica fue determinado mediante la multiplicación del porcentaje de carbono orgánico obtenido, por el factor convencional de Van Bemmelen: 1,724; cuyo factor se ha generalizado gracias a la consideración de que la materia orgánica contiene en promedio 58% de carbono, tal cual como lo describe Romero (2009).

Determinación del contenido de nitrógeno y fósforo total (NT y PT)

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total en los sedimentos superficiales, se determinaron por el método propuesto por Valderrama (1981), el cual está basado en la oxidación simultánea de las especies orgánicas de nitrógeno y fósforo, con peroxidisulfato de potasio. Para la oxidación de las especies nitrogenadas se empleó un ambiente básico (pH 9,7); mientras que la oxidación de los compuestos fosfatados se llevó a cabo en un medio acidulado (pH de 5 a 6).



Durante el procedimiento, se colocaron aproximadamente 0,035 g de sedimento seco (triplicados por cada estación), junto a 50 ml de agua desionizada y 3 ml del agente oxidante, en frascos de vidrio con tapas herméticas. Las botellas se cerraron para someterlas a digestión en un autoclave durante media hora a 15 psi de presión y a 270°C (Valderrama, 1981). La solución sobrenadante se decantó a erlenmeyers para el posterior análisis de los fosfatos y los nitratos presentes en la solución.

Las curvas de calibración para fósforo y nitrógeno total, se prepararon empleando fosfato de potasio monobásico (KH₂PO₄) y glicina (C₂H₅NO₂), respectivamente. Para determinar el contenido de nitrógeno se tomó una alícuota de 2 ml de solución digestada y se pasó por un autoanalizador modelo Autoanalyzer II Technicon, para reducir el NO₃³⁻ al NO₂²⁻, registrándose las concentraciones de este último. Finalmente, se calculó estequiométricamente el contenido total de N a partir del nitrito cuantificado.

La cuantificación del fósforo se realizó según el método colorimétrico de Murphy y Riley (1962), en el cual se agregaron 2,50 ml del reactivo de Murphy y Riley (H_2SO_4 5 mol l^{-1} , heptamolibdato de amonio, oxitartrato de potasio y antimonio, ácido ascórbico en una proporción de 2:5:2:1) a 25 ml de solución digestada. Los iones fosfato reaccionan con el molibdato de amonio, en presencia de antimonio (III), para formar un complejo que es reducido por el ácido ascórbico, cuya forma reducida tiene coloración azul, con un máximo de absorción de 885 nm. La absorbancia fue medida en un espectrofotómetro UV-Visible Genesys-8, ThermoSpectronic.

Actividad microbiana

Para realizar el estudio de actividad microbiana en los sedimentos superficiales de manglar se utilizaron los siguientes indicadores:

La biomasa microbiana (C_{mic}) se determinó a través de la técnica de la respiración inducida por sustrato (RIS). El procedimiento seguido fue el descrito por Anderson y Domsch (1978) mediante el empleo de un vial con 20 ml de una trampa de álcali (NaOH 0,1 N) colocada en el interior de un frasco con tapa de rosca que contenía 50 g de sedimentos mezclados con 400 mg de glucosa. Éstos se incubaron por 4 h a 25 ± 3 °C. Luego de la incubación, el NaOH del vial se transfirió a una fiola de 250 ml, precipitando los carbonatos con 2 ml de cloruro de bario (BaCl_2) 0,05 mol. l^{-1} , seguidamente se tituló con ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N, usando fenolftaleína como indicador (Figura 4). Como blanco se utilizaron frascos que solo contenían el vial con NaOH . Los valores fueron expresados en mg C_{mic} kg^{-1} de sedimento.



Figura 4. Titulación realizada para la determinación de la biomasa microbiana por respiración inducida por sustrato (RIS).

La determinación de la biomasa microbiana se realizó por triplicado y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{((VB - VM)NHCl * 6 * 100)}{(4 * EW)}$$

Donde:

VB: volumen de HCl consumidos para titular el blanco,

VM: volumen de HCl consumidos para titular la muestra,

NHCl: Normalidad del ácido clorhídrico,

EW: peso de suelo seco (g),

4: tiempo de incubación (h)

6: equivalentes (pm C/2 equivalente).

La respiración basal (RB) se determinó según el método descrito por Alef y Nannipieri (1995). Se llevó a cabo mediante el mismo procedimiento empleado en la determinación de la respiración inducida por sustrato (RIS), omitiendo la incorporación de la glucosa y el tiempo de incubación fue de 24 h. Los resultados se expresaron en mg C-CO₂ kg⁻¹ sedimento 24 h⁻¹.

La cantidad en miligramos (mg) de CO₂ desprendido se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$(Vb - Vm) * M HCl * 6$$

Donde:

Vb: volumen de HCl consumidos para titular el blanco,

Vm: volumen de HCl consumidos para titular la muestra,

M HCl: concentración de ácido clorhídrico

6: equivalentes (pm C/2 equivalente).

Cociente metabólico (qCO₂)

La fracción del C-CO₂ liberado por unidad de biomasa microbiana, llamado cociente

metabólico, se calculó gracias a la relación entre el CO₂ emitido durante la respiración basal y el Cmic determinado a través de la RIS (Anderson y Domsch, 1978). Esto se expresó en mg (C-CO₂ (mg Cmic 24h)⁻¹).

Análisis estadísticos

Para observar las diferencias entre períodos ambientales y entre estaciones en las diferentes variables evaluadas se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA), luego de comprobar que los datos obtenidos se ajustaran a una curva de distribución normal y sus varianzas eran homogéneas; se utilizó el período ambiental (sequía y lluvia) y estación como factores, es necesario mencionar que el contenido de NT se le aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, debido a que sus valores no tenían una distribución normal o homogeneidad en sus varianzas. Las variables que tuvieron diferencias significativas se les aplicaron la prueba de múltiples rangos LSD (Mínima diferencia significativa). Se realizó además Análisis de Correlación de Pearson, para lograr establecer relaciones entre las variables ambientales y la actividad microbiana obtenidas. Para todos estos análisis se utilizó el programa estadístico Stagraphics Centurion XV.II.

RESULTADOS

Variables ambientales

La temperatura intersticial osciló en un intervalo de 1 °C en promedio entre cada período ambiental, estableciéndose diferencias significativas entre ellos ($F= 4,45$; $p<0,05$), registrándose los valores más altos durante el período de sequía con 28 ± 1 °C, logrando una disminución significativa durante el período de lluvia 27 ± 1 °C (Figura 5 A), espacialmente (entre estaciones) no hubo diferencias significativas entre periodos ambientales (sequía, $F= 1,82$; $p>0,05$; lluvias, $F= 0,70$; $p>0,05$). Para el período de sequía, la temperatura intersticial mostró los valores altos en las áreas menos densas de los manglares (estaciones 3 y 5), mientras que, durante el período de lluvia la temperatura intersticial tuvo un comportamiento uniforme en todas las estaciones (Figura 6).

La salinidad intersticial varió significativamente entre período ambiental ($F= 41,02$; $p<0,05$), obteniendo los valores promedios de $38,8 \pm 1$ y $36,0 \pm 1$ UPS para el período de sequía y lluvia respectivamente (Figura 5 B). Entre estaciones se encontró diferencias significativas en ambos períodos (sequía, $F= 6,12$; $p<0,05$) (lluvia), donde la estación 3 mostró el mayor valor salino (40 UPS) con respecto al resto de las estaciones (Figura 6).

Con respecto al pH intersticial, no se encontraron diferencias significativas entre período ambiental ($F= 0,47$; $p>0,05$), siendo superior en presencia de lluvia (6,61) (Figura 5 C). Entre estaciones, en sequia se encontraron diferencias significativas ($F= 10,05$; $p>0,05$) registrando una disminución progresiva en los valores de pH a medida que se avanzaba en las estaciones, en el borde del manglar. De igual manera, durante las lluvias también se encontraron diferencias significativas entre las estaciones ($F= 4,93$; $p>0,05$), la estación 1 obtuvo los valores más ácidos (6,27) y la estación 3 los más básicos (7,06) (Figura 6).

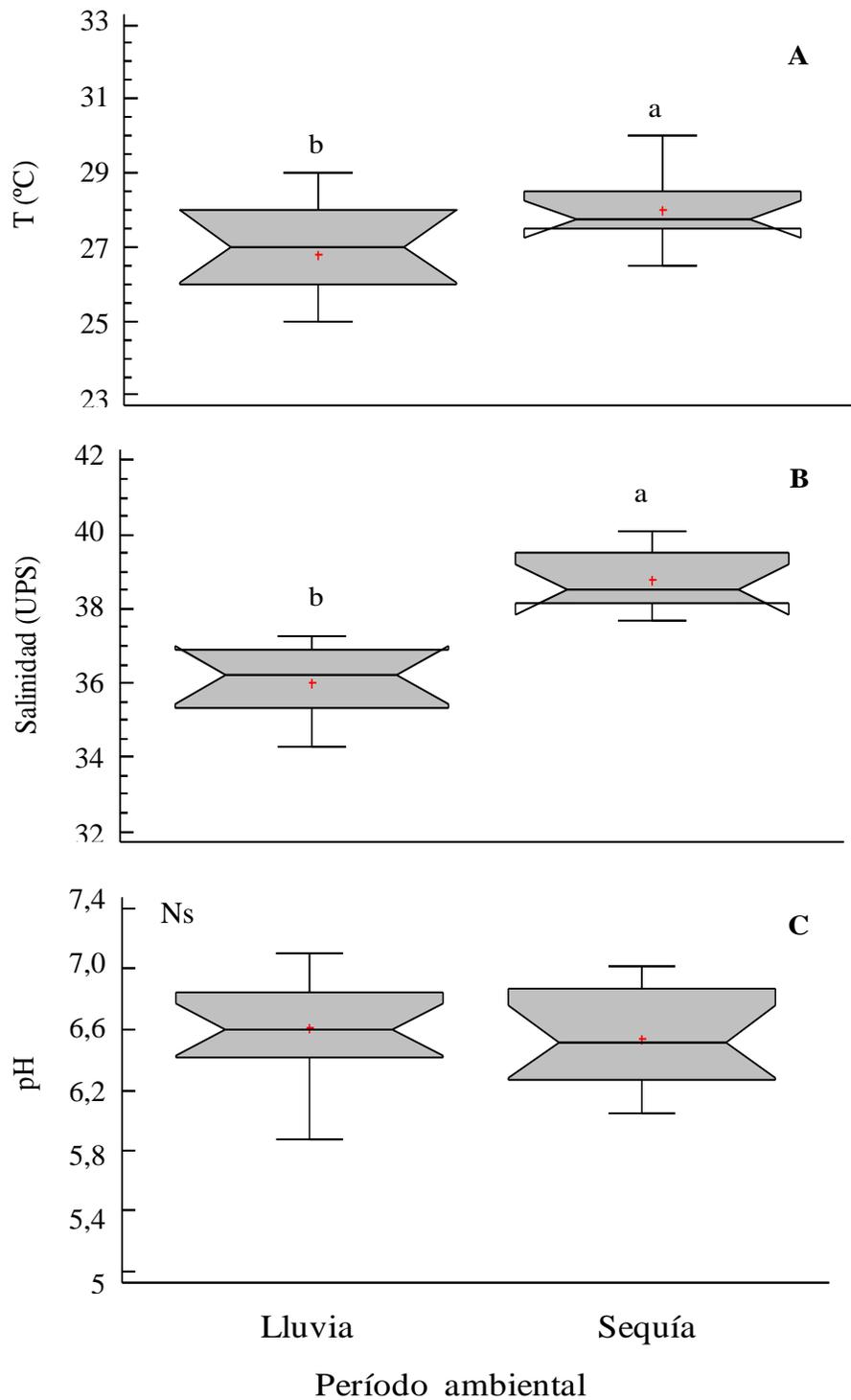


Figura 5. A. Variación de la temperatura (°C). B. Salinidad (UPS) y C. pH intersticial entre período ambiental (lluvia y sequía) de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares.

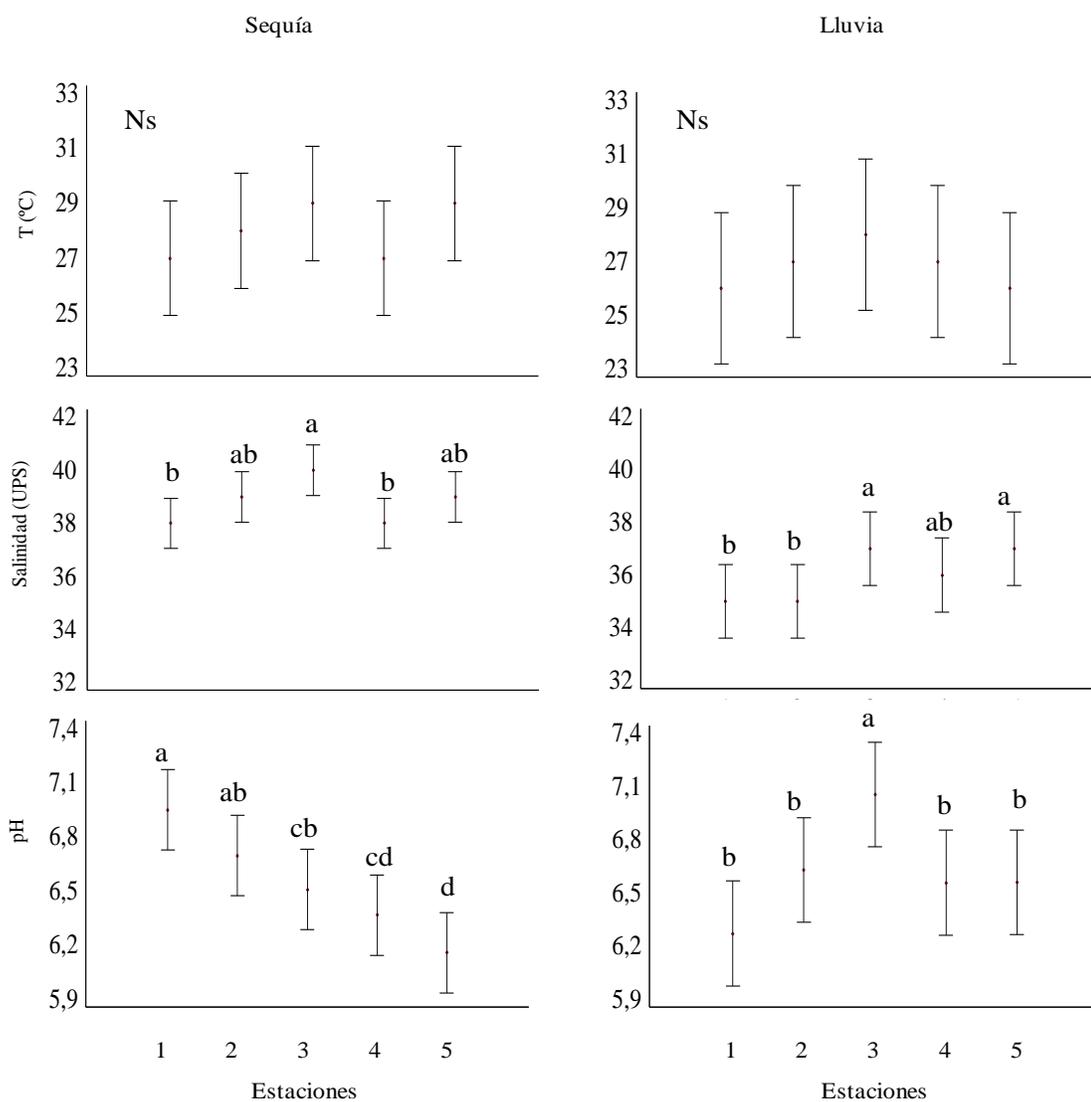


Figura 6. Variación espacial de la temperatura (°C), salinidad (UPS) y pH intersticial entre estaciones, durante el período sequía y el período de lluvia en los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares.

Análisis físico

Granulometría y textura

La granulometría en ambos períodos estuvo constituida principalmente por: arenas (sequía= 80%; lluvia= 78%), seguida de los limos (sequía= 13%; lluvia= 15%), y en

menor proporción las arcillas (sequía y lluvia= 7%), como se puede apreciar en la figura 7.

En ambos períodos ambientales, los sedimentos de *R. mangle* de Turpialito se caracterizaron básicamente por presentar textura arenosa; sin embargo, en las estaciones 1 y 2 dominaron texturas areno-limosas, corroboradas a partir del triángulo de Sheppard (Figura 8). En la estación 1, se registró una mayor variación en el tipo textural, pasando de arenoso en período de sequía; a areno-limoso en período de lluvia con una ganancia de 12% de limo para dicho período como se aprecia en la tabla 2.

El comportamiento distributivo del tipo textural arenoso en las distintas estaciones fue similar durante la sequía y las lluvias, observándose los menores porcentajes de arenas para las dos primeras estaciones (1 y 2), con tendencia a aumentar los porcentajes de los mismos en las estaciones 3, 4 y 5 (Tabla 2).

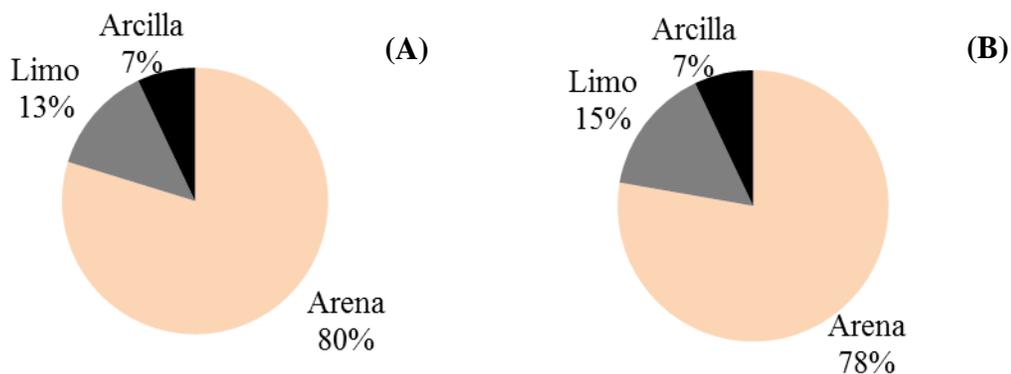


Figura 7. Composición porcentual de los componentes del sedimento (% arena, limo y arcilla) de *Rhizophora mangle* en la ensenada de Turpialito, durante el período de sequía (A) y durante el período de lluvia (B) en los meses de julio y diciembre de 2016.

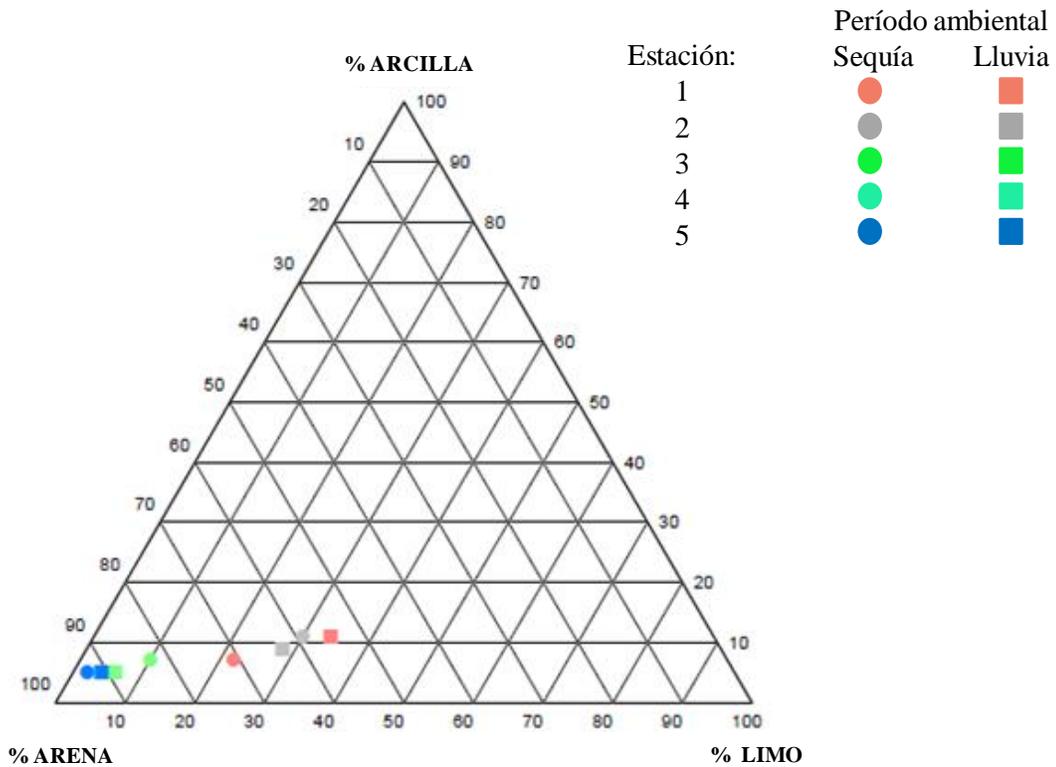


Figura 8. Distribución textural de los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito en dos períodos ambientales (sequía y lluvia) en los meses de julio y diciembre de 2016.

Tabla 2. Distribución de las diferentes fracciones texturales en los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito, durante el período de sequía y el período de lluvia.

| Período ambiental | Estación | % Arenas | % Limo | % Arcilla | Clase textural |
|-------------------|----------|----------|--------|-----------|----------------|
| Sequía | 1 | 70,96 | 22 | 7,04 | A |
| | 2 | 58,96 | 30 | 11,04 | A/L |
| | 3 | 82,96 | 10 | 7,04 | A |
| | 4 | 92,96 | 2 | 5,04 | A |
| | 5 | 92,96 | 2 | 5,04 | A |

Tabla 2. Continuación.

| | | | | | |
|---------------|---|-------|----|-------|-----|
| | 1 | 54,96 | 34 | 11,04 | A/L |
| | 2 | 62,96 | 28 | 9,04 | A/L |
| Lluvia | 3 | 88,96 | 6 | 5,04 | A |
| | 4 | 90,96 | 4 | 5,04 | A |
| | 5 | 90,96 | 4 | 5,04 | A |

A: arenoso; A/L: areno-limoso.

Análisis químico

Carbono orgánico total (COT)

No se obtuvieron diferencias significativas en el porcentaje de COT en los sedimentos entre los períodos ambientales (Figura 9 A) ($F= 0,01$; $p>0,05$), a pesar de lo antes señalado, durante la sequía se encontraron los valores más altos ($2,51 \pm 1,50\%$) con respecto a los valores registrados período de lluvia ($2,45 \pm 1,22\%$).

Con respecto a las variaciones espaciales, durante el período de sequía, se obtuvieron diferencias significativas ($F= 13,66$; $p<0,05$), identificándose la formación de dos grupos: valores superiores de COT en las estaciones 1, 2 y 3 (4%, 4% y 3% COT), con tendencia a disminuir a partir de la estación 4 con 1% de COT (Figura 10). Para el período de lluvia no se obtuvieron diferencias significativas en el contenido de COT en los sedimentos entre estaciones ($F= 0,95$; $p>0,05$), cuyo comportamiento reflejó el pico más alto en las proporciones promedio de COT en la estación 2 con 4% COT, con tendencia a disminuir a partir de la estación 3 (3% COT), para posteriormente mostrar el valor más bajo en la estación 4 con 2% COT (Figura 10).

Materia orgánica total (MOT)

El contenido de MOT (Figura 9 B) tampoco mostró diferencias significativas ($F= 0,05$; $p>0,05$) en los períodos ambientales evaluados. Encontrándose las mayores proporciones

de MOT durante el período de sequía ($4,47 \pm 2,62\%$), con una menor proporción durante las lluvias ($4,23 \pm 2,11\%$).

Entre las estaciones, durante la sequía, se encontraron diferencias significativas en el contenido de MOT en los sedimentos ($F= 14,34$; $p<0,05$), formando dos grupos con el mismo patrón que el COT para el mismo período: el primero formado por las estaciones 1, 2 y 3 con los valores más altos (6, 7 y 6% MOT respectivamente), y el segundo formado por las estaciones 4 y 5 con las proporciones más bajas de MOT con un promedio de 2 y 1% (Figura 10).

Para el período de lluvia, entre estaciones no se encontraron diferencias significativas en el contenido de MOT ($F= 0,95$; $p>0,05$), obteniendo el mismo patrón que el COT durante las lluvias, mayores proporciones en la estaciones 1, 2 y 3 (4, 6 y 5% MOT respectivamente), obteniendo en las estaciones 4 y 5 los valores más bajos de MOT (3%) como se observa en la Figura 10.

Nitrógeno total (NT)

No se obtuvieron diferencias significativas en el contenido de NT de los sedimentos ($KW= 1,56$; $p>0,05$). No obstante, en sequía se registraron los mayores valores de NT ($396,73 \pm 161,67 \text{ mg kg}^{-1}$ de sedimento), encontrando los menores valores para el período de lluvias ($286,48 \pm 60,90 \text{ mg kg}^{-1}$ de sedimento) como se puede apreciar en la figura 9 D.

Espacialmente, el contenido de NT en los sedimentos de los manglares de Turpialito (Figura 10) no mostró diferencias significativas durante la sequía ($KW= 8,73$; $p>0,05$), a pesar de ello, se obtuvieron los picos más altos en las estaciones 1 y 2 con $595,39$ y $565,87 \text{ mg kg}^{-1}$ de sedimento respectivamente, con los valores más bajos en el contenido de NT para las estación 4 ($234,65 \pm 33,98 \text{ mg kg}^{-1}$ de sedimento).

Con respecto al período de lluvia, tampoco se encontraron diferencias significativas en el contenido de NT en los sedimentos ($KW= 8,30$; $p>0,05$), pero a pesar de que el estadístico no arrojó diferencias, los valores más altos se encontraron en la estación 4 y 1 ($370,70$ y $327,60$ mg kg^{-1} de sedimento respectivamente), mientras que la estación 3 obtuvo los valores más bajos de NT con $207,30$ mg kg^{-1} , y las estaciones 2 y 5 resultaron con valores promedios intermedios a los antes mencionados con $264,12$ y $262,70$ mg kg^{-1} de sedimento en el contenido de NT (Figura 10).

Fósforo total (PT)

En el contenido de PT de los sedimentos (Figura 9 D) no se encontraron diferencias significativas ($F= 0,09$; $p>0,05$). En sequía se registraron los mayores valores de PT en los sedimentos ($102,61 \pm 32,83$ mg kg^{-1} de sedimento), encontrando los menores valores para el período de lluvias ($97,29 \pm 44,10$ mg kg^{-1} de sedimento).

La distribución espacial del PT en los sedimentos de los manglares de Turpialito (Figura 10) mostró diferencias significativas ($F= 14,34$; $p<0,05$), obteniendo durante la sequía los picos más altos en las estaciones 1, 2 y 4 con 126 , 117 y 134 mg kg^{-1} respectivamente, con los valores más bajos en el contenido de PT para las estaciones 3 y 5 (56 y 80 mg kg^{-1} de sedimento).

Con respecto al período de lluvia, también se encontró diferencias significativas en el contenido de PT en los sedimentos ($F= 56,46$; $p<0,05$), obteniendo comportamientos independientes cada estación, cuyos valores más altos se encontraron en las estaciones 1 y 2 ($126,6$ y $158,3$ mg kg^{-1} de sedimento), con tendencia a disminuir en la estación 3, la cual obtuvo los valores más bajos de PT ($42,6$ mg kg^{-1} de sedimento) (Figura 10).

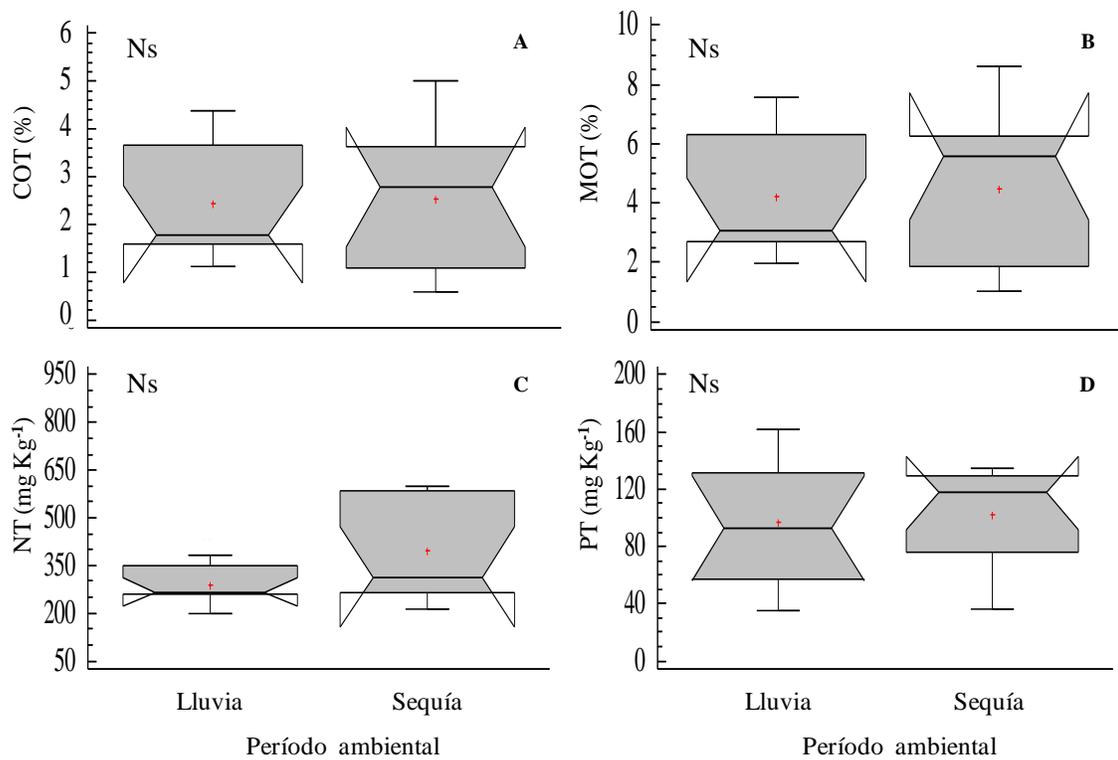


Figura 9. A. Variación temporal (lluvia y sequía) del contenido de carbono orgánico total (COT), B. Materia orgánica total (MOT), C. Nitrógeno total (NT) y D. Fósforo total (PT), en sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares.

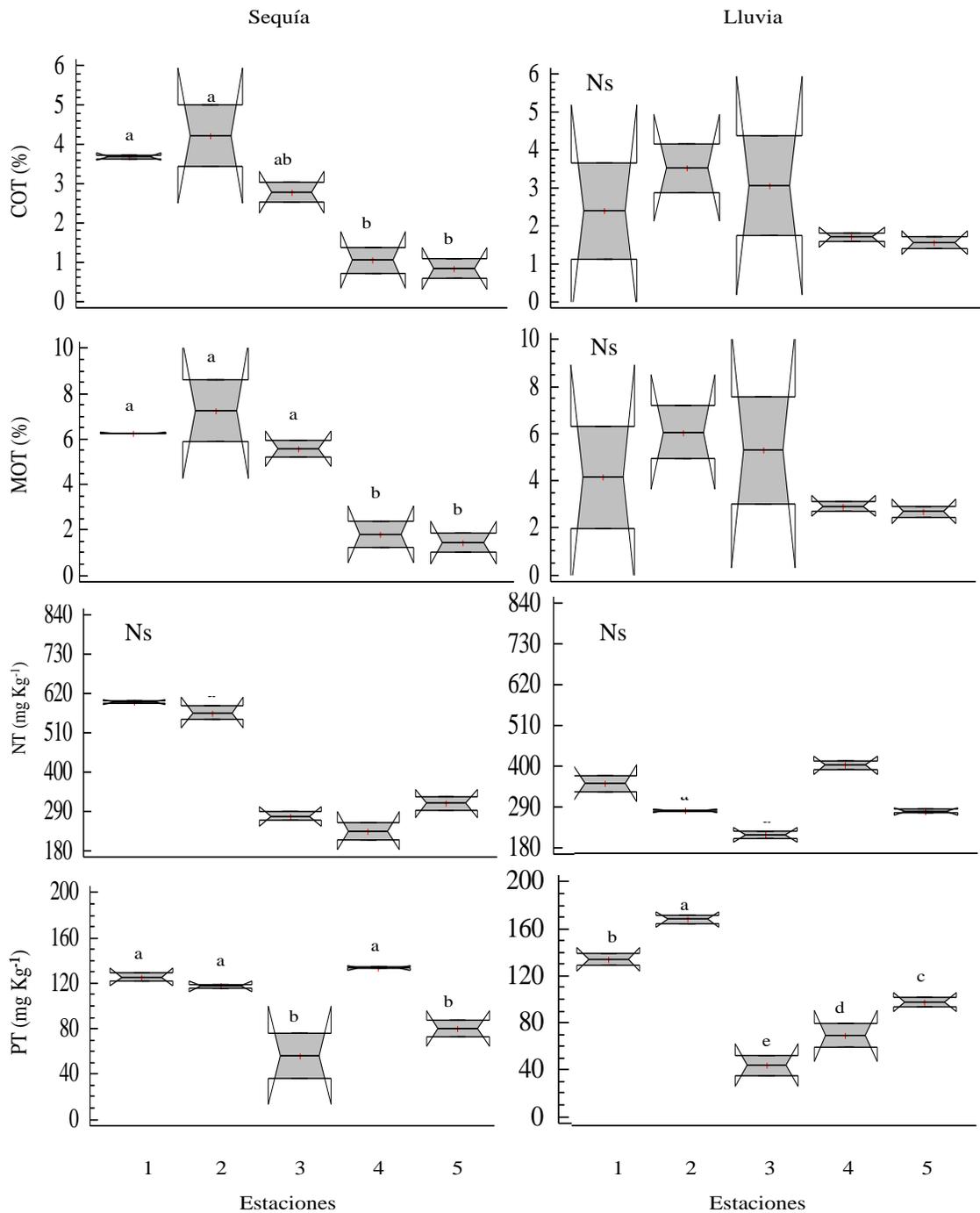


Figura 10. Variación espacial (entre estaciones) del contenido de carbono orgánico total (COT), materia orgánica total (MOT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito, durante el período de sequía y el período de lluvia, en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares.

Actividad microbiana

Biomasa microbiana (Cmic)

La actividad microbiana (Figura 11 A) se vio afectada por el período ambiental, mostrando diferencias significativas ($F= 14,97$; $p<0,05$), obteniéndose durante la sequía los mayores valores de biomasa microbiana ($315,87 \pm 65,17$ mg Cmic Kg⁻¹) con respecto al período de lluvia ($217,28 \pm 47,40$ mg Cmic Kg⁻¹). Sin embargo, entre las estaciones no se registraron diferencias estadísticas en el período de sequía ($F= 2,36$; $p>0,05$). Durante la llegada de las lluvias hubo diferencias significativas en la actividad microbiana ($F= 23,75$; $p<0,05$), donde se observó la formación de dos grupos: uno con mayor actividad microbiana en las primeras estaciones (1 y 2), con tendencia a disminuir progresivamente a medida que se avanza en las estaciones, es decir, hacia las áreas menos densas de los manglares en las estaciones 3, 4 y 5, que conformaron el otro grupo (Figura 12 C).

Respiración basal (RB)

Comportamiento similar al Cmic se obtuvo en la RB con respecto al período ambiental, mostrando diferencias significativas ($F= 72,25$; $p<0,05$), siendo superior durante la sequía, con a la temporada de lluvia, con valores de $10,03 \pm 1,92$ y $4,24 \pm 0,98$ mg C-CO₂ kg⁻¹ 24h⁻¹ de sedimento respectivamente (Figura 3). El comportamiento distributivo de la microbiota aeróbica en los manglares de Turpialito durante la sequía fue homogénea, mientras que durante la lluvia, hubo un aumento significativo de esta variable ($F= 6,74$; $p<0,05$), identificándose dos grupos, la estación I presentó los valores más bajos de RB, tendiendo a aumentar a partir de la estación II para mantenerse constantes los valores de RB en las estaciones III, IV y V durante las lluvias.

Cociente metabólico (qCO₂)

El mismo patrón estacional al Cmic y RB se observó en el qCO₂, obteniendo diferencias significativas entre los períodos ambientales ($F= 12,46$; $p<0,05$), siendo superiores para el período de sequía ($0,02$ mg C-CO₂ (mg Cmic 24h)⁻¹) (Figura 11 C) a pesar de no existir diferencias significativas entre las estaciones en este período ambiental ($F= 0,59$;

$p > 0,05$; Figura 12). No obstante, en la temporada de lluvia si se registraron diferencias significativas entre las estaciones ($F = 14,80$; $p < 0,05$), presentando el mismo patrón que la RB para este período ambiental, evidenciándose la formación de dos grupos homogéneos: valores bajos en la estación 1, con aumento progresivo de la actividad a partir de la estación 2 hasta la estación 5 (Figura 12).

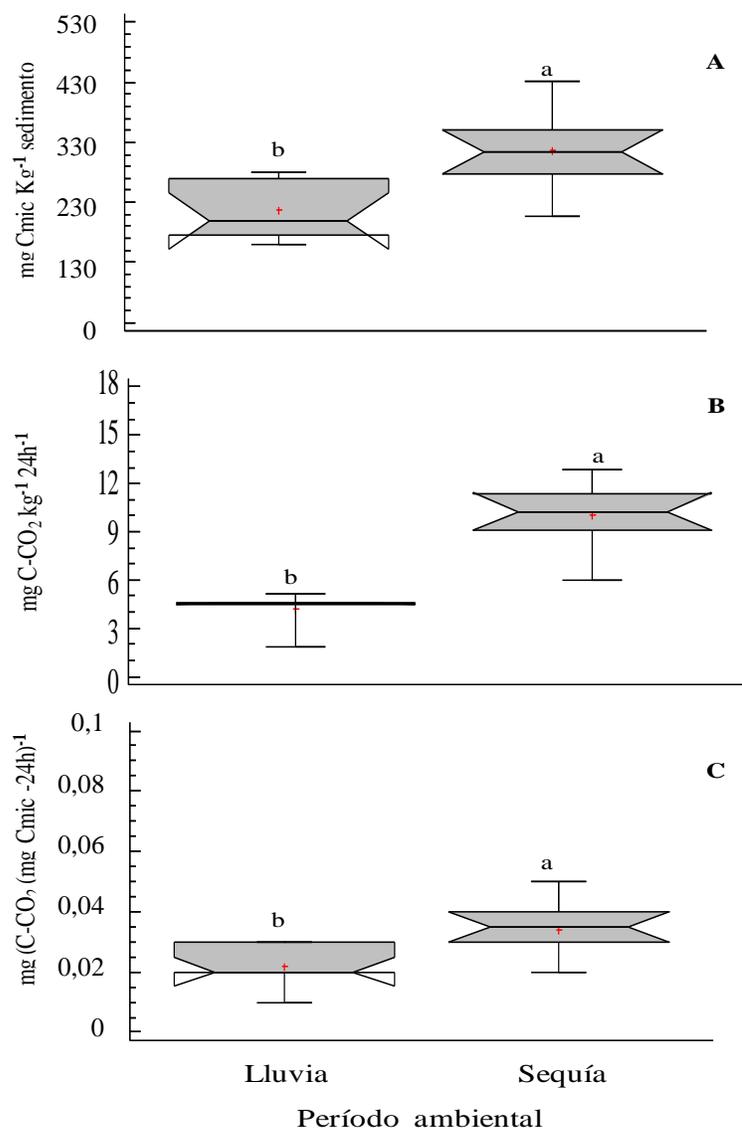


Figura 11. A. Variación de la biomasa microbiana (Cmic), B. Respiración basal (RB), y C. Cociente metabólico (qCO_2) entre período ambiental (lluvia y sequía) en los meses de julio y diciembre de 2016, en los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares.

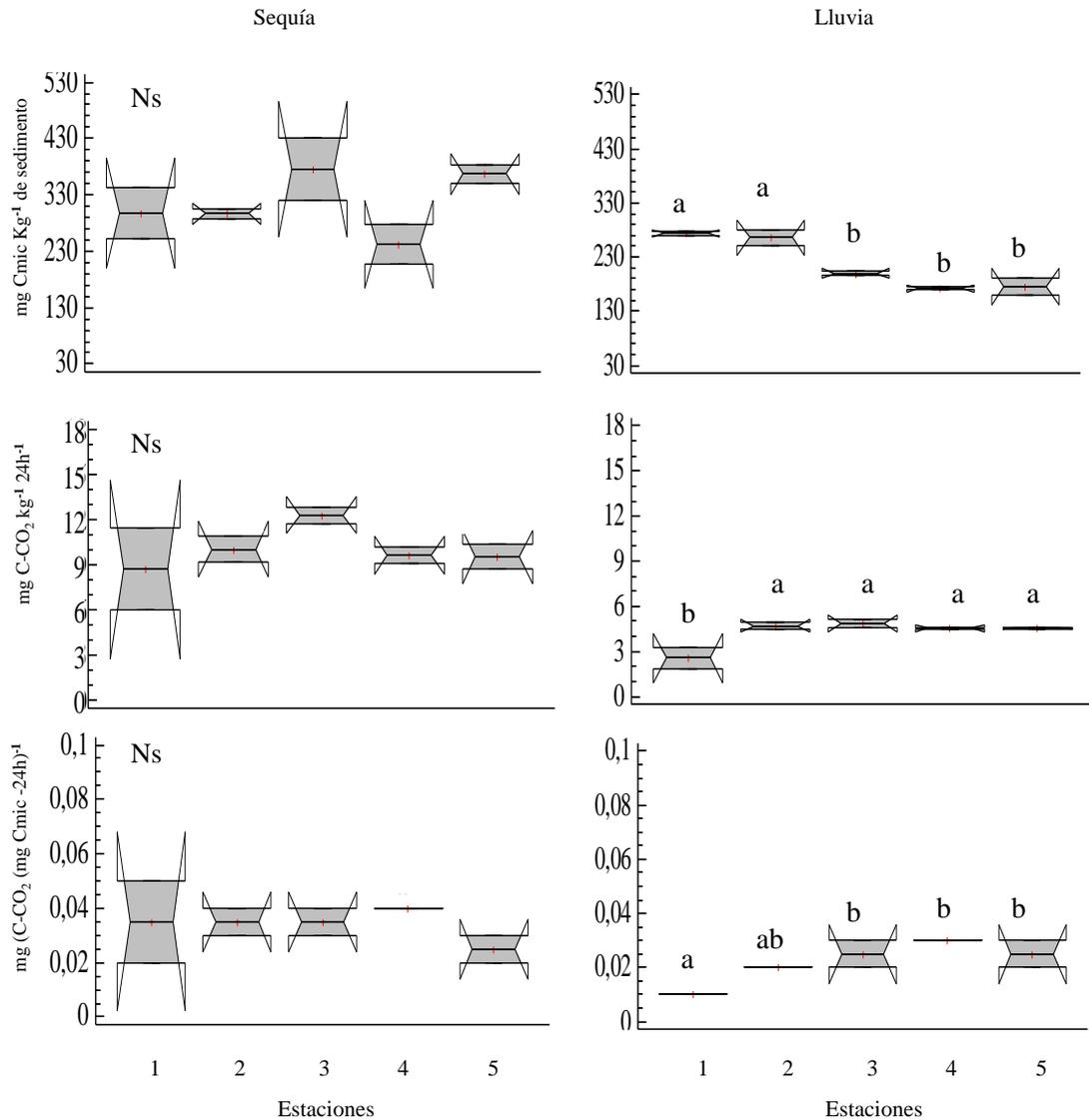


Figura 12, Variación espacial (entre estaciones) de la biomasa microbiana (Cmic), respiración basal (RB) y cociente metabólico (qCO_2) en sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito durante el período de sequía y el período de lluvia en los meses de julio y diciembre de 2016. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (LSD, $p < 0,05$). Ns: promedios estadísticamente similares.

Análisis de Correlación

Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para establecer los grados de asociación existentes entre la actividad microbiana y las demás variables analizadas (arena, limo, arcilla, carbono orgánico total, materia orgánica total, nitrógeno total,

fósforo total, temperatura, salinidad y pH) para los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de ensenada Turpialito durante el período de sequía, arrojando una asociación positiva entre las texturas finas del sedimento, pH, MOT, COT y NT con una ligera asociación con el PT, asimismo, hubo una asociación negativa entre el COT, MOT con la arena, y entre la RB y las texturas finas del sedimento. Por otra parte, se encontró una ligera asociación positiva entre la temperatura, salinidad, Cmic, RB, qCO₂ como se puede apreciar en la Tabla 3.

De igual manera, los coeficientes de correlación de Pearson entre la actividad microbiana y las demás variables analizadas, para los sedimentos superficiales de *Rhizophora mangle* de ensenada Turpialito durante el período de lluvia, observándose una asociación positiva entre la temperatura, salinidad, pH y % arenas. Al igual que en el mes de sequía, se pudo observar la relación positiva entre el COT y MOT, presentando estas últimas una asociación negativa con el contenido de NT y PT, mientras que el pH tuvo una correlación altamente positiva con el COT y MOT, observándose también, que la RB se comportó de manera independiente durante las lluvias y de manera antagónica; es decir, una asociación negativa entre el RB y las texturas finas del sedimento como la arcilla, y el Cmic en general se vio altamente afectado con la salinidad al obtener una correlación altamente negativa (Tabla 4).

Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito durante el período de sequía en el mes de julio de 2016.

| | %arcilla | %arena | %limo | COT | Cmic | MOT | NT | pH | PT | qCO ₂ | RB | Salinidad | T |
|------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------|---------|---------|---------|----------------|------------------|--------|-----------|--------|
| %arcilla | 1,0000 | | | | | | | | | | | | |
| %arena | -0,9418 | 1,0000 | | | | | | | | | | | |
| %limo | 0,9176 | -0,9978 | 1,0000 | | | | | | | | | | |
| COT | 0,9292 | -0,9733 | 0,9687 | 1,0000 | | | | | | | | | |
| Cmic | 0,1376 | -0,1339 | 0,1314 | 0,3410 | 1,0000 | | | | | | | | |
| MOT | 0,9362 | -0,9720 | 0,9658 | 0,9997 | 0,3423 | 1,0000 | | | | | | | |
| NT | 0,6650 | -0,8643 | 0,8917 | 0,7993 | 0,0715 | 0,7878 | 1,0000 | | | | | | |
| pH | 0,7018 | -0,8820 | 0,9054 | 0,8458 | 0,0146 | 0,8348 | 0,8744 | 1,0000 | | | | | |
| PT | 0,1756 | -0,3373 | 0,3645 | 0,1733 | -0,7418 | 0,1614 | 0,4281 | 0,6122 | 1,0000 | | | | |
| qCO ₂ | -0,2887 | 0,5278 | -0,5676 | -0,5893 | -0,5888 | -0,5742 | -0,7625 | -0,6016 | 0,0478 | 1,0000 | | | |
| RB | -0,0843 | 0,3653 | -0,4156 | -0,2093 | 0,4638 | -0,1899 | -0,7124 | -0,6202 | -0,7804 | 0,4383 | 1,0000 | | |
| Salinidad | 0,3414 | -0,1245 | 0,0802 | 0,2897 | 0,7576 | 0,3066 | -0,1818 | -0,2427 | -0,8428 | -0,0708 | 0,8063 | 1,0000 | |
| T | -0,3727 | 0,5079 | -0,5276 | -0,3347 | 0,7119 | -0,3255 | -0,5544 | -0,6911 | -0,9730 | 0,0000 | 0,7766 | 0,7333 | 1,0000 |

En negrita valores significativos a $P < 0,05$

Tabla 4. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos de *Rhizophora mangle* de la ensenada de Turpialito durante el período de lluvia en el mes de diciembre de 2016.

| | %arcilla | %arena | %limo | COT | Cmic | MOT | NT | pH | PT | qCO ₂ | RB | Salinidad | T |
|----------|----------------|----------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------|---------|--------|------------------|----|-----------|---|
| %arcilla | 1,0000 | | | | | | | | | | | | |
| %arena | -0,9949 | 1,0000 | | | | | | | | | | | |
| %limo | 0,9928 | -0,9998 | 1,0000 | | | | | | | | | | |
| COT | 0,9328 | -0,9605 | 0,9647 | 1,0000 | | | | | | | | | |
| Cmic | -0,3394 | 0,2623 | -0,2471 | -0,0493 | 1,0000 | | | | | | | | |
| MOT | -0,3394 | 0,2625 | -0,2473 | -0,0496 | 1,0000 | 1,0000 | | | | | | | |
| NT | 0,1655 | -0,1085 | 0,0973 | -0,1348 | -0,8290 | -0,8295 | 1,0000 | | | | | | |
| pH | -0,5464 | 0,4752 | -0,4609 | -0,2693 | 0,9730 | 0,9729 | -0,7717 | 1,0000 | | | | | |
| PT | 0,7579 | -0,7853 | 0,7897 | 0,8139 | -0,3306 | -0,3319 | 0,1805 | -0,4674 | 1,0000 | | | | |

Tabla 4. Continuación

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------|--------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| qCO ₂ | -0,8452 | 0,8100 | -0,8022 | -0,7518 | 0,5678 | 0,5674 | -0,1436 | 0,7169 | -0,6814 | 1,0000 | | | |
| RB | -0,7934 | 0,7296 | -0,7164 | -0,5389 | 0,7892 | 0,7887 | -0,5580 | 0,9016 | -0,4833 | 0,8539 | 1,0000 | | |
| Salinidad | -0,8314 | 0,8728 | -0,8798 | -0,8857 | 0,1067 | 0,1079 | -0,1401 | 0,2864 | -0,8948 | 0,5274 | 0,4325 | 1,0000 | |
| T | -0,4226 | 0,3569 | -0,3438 | -0,2391 | 0,8835 | 0,8833 | -0,4804 | 0,8925 | -0,4690 | 0,7857 | 0,7608 | 0,1354 | 1,0000 |

En negrita valores significativos a $P < 0,05$

DISCUSIÓN

La evaluación biogeoquímica de los suelos de manglares, brindan información sobre cambios y tendencias espacio-temporales frente a variaciones ambientales, que logran el mantenimiento de las zonas costeras, responsables de la renovación y suministro de nutrientes hacia el medio marino, indistintamente del período ambiental.

En este sentido, la temperatura y la salinidad intersticial fueron moduladas por el periodo ambiental. Los mayores valores de ambos parámetros se reportaron durante la sequía (28°C), lo que pudiese estar asociado a la radiación solar, permitiendo un incremento tanto de la temperatura como de la salinidad intersticial del suelo, por efecto de la evaporación; el cual es un comportamiento típico de los ecosistemas de manglares frente al aporte calórico por incidencia de radiación solar. En un estudio similar realizado por Palma y cols. (2015) señalaron que la prolongación en la incidencia de radiación solar permite el incremento térmico y salino del suelo, especialmente en áreas de menor cobertura vegetal, esto explicaría la variación de la temperatura y salinidad en este estudio espacialmente, en las zonas con menor desarrollo del manglar, como se encontró en las estaciones 3, 4 y 5, donde se registraron los mayores valores.

En contraste, durante el período de lluvia, el aporte de agua por escorrentía que llega a la zona del manglar en la ensenada de Turpialito, permite la disminución de estas variables, de hecho los valores fueron menores a los obtenidos en sequía, al respecto, Martínez (2013) señaló que el aporte de agua exógena permite la disminución de la temperatura y la salinidad, principalmente en períodos de lluvia, en los manglares de Tumulco en México, donde las condiciones meteorológicas modulan la poca variación de estas variables durante las lluvias, resultados también observados por Palma y cols., (2015) para sedimentos de *R. mangle*. Es importante mencionar que López y Ezcurra (2002) mencionaron que la salinidad de los sedimentos de *Rhizophora* sp y *Laguncularia* sp son menores en presencia de una mayor cobertura de las mismas, un factor que es determinante en el éxito ecológico de las comunidades de manglares, al tener sus óptimos ecológicos cercanos a sus óptimos fisiológicos.

Los valores de pH intersticial de los manglares de Turpialito fueron ligeramente ácidos en ambos períodos de estudio, los cuales pudieron estar asociados por una elevada tasa de descomposición en etapas tempranas de la materia orgánica, liberando iones H^+ , que según Hall (2002) influye en el descenso del pH, siendo mencionado en distintos estudios (Routray y cols., 1996; Almeida y Restrepo, 2008; Sadeghian, 2016). Valores similares han sido reportados para *R. mangle* por otros autores como Ferreira y cols. (2007) para manglares de Brasil, Palma y cols. (2015) en México, y en Venezuela, Sánchez y cols. (2010) para los manglares de Laguna La Restinga y Romero y Meléndez (2013) para manglares del estado Falcón, reportando niveles de pH ligeramente ácidos, los cuales son característicos de sedimentos de manglares.

Durante la formación del detritus, se produce la liberación de proteínas, cuya descomposición tiende a disminuir la acidez, debido a que el grupo amino ($-NH_2$) de las moléculas proteicas funciona como base (Hamilton y cols. 1992), lo que explicaría los niveles ligeramente ácidos significativos de pH encontrados en ambos períodos ambientales, particularmente en las áreas con importante presencia de hojarasca, especialmente en las estaciones 1, 2 y 3. De igual manera, es importante mencionar que, los valores más altos de pH encontrados en las estaciones 3, 4 y 5 con respecto a las estaciones 1 y 2 en el período de lluvias, podrían estar influenciados por el carácter hidromorfo del lugar, que se produce durante aumentos de la marea, al eliminar iones Cl^- o introducir iones CO_3^{2-} y HCO_3^- , coincidiendo con la mayor influencia de la marea en las últimas estaciones estudiadas, por lo cual, no solo los procesos biológicos que ocurren en los sedimentos están modulando esta variable, lo que es característico de aguas marinas influenciadas por la surgencia costera estacional, así como ocurre en el nororiente de Venezuela, especialmente en el Golfo de Cariaco, donde se reportan valores altos de pH del agua para este período (Márquez y cols., 2011; Rivero, 2012; Rodríguez y Gómez, 2016; Frontado, 2017) coincidiendo en este estudio con el aporte de lluvias. No obstante, el bajo valor de pH para la estación 1 durante las lluvias, es indicativo de una zona anaeróbica por su carácter anegado durante la lluvia impidiendo la difusión de O_2 en el suelo, creando condiciones anóxicas en dicha estación, lo cual

propicia procesos mineralizantes de la materia orgánica, según lo establecido por Breemen y Buurman (1998), lo que concuerda no solo con altos porcentajes de MOT encontrados (Figura 10), sino también con los bajos niveles de actividad microbiana aeróbica en dicha estación durante las lluvias como se reporta más adelante (Figura 12).

La predominancia de arenas (78-80%) en el sedimento a lo largo de los manglares de ensenada Turpialito en los períodos ambientales estudiados, ratifica que en estos ecosistemas prevalece este tipo de diámetro medio del grano, independientemente de la variabilidad ambiental del lugar, coincidiendo con estudios de esta índole, reportados para distintos sectores del Golfo de Cariaco asociado con la hidrodinámica de sus aguas (Quintero y cols., 2005; Bulmer y cols., 2015; Mangones, 2015; Gotera, 2016).

El incremento de texturas limosas durante las lluvias en la estación 1, pudo estar asociada en gran medida a los desechos orgánicos provenientes de la actividad antropogénica aledaña, ya que en esta estación desemboca un desagüe que puede traer consigo material orgánico en forma de partículas limosas, incrementando dicha textura en esta estación. El patrón en las distintas estaciones en la proporción textural limosa y arcillosa observada en el suelo de *R. mangle* de Turpialito, donde los sedimentos de las estaciones 1, 2 y 3 con una importante presencia de hojarascas, contenían altas proporciones de MOT, puede deberse a la relación de estas texturas a la MO, tal como lo mencionan Rojas y Silva (2003), quienes señalaron que las texturas limosas y arcillosas poseen cargas negativas superficiales, lo cual facilita su interacción y adsorción con la MO, patrón encontrado también para manglares de esta especie en Bahía de Pertigalete por Rodríguez y Gómez (2016), y en los sedimentos de la zona marina adyacente a los manglares de Turpialito por Gotera (2016) reportando alto contenido de MO (98%) con respecto a la ensenada de Carenero (59%), asociado a la producción de detritus gracias al material orgánico proveniente de los manglares, así como también por los vientos que se generan en la zona, los cuales permiten la re suspensión del sedimento, manteniendo la producción de seston orgánico independientemente de los períodos de surgencia o estratificación que se produce en el Golfo de Cariaco.

Por otra parte, la proporción de texturas arcillosas encontradas en ambos períodos ambientales fue baja (7%) con respecto a la proporción de texturas limosas (13-15%), lo cual se desvía de la tendencia general reportada para ecosistemas de manglares, un comportamiento que se relaciona a un factor importante como la hidrodinámica de la ensenada, donde las corrientes generadas durante pleamar y bajamar permiten procesos de lavado del sedimento y distribución de las fracciones texturales finas, como las arcillas, hacia la zona de aguas someras de los manglares, comportamiento que coincide con lo reportado por Aguilera (2005), quien señaló que la distribución textural de los sedimentos está condicionada a factores como la velocidad y dirección de los vientos y a las diversas corrientes que se generan, condicionado en Turpialito por el tipo de manglar (manglar de borde), que permite la fácil influencia por las mareas, lo cual explicaría también, la distribución de arenas en la ensenada, mayores porcentajes en las áreas con influencia directa del agua de mar. En este sentido, Gotera (2016) reporta para la ensenada de Turpialito, predominancia en las texturas arcillosas (25%) sobre las limosas (4%) para los sedimentos de las aguas someras de los manglares, permitiendo aseverar que la distribución espacial de los sedimentos se debe a las diversas corrientes generadas durante los eventos de pleamar y bajamar, lo cual es característico de estos ambientes, sobre todo cuando hay presencia de mangle rojo, donde sus raíces adventicias, tienden a amortiguar los embates del oleaje, permitiendo la deposición de material en suspensión, comportamiento que ha sido observado por distintos autores en ecosistemas costeros (Rivero, 2012; Gómez y cols., 2013; Mata, 2016) y de manglares (Calva y Torres, 2011; Silva y cols., 2015; Romero y cols., 2016), .

Los contenidos de COT, MOT y PT en los sedimentos superficiales de los manglares de Turpialito fueron independientes del período ambiental, lo que sugiere un aporte continuo de dichos elementos al sedimento, mientras que el incremento sostenido en estas variables estuvo asociado al contenido de material orgánico en los mismos y a la densidad de vegetación del manglar, coincidiendo con lo reportado por Romero y cols. (2016) para la Isla de Margarita, quienes reportan una distribución de estos nutrientes asociados a la presencia de manglares bien desarrollados. Los picos obtenidos en las

proporciones de COT y MOT en las tres primeras estaciones a lo largo del estudio, permite afirmar lo antes mencionado, que los elementos biogénicos en forma de COT reflejan su proveniencia del material orgánico en descomposición, procedentes del manglar, al formar el CO parte importante de la MO, de igual manera, el aporte de agua residual producto a la existencia de tuberías de aguas negras que desembocan entre la estación 1 y 2, pudieran estar aportando MO en esa franja de manglares, sitios que también presentaron altos porcentajes de limos y arcilla, teniendo la particularidad que en los sedimentos con fracciones granulométricas finas (limos y arcillas), pueden acumularse mayores concentraciones de carbono orgánico (Dássele, 2004).

También es importante destacar, la actividad carcinofaunística observada en las tres primeras estaciones, con importante número de madrigueras (observación personal), sitios donde se obtuvieron los mayores promedios en el contenido de MOT y COT, lo cual pudiese estar influenciando un aporte del contenido de estos a pequeña escala. Estudios previos indican que la actividad de los cangrejos en sedimentos de manglares, permite aumentar los contenidos de materia orgánica gracias a la perturbación del medio durante la construcción de sus madrigueras (Jones y cols., 1994; Boto, 2001), por tal motivo se hace necesario realizar un estudio de bioturbación o bioperturbación a través de la actividad carcinofaunística en los sedimentos de manglares de Turpialito, que permitan mostrar la magnitud de la misma, y su influencia en el suelo como ingenieros del ecosistema.

Las proporciones de MOT y COT encontrados en este estudio se encuentran en el rango de los reportados por Méndez y cols. (2011) para sedimentos superficiales en Laguna Las Marite, y por Romero y Meléndez (2013), las cuales variaron de 2-5% en sedimentos de distintas especies de manglares en Golfete de Coro y Península de Paraganá en el estado Falcón, al igual que en sedimentos de manglares no perturbados de Nueva Zelanda con valores promedios de 3,6% de CO (Bulmer y cols., 2015), y más recientemente por Velásquez y cols. (2016) para Laguna La Restinga, donde las propiedades de estos ecosistemas están moduladas por el aporte de material orgánico y

la hidrodinámica en el bosque de manglar, que permite el flujo y deposición de materiales en el sistema, por lo que se destaca la importancia del dinamismo entre los sedimentos de manglares y la masa de agua en la regulación de los nutrientes en los ecosistemas marino-costeros, especialmente porque la composición del sedimento con respecto al contenido de MOT, es indispensable para el sostenimiento y distribución de las comunidades bentónicas, así como también en comunidades epibentónicas en las raíces del mangle rojo *R. mangle*, lo cual ha sido ampliamente demostrado (Grey y Elliot, 2009; Cedeño y cols., 2010; Acosta, y cols., 2014; Gotera, 2016).

El alto contenido de NT en los sedimentos durante la sequía (396,73 mg Kg⁻¹ de sedimento) con respecto a los obtenidos durante la lluvia (286,48 mg Kg⁻¹ de sedimento) indica la importancia y la intensidad de los procesos biogeoquímicos que prevalecen durante las sequías, y ya que la naturaleza de compuestos nitrogenados es de material orgánico (Pellerín y cols., 2004), su distribución espacial está determinada por el aporte de dicho material, lo que podría explicar altos valores encontrados en las estaciones 1 y 2 en ambos períodos ambientales en los sedimentos de *R. mangle* en ensenada Turpialito, áreas con evidente aporte de material vegetal, que coinciden además con los máximos contenidos de COT y MOT en este estudio y la mayor biomasa microbiana encontrada, mientras que, los menores valores encontrados en la estación 3 durante las lluvias (207,30 mg kg⁻¹ 207,30 mg kg⁻¹ de sedimento) parece indicar su continuo intercambio con las masas de aguas, al ser lavadas por el aporte de agua y estar más influenciada por las corrientes del mar.

Los valores promedios obtenidos en esta investigación, se encuentran por encima de los reportados para otros manglares en otras latitudes, entre ellos Moreno y cols. (2002) quienes reportaron niveles de 0,1-0,5 % NT en sedimentos de *R. mangle* en Tabasco, México, o Figueroa y Álvarez (2011), encontraron valores de NT entre 0,27-0,49 % en el Pacífico colombiano; mientras que, para manglares de Venezuela Fuentes y cols. (1997) reportaron en la Laguna de Chacopata con 1,80 mg Kg⁻¹, al valor de 193,50 mg Kg⁻¹ de la ensenada Grande del Obispo por Bonilla y cols. (2003), pero por debajo de los

niveles reportados por Velásquez y cols. (2016) para Laguna La Restinga con $787,63 \text{ mg Kg}^{-1}$, indicando que la principal fuente de nitrógeno en los sedimentos marinos es la materia orgánica, y mediante su descomposición bacteriana se libera el NH_4^+ contribuyendo al contenido de nitrógeno en los sedimentos.

Es necesario mencionar que el pico en el contenido de NT obtenido en la estación 4 durante las lluvias puede deberse al uso de abono o fertilizantes por parte del asentamiento urbano inmediato a la estación 4, y que por efecto de las lluvias y la corriente en las mareas, permiten un depósito de los mismos en estos sedimentos, ya que en los detergentes se encuentran compuestos nitrogenados, los cuales están presentes en altas cantidades en las aguas de desechos domésticos. De La Lanza y Cáceres (1994) señalaron que los asentamientos urbanos incrementan el contenido de nitrógeno por el aporte de aguas de desechos y que se encuentra modulado por las características de circulación y corrientes locales, un patrón también observado en la zona sur de la Laguna Los Patos en el estado Sucre por Márquez y cols. (2007), indicando posibles aportes desde las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas. Esto demuestra la importancia de los sedimentos en el control de compuestos nitrogenados en ecosistemas marino-costeros, permitiendo retener altos niveles de NT sin que se afecte la productividad de las aguas.

El alto contenido de PT en las zonas con mayor proporción de COT y MOT (estaciones 1, 2 y 3), demuestra que el PT es originado a partir del material detrítico orgánico en ambos períodos ambientales ($102,61\text{-}97,29 \text{ mg Kg}^{-1}$ de sedimento durante la sequía y las lluvias respectivamente), donde el aporte de agua producto de las lluvias pudiese estar permitiendo un lavado de especies fosfatadas en los sedimentos de Turpialito. Valores similares fueron reportados para los sedimentos de los manglares de la zona central de Laguna de Los Patos en el estado Sucre, relacionadas a las texturas areno-limosas y areno-arcillosas del sedimento (Márquez y cols., 2007), encontrándose además, cantidades superiores a los $900 \text{ mg de PT Kg s}^{-1}$ de sedimento en las zonas de vertedero de aguas residuales, lo que evidencia la importancia de los sedimentos de manglares en

la retención de nutrientes y el control de la productividad. Asimismo, la alta proporción de PT en las estaciones 1 y 2 en ambos períodos, indican la influencia de desechos urbanos a través de las tuberías que desembocan en estas estaciones. No obstante, el pico encontrado en el contenido de PT en la estación 4 durante el mes correspondiente a sequía, puede deberse a la naturaleza de los compuestos fosfatados, la cual puede estar ligada a la presencia de ambiente rocoso cercana a la estación, trayendo consigo compuestos fosfatados, o bien estar modulados a la presencia de carbonato de calcio, gracias a que este está ligado al fósforo en su fracción inorgánica, formando fosfato cálcico en solución sólida biogénica de CaCO_3 ($\text{CaCO}_3\text{-P}$), un comportamiento que según Sadiq (1992) controla las concentraciones de fósforos en ambientes marinos.

En este sentido, es importante resaltar la influencia de los manglares de Turpialito en la masa de agua de la ensenada, donde el transporte de material orgánico junto a texturas finas del sedimento, producto de las mareas hacia la zona influenciada por las aguas marinas, permiten el depósito de bioelementos en la zona, siendo allí donde se completan en mayor medida procesos oxido-reductivos de la MO. De esta manera, se sugiere realizar este estudio en los sedimentos superficiales en los cuerpos de aguas someras de los manglares en Turpialito.

Un punto importante que hay que resaltar en este estudio, es el hecho de haber encontrado los mayores contenidos de nutrientes en las tres primeras estaciones, independientemente del período ambiental, áreas que según investigaciones anteriores muestran el mayor desarrollo estructural del manglar rojo (Bello y cols., 2014; La Manna, 2018). Por lo que, el génesis de la población de manglares de la especie *R. mangle* de Turpialito pudo haber sido en dichas estaciones, y que luego colonizaran el resto de la costa en la ensenada, y debido a su historia, por ser la primera zona en colonizarse, pudo haber generado una acumulación de estos nutrientes en el suelo, repercutiendo en la actualidad en sedimentos ricos en nutrientes en las primeras tres estaciones.

Con respecto al componente microbiano de los sedimentos, el cual es importante en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica del suelo, que permite movilizar y hacer biodisponible los distintos elementos en el ecosistema, puede verse afectado por distintas razones, una de ellas es la variabilidad ambiental, lo cual se evidenció en este estudio, donde la actividad de la biomasa microbiana se vio afectada por el aporte de agua producto de las lluvias, produciendo una disminución significativa de la actividad de la microbiota del suelo, con respecto al mes de sequía, por lo cual, es posible que las poblaciones microbianas de los sedimentos de Turpialito sean halotolerantes estables, y que se encuentren adaptadas a las condiciones características de la sequía, por lo que, según los resultados obtenidos, el ingreso de agua producto de las lluvias puede afectar la biomasa microbiana, causando estrés osmótico; comportamiento que ha sido observado para este tipo de ecosistemas por Paolini y Sánchez (2008) y Sánchez y cols. (2010), quienes señalaron que las poblaciones microbianas muestran actividades que sugieren su adaptación fisiológica a ambientes salinos e inundables, sujetos a cambios drásticos debido a las dinámicas climáticas e hídricas.

En este estudio, la actividad microbiana fue modulada espacialmente por la disponibilidad de COT y MOT presente en el medio, indiferentemente del período ambiental, lo que sugiere la utilización eficaz del carbono lábil por parte de la comunidad microbiana, a pesar de no haber existido diferencias significativas en el contenido de COT y MOT entre los períodos ambientales, evidenciando la importancia del estudio de ecofisiología microbiana como componentes activos del suelo. En este sentido, la incorporación de nutrientes a partir de materiales orgánicos, provoca un aumento en la biomasa microbiana del suelo, permitiendo estimular el crecimiento de la microbiota por la incorporación de nuevas fuentes de carbono, como también fue reportado por Segnini y cols. (2013), en donde la relación que tiene la MOT con los sedimentos de texturas finas, tiene también como consecuencia, un efecto positivo a la biomasa microbiana, lo que concuerda con los mayores contenidos de texturas finas de

sedimentos y la mayor actividad de la biomasa microbiana en ambos períodos ambientales estudiados.

La actividad carcinofaunística observada en las estaciones 1 y 2 durante las lluvias, pudieron favorecer además la actividad de microorganismos reportada en dichas estaciones, mostrando la importancia de los cangrejos en la descomposición de la materia orgánica como lo mencionan Twilley y cols. (1997) y Yáñez y cols. (1998), lo cual refuerza la hipótesis antes señalada, y que debe ser corroborada con la realización del estudio de la actividad bioturbadora o bioperturbadora en los manglares de la Ensenada. La distribución heterogénea de las poblaciones microbianas en las diferentes estaciones en ambos períodos ambientales, muestran el origen heterotrófico de las mismas, relacionadas al contenido de MO. En este sentido, Ramos y cols. (2016) reportan para otras latitudes que la tasa respiratoria por Cmic, probablemente posee una relación con el contenido de la materia orgánica en los sedimentos para distintas especies de manglares, como *Avicennia* sp, *Laguncularia* sp y *Rhizophora* sp en la Goajira colombiana.

Casi el 90% de los microorganismos del suelo son de origen heterotrófico, a los que se pueden sumar además, metabolismos fermentadores, esto según lo señalado por Canfield *et al.* (2005). En consideración a lo antes mencionado, la conducta de la actividad heterotrófica de la microbiota del suelo en este estudio permite considerar que, la mayoría de los microorganismos que componen las comunidades microbiológicas del sedimento de *R. mangle* en la ensenada de Turpialito pertenecen a tipo de metabolismo heterotrófico, siendo entonces una excelente herramienta para la estimación de actividad microbiana en sedimentos de manglares.

De igual manera, la actividad aeróbica de la biomasa microbiana (RB) se vio afectada por el aporte de lluvia, debido posiblemente a que en este período el aporte de agua sustituye en los poros de los sedimentos el aire por agua, disminuyendo en gran medida las concentraciones de oxígeno, redundando en una disminución de la actividad

microbiana aeróbica, de igual manera, durante las lluvias, en donde significativamente las estaciones 2, 3, 4 y 5 mostraron una actividad aeróbica superior, con respecto a la estación 1, asociado probablemente a que exista en esta última una actividad microbiana anaerobia, coincidiendo con los mayores contenidos de COT, ligeramente por encima de los encontrados durante la sequía; además, la presencia de coloraciones oscuras y olor a H₂S observados en los sedimentos de dicha estación, evidenciando la acumulación de CO en los sedimentos de Turpialito por la lenta descomposición de la MO en condiciones anaeróbicas, una característica de estos ecosistemas como sumideros de C. Este comportamiento del componente de la microbiota aeróbica y del carbono bajo condiciones limitadas de O₂ es típico de este tipo de ecosistemas, lo que particularmente los condiciona como secuestradores de carbono, que ha sido ampliamente reportado (Fujimoto, 2000; Alongi, 2002; Moreno y cols., 2002; Valdés y cols., 2011).

La variabilidad obtenida en la RB, significativamente alta durante la sequía con respecto al período de lluvia, sugiere que las propiedades de las comunidades microbianas en los sedimentos superficiales de *R. mangle* en la ensenada de Turpialito, son sensibles a los cambios medioambientales que puedan ocurrir en el ecosistema a corto plazo; indicando además, una absorción eficaz de la MO por parte de la microbiota del sedimento, lo cual se constata con una actividad eficiente de la misma observada con el qCO₂ (Figura 11).

No se descarta la presencia de una sucesión ecológica de microorganismos aerobios a anaerobios en la ensenada de Turpialito, permitiendo su coexistencia; sin embargo, es necesario realizar un estudio de actividad microbiana anaerobia que permita afirmar lo antes expuesto. Resultados similares con respecto a la variabilidad en el período ambiental, fue reportado para sedimentos de *R. mangle* por González y cols. (2010) en México, observando predominancia de la actividad microbiana aeróbica en sequía, y por Rodríguez y Gómez (2016) para los manglares de la especie *R. mangle* en la Bahía de Pertigalete en el estado Anzoátegui en Venezuela, lo que evidencia la sensibilidad de estos parámetros, frente a cambios medioambientales, de comunidades microbianas en ecosistemas marino-costeros.

La confirmación de alta biomasa microbiana y la respiración aeróbica encontrada en este estudio, especialmente en las primeras tres estaciones, evidencia la devolución de nutrientes al ecosistema por parte de la microbiota del suelo, particularmente debido a que en estas estaciones fueron encontrados los picos en el contenido de NT en los sedimentos, y esto está relacionado generalmente con la presencia de materia orgánica descompuesta, y no necesariamente con el contenido de MOT, así como también lo mencionó Figuera (2008), quien reportó que la existencia de una mayor actividad biótica, aumenta el contenido de NT en el suelo, gracias a la descomposición, transformándose a nitritos, nitratos y amonios, disminuyendo la MOT.

Los valores inferiores de qCO_2 encontrados durante las lluvias, parece indicar que durante estas, hay una actividad de la biomasa microbiana eficiente, puesto que valores bajos de este parámetro indican una utilización del carbono disponible para la biosíntesis celular, más que para el mantenimiento de la respiración (Wardle y Ganhi, 1995), como también lo mencionan Gómez y cols. (2013) para los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco. Aunque es importante señalar que, si bien hubo diferencias significativas de este parámetro entre período ambiental, los valores promedios para ambos, son reflejo de una actividad microbiana eficiente, esto comparado con estudios similares, cuyos valores son cercanos a 1 o superiores a este, lo que podrían reflejar una posible respuesta ante la fuente de carbono; o bien indicar una situación ante un estrés ambiental (Dilly, 2001). Infante y cols. (2008) reportaron niveles qCO_2 por encima de los 30 mg (C- CO_2 (mg Cmic^{-24h})⁻¹) en sedimentos de manglares perturbados, por productos derivados del petróleo en Brasil, demostrando claramente el estrés causado a las poblaciones microbianas sobre la reproducción (Anderson y Domsh, 1990; Infante y cols., 2008), resultando una utilización de los recursos para el mantenimiento de la respiración.

Es importante mencionar que, en este estudio, durante la sequía, se obtuvo una mayor desviación estándar en los parámetros microbianos evaluados, evidenciando que probablemente en este período existen diversos microhábitats y la distribución de la microbiota sea heterogénea, dependiendo de diferentes factores, primeramente y en gran

medida, de la cantidad y calidad de los bioelementos en el sedimento, así como también de material orgánico, permitiendo observar niveles amplios de actividad microbiana, lo cual es una tendencia característica en ecología microbiana, como también lo mencionan Atlas y Bartha (2002).

La positiva correlación entre la temperatura y la salinidad evidenciaron la importancia del aporte calórico solar en el mantenimiento de las características salinas de los sedimentos superficiales en la zona de manglar de Turpialito, circunstancia que no afecta la actividad microbiana, al tener óptimos ecológicos en condiciones halófilas y mesófilas. Por su parte, la respiración aeróbica de la biomasa microbiana presentó una correlación positiva con el porcentaje de arenas, hecho que puede favorecerse gracias a que en las arenas, la compactación del sedimento es menor, permitiendo espacios intersticiales para la difusión de O₂ y utilización del mismo en el metabolismo energético aeróbico.

Durante la degradación de la materia orgánica, ocurren procesos de degradación microbiana que posteriormente permiten la mineralización de la misma, permitiendo la alteración del ambiente donde ocurre, de acuerdo a esto, la relación positiva entre el pH y las partículas limo-arcillosas del sedimento de los manglares de Turpialito, es atribuido al contenido de materia orgánica de los mismos, lo que concuerda con la variación de las hojarascas en distintos grados de descomposición observado durante la sequía y la alta correlación obtenido entre el pH y los contenidos de MOT y COT en los sedimentos de *R. mangle* en la ensenada de Turpialito.

Asimismo, la asociación entre la MOT, COT, NT y PT en el período de sequía, permite afianzar la hipótesis del origen orgánico de estos compuestos, principalmente los fosfatados, ya que estos son geoquímicamente similares, tal como lo menciona López (2002). Sin embargo, La poca asociación de la MOT, COT y PT durante las lluvias, parece indicar la inclusión de especies fosfatadas provenientes de la erosión producto de las escorrentías gracias a las lluvias. Mientras que la leve asociación positiva entre el NT

y el PT en ambos períodos ambientales (sequía y lluvia) se debe a que su distribución y composición son similares por sus funciones en ecosistemas marinos (López, 2012; Rivero, 2012). Por otro lado, la asociación con las texturas limosas y arcillosas en los sedimentos se debe a su retención a través de intercambio catiónico posterior a la descomposición de la MO.

Con respecto a la relación inversa entre el pH y las texturas finas del sedimento durante la lluvia, puede explicarse a causa del aporte mareal, especialmente durante el comienzo de la surgencia costera, donde ocurre un aumento de iones CO_3^{2-} y HCO^{-3} en el agua marina, que permiten incrementar el pH, denotando la influencia de la surgencia costera y los eventos mareales con el ecosistema de manglar, ratificando su característica como ambiente dinámico.

La materia orgánica que ingresa a los sedimentos en los manglares, forman parte importante para la colonización de microorganismos que permiten su descomposición y mineralización, y durante ese proceso, la actividad microbiana a través de distintas actividades metabólicas, permiten la disminución del material orgánico, cambiando su tamaño y textura, trayendo como consecuencia la formación y contribución de sedimentos al ecosistema. Lo antes expuesto, permite dar respuesta a la correlación positiva entre el Cmic y las texturas finas del sedimento de los manglares de ensenada Turpialito.

Este estudio permitió generar información básica sobre algunas propiedades biológicas, físicas y químicas de los sedimentos superficiales de *R. mangle* de ensenada Turpialito, y de las relaciones existentes desde el punto de vista biogeoquímico; además, las variaciones espacio-temporales que permiten el mantenimiento de este ecosistema, siendo el primer reporte relacionando el componente microbiano con algunas propiedades geoquímicas en sedimentos de manglares en el Golfo de Cariaco.

La población de *R. mangle* de la ensenada de Turpialito poseen sedimentos de calidad,

permitiendo funcionar como un ecosistema natural sin perturbación, manteniendo la productividad y mejorando así la calidad del agua adyacente; de manera general, la actividad microbiana en estos sedimentos se distribuyó de acuerdo a la cantidad del carbono lábil asociado a la MOT principalmente de origen vegetal, asimismo, se caracterizó por presentar metabolismos dominantes en períodos ambientales diferentes, una mayor actividad aeróbica durante las sequías y en los sedimentos con mayores porcentajes de arena, seguidos como transición, de una posible colonización de microorganismos anaerobios durante la presencia de lluvias y asociado a texturas limo-arcillosas, creando ambientes diferentes en la degradación de la materia orgánica y del detritus, influyendo de manera directa en el ecosistema marino adyacente, debido a las mareas de bajamar y pleamar, creando una vía detrítica hacia las aguas someras de los manglares independientemente del período ambiental, generando un patrón característico en la distribución granulométrica del lugar, permitiendo la mineralización de la MO, devolviendo los nutrientes al sistema, ratificando el dinamismo de los manglares como ecosistemas de transición. De igual manera, se corrobora la sensibilidad de los parámetros evaluados frente a variaciones ambientales, constituyendo una importante línea base para futuras evaluaciones y comparaciones, de estos ecosistemas dentro del Golfo de Cariaco, para políticas de protección y conservación, especialmente por la importancia de este valioso ecosistema.

CONCLUSIONES

Los parámetros ambientales (temperatura, salinidad y pH intersticial) fueron modulados por el período ambiental (lluvia y sequía).

El sedimento de los manglares de Turpialito se caracterizó por ser arenoso en ambos períodos ambientales. Espacialmente, tanto en la sequía como en la lluvia, la distribución de texturas limosas y arcillosas estuvo determinada por las mareas e inclusión de material orgánico.

Los niveles de COT, MOT, NT y PT en los sedimentos de Turpialito no se vieron afectados por los períodos ambientales, estando influenciados espacialmente en ambos períodos (lluvia y sequía) por el material vegetal primordialmente, con efecto añadido de aguas residuales de origen antrópico.

La actividad microbiana (C_{mic}) fue mayor en sequía y espacialmente siguió la distribución del contenido de COT, MOT, NT y PT.

La respiración aeróbica (RB) fue mayor en el mes de sequía y estuvo modulada en las estaciones por las características texturales del sedimento.

El cociente metabólico (qCO_2) fue menor durante la lluvia; sin embargo, no reflejó desequilibrio por parte de los microorganismos del suelo, tendencia observada espacialmente en ambos períodos ambientales.

La temperatura en sequía, fue el factor modulante de la actividad microbiana, asociado al contenido de MOT. Mientras que durante la lluvia la salinidad afectó la actividad microbiana en los sedimentos, siguiendo de igual manera la distribución de la MOT y COT.

RECOMENDACIONES

Replicar este estudio en los manglares de Turpialito, para crear una base de datos, y observar patrones de comportamiento de las variables analizadas, frente a los cambios medioambientales, así como promoverlo en otros manglares dentro del Golfo de Cariaco, que permitan su contraste y comparación, para crear políticas y planes de conservación en posibles condiciones desfavorables que puedan amenazar este valioso ecosistema.

Hacer un estudio con las características evaluadas en esta investigación en la zona de los manglares influenciadas directamente por la masa de agua, para ampliar la información sobre la vía detrítica en este ecosistema.

Evaluar la actividad microbiana anaeróbica en la ensenada, como parte fundamental de procesos reductores de la MO, transformante de material textural de los sedimentos y productores de sustancias orgánicas de gran interés comercial.

Ejecutar un estudio de producción de hojarascas de los manglares de la ensenada de Turpialito, que permita registrar las tendencias espacio-temporales de producción, en todo el borde costero de la ensenada y obtener información de la materia que pueda ser exportada al ecosistema marino adyacente.

Corroborar la actividad bioperturbadora en los sedimentos de manglares, como parte fundamental en la descomposición de la materia orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, V.; Betancourt, R. y Prieto, A. 2014. Estructura comunitaria de bivalvos y gasterópodos en raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en isla Larga, bahía de Mochima, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 66: 551-565.
- Acosta, V. y Prieto, A. 2015. Producción secundaria del mejillón verde *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) en cultivo de fondo. *Rev. Cient. FCV-LUZ*, 15: 481-487.
- Adams, A. y H. Duncan. 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: 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. Tesis de Maestría. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Alef, K. y Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editor S.A., México. 491 p.
- Almeida, J. y Restrepo, J. 2008. Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). *Limnetica*, 27 (2): 195-210.
- Alongi, D.; Christoffersen, P. y Tirendi, F. 1993. The influence of forest type on microbial-nutrient relationships in tropical mangrove sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Eco.*, 171: 201-223.
- Alongi, D. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environ. Cons.*, 29, 331-349.
- Alongi, D. 2009. *The energetics of mangrove forests*. Springer, London.
- Anderson, T. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 98: 285-293.
- Anderson, J. y Domsch, K. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 10: 215-221.
- Anderson, T. y Domsch, K. 1990. Application of eco-physiological quotients ($q\text{CO}_2$ and $q\text{D}$) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biolo. Biochem.*, 22: 251-255.

Arumugam, A. y Sugirtha, P. 2015 Nutrient distribution of core sediments in the mangroves of Manakudy estuary, Southwest coast of India. *Internat. Resea. Journ. Environ. Scienc.*, 4 (1): 11-15.

Asaeda, D. 2013. Estudio de metales en sedimentos recientes de la región marino-costera de Puertos de Sucre, Cumaná, Venezuela. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná.

Atlas, R. y Bartha, R. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Cuarta edición. Addison Wesley. Madrid, España. 677 p.

Bello, J.; Velásquez, R.; Acosta, V.; Marchan, C. y Acevedo, D. 2014. Análisis estructural del manglar presente en la ensenada de Turpialito, municipio Bolívar, estado Sucre, Venezuela. LXIV Convención anual de ASOVAC. Cumaná.

Beretta, A.; Bassahum, D. y Musselli, R. 2014. ¿Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando?. *Agrocien. Uruguay*, 18 (2): 90-94.

Bernal, G. y Betancur, J. 1996. Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 25: 49-76.

Bernini, E.; da Silva, M.; do Carmo, T. y Cuzzuol, G. 2010. Variación espacial y temporal de los nutrientes en el sedimento y hojas de dos especies de mangle brasileños y su papel en la retención de metales pesados ambientales. *Braz. Journ. Plant. Physiol.*, 22 (3): 177-187.

Bonilla, J.; Aranda, S.; Ramírez, C.; Moya, J. y Márquez, A. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 43: 5-27.

Borie, G.; Aguilera, S. y Peirano, P. 1999. Actividad biológica en suelos. *Front. Agrí.*, 5: 29-32.

Boto, F. 2001. Efectos de bioturbación del cangrejo *Chasmagnathus granulata* sobre el sedimento, organismos bentónicos y los chorlos migratorio. En: Iribarne, O. (ed). *Reserva de biósfera mar chiquita: características físicas, biológicas y ecológicas*. Editorial Martin, Mar del Plata, Argentina.

Breemen, N. y Buurman, P. 1998. *Soil formation*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 377 p.

Brun, M. 2013. *Estudio geoquímico de los elementos C, N y S en los sedimentos de fondo provenientes del Parque Nacional Laguna de Tacarigua*, edo. Miranda. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Bulmer, R.; Lundquist, C. y Schwendenmann, L. 2015. Sediment properties and CO₂ efflux from intact and cleared temperate mangrove forests. *Biogeosciences*, 12: 6169–6180.
- Calva, L. y Torres, M. 2011. Textura de sedimentos y carbono orgánico en el sistema costero lagunar Alvarado, Veracruz. *ContactoS*, 81: 11–16.
- Canfield, D.; Kristensen, E. y Thamdrup, B. 2005. *Aquatic Geomicrobiology*. Elsevier, California, 637pp.
- Carvalho, J. 2002. Actividade microbiana e diversidades metabólica e genética em solo de mangue contaminado com petróleo. Tesis de Maestría, Escuela Superior de Agricultura, Sao Paulo.
- Cedeño, J.; Jiménez, M.; Pereda, L. y Allen, T. 2010. Abundancia y riqueza de moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en la laguna de Bocaripo, Sucre, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (3): 213-226.
- Chuang, P.; Young, M.; Dale, A.; Miller, L.; Herrera, J. y Paytan, A. 2016. Methane and sulfate dynamics in sediments from mangrove-dominated tropical coastal lagoons, Yucatán, Mexico. *Biogeosciences*, 13: 2981–3001.
- Dássele, L.; Camacho, J.; Carriquiry, M. y Ortiz, M. 2004. *The geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern gulf of California*. Continental Shelf Research. 21: 1310-1345.
- De La Lanza, G. y Cáceres, C. 1994. *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur (Eds). México. 497 p.
- De La Lanza, G.; Flores, F.; Hernández, S.; y Penié, I. 2011. Concentration of nutrients and C:N:P ratios in surface sediments of a tropical coastal lagoon complex affected by agricultural runoff. *Uni. Cien.*, 27 (2): 145-455.
- Díaz, R.; López, L.; Lo Mónaco, D.; Lugo, S.; Peralba, M.; Barreto, M. y Ghinaglia, M. 2008. Caracterización de materia orgánica en suelos de manglares. Ensenada de Tucacas, Estado Falcón, Venezuela. *XI Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica*, Isla de Margarita, Venezuela.
- Díaz, C.; Castro, I. y Manjarrez, G. 2010. Mangles de Cartagena de Indias: “Patrimonio biológico y fuente de biodiversidad”. Cartagena, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia, pp. 72.
- Díaz, S. 2012. *Estudio de la calidad del agua del humedal costero, Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda, Venezuela*. Trabajo de Grado, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica, Universidad Central de Venezuela. Caracas.

- Dilly, O. 2001. Microbial respiratory quotient during basal metabolism and after glucose amendment in soil and litter. *Soil Biol. Biochem.* 33 (1):117-127.
- Ewel, K.; Bourgeois, J.; Cole, T. y Zheng, S. 1998. Variation in environmental characteristics and vegetation in high-rainfall mangrove forests, Kosrae, Micronesia. *Global Ecol. Biogeogr. Lett.*, 7: 49–56.
- Ferreira, T.; Otero, X.; Vidal, P. y Macías, F. 2007. Effects of bioturbation by root and crab activity on iron and sulfur biogeochemistry in mangrove substrate. *Geoderma*, 142: 36-46
- Figuera, J. 2008. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del río Cuchivero, municipio Cedeño, estado Bolívar, Venezuela. Tesis de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente.
- Figuroa, L. y Álvarez, R. 2011. Evaluación de suelos de manglar en dos localidades de la Ensenada de Tumaco, pacífico colombiano. *Arq. Ciên. Mar. Fortaleza*, 44 (1): 12 – 20.
- Frontado, J. 2016. Índices de condición del mejillón marrón *Perna perna* (Linneo, 1758-Bivalvia: Mytilidae), cultivado en la localidad de La Fragata, Golfo de Cariaco. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente.
- FUDENA. 2004. Manglares: refugio de vida. “FUDENA” > <http://www.fudena.org.ve/web/wp-content/uploads/ecostenos2.pdf><. (24-10-2015).
- Fuentes, M. 2006. Algunas características sedimentológicas del puerto pesquero internacional de Güiria y sus alrededores, estado Sucre, Venezuela. *Saber*, 18 (2): 197-206.
- Fuentes, M., Bonilla, J. y Fermín, J. 1997. Algunas características químicas de los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata, Estado Sucre. *Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.*, 36 (1 y 2).69-79.
- Fujimoto, K. 2000. Below-ground carbon sequestration of mangrove forests in the Asia-Pacific Region. En: International Workshop Asia-Pacific Cooperation. Research for Conservation of Mangroves. 26 – 30 de marzo, 2000; Okinawa, Japón. “LANDBASE”. ><http://landbase.hq.unu.edu/Workshops/OkinawaMarch2000/Papers/Fujimotopapermar2000.htm>.LandBase. Environmental Monitoring and GovernanceintheEast AsianHydrosphere 2008. s/p.> (25/03/2018).
- Gómez, I. y Carvajal, F. 2012. La actividad de la deshidrogenasa y la hidrólisis del diacetato de fluoriscéina como indicadores de actividad microbiana en los sedimentos superficiales de la Cuenca baja del Río Neverí, Barcelona, Venezuela. *Saber*, 24 (2): 123-131.

- Gómez, I.; Márquez, B.; Segnini, M. y 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 Mar*, 17 (49): 15-31.
- Gontikaki, E.; Thornton, B.; Huvenne, V. y Witte, U. 2013. Negative Priming Effect on Organic Matter Mineralisation in NE Atlantic Slope Sediments. *Plos One.*, 8 (6): 677-682.
- González, E.; Sánchez, C.; Trujillo, N.; Amador, J.; Dendooven, L. y Ramírez, E. 2010. Determinación de biomasa microbiana en suelos de manglar. "Docplayer". ><http://docplayer.es/15626115-Determinacion-de-biomasa-microbiana-en-suelos-de-manglar.html><. (11/03/2018).
- Gotera, B. 2016. Caracterización de la flora y fauna asociada a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en Carenero y Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Grey, S y Elliot, M. 2009. *Ecology of Marine Sediments: from Science to Management*. Segunda edición. Oxford University Press, Oxford. 225 pp.
- Hall, J. 2002. Cellular mechanism for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.*, 53: 1-11.
- Hamilton, P.; Evert, R. y Eichorn, S. 1992. *Biología de las plantas*, Volumen 2. Technology & Engineering. 402 p.
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Com. Soil Sci. Plant Anal.*, 15: 1191-1213.
- Hernández, M. 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoam.*, 28 (2): 139-147.
- Hernández, D. 2013. Fraccionamiento de fósforo en sedimentos superficiales del sector oriental del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente.
- Holguín, G. y Bashan, Y. 2007. La importancia de los manglares y su microbiología para el sostenimiento de las pesquerías costeras. En: Ferrera, R. y Alarcón, A. (Eds.). *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo*. Editorial Trillas, Ciudad de México, México, 239-253 pp.
- Horwath, W. y Paul, E. 1994. Microbial Biomass. En: *Methods of soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Ed. Weaver, R.; Angle, S.; Bottomley, P.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A. y Wollum, A. USA. 120 p

Hou, D.; He, J.; Lü, C.; Sun, Y.; Zhang, F.; y Otgonbayar, K. 2013. Effects of Environmental Factors on Nutrients Release at Sediment-Water Interface and Assessment of Trophic Status for a Typical Shallow Lake, Northwest China. *The Scienti. Wor. J.*, 1-16.

Infante, C.; Pinto, A.; Vieira, R.; Silva, C. y Ligo, M. 2008. Impacto da contaminação de sedimento de mangue com óleo na atividade de microrganismos. *Congresso Interinstitucional De Iniciação Científica*.

Ingall, E. y Jahnke, H. 1997. Influence of water column anoxia on the elemental ractionation of carbon and phosphorus during sediment diagenesis. *Mar. Geol.* 139:212-229.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, NAMEH. 2016. Boletín climatológico mensual octubre y diciembre de 2016. <<http://inameh.gob.ve/web/PDF/Boletin%20Climatologico%20Julio%202016.pdf>> <<http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/Boletin%20Climatologico%20Diciembre%202016.pdf>> (17/03/2018).

Jones, C.; Lawton, J. y Shachak, M. 1994. *In situ* assessment of modification of sediment properties by burrowing invertebrates. *Mar. Biol.*, 115: 133-142.

Lacerda, L.; Conde, J.; Alarcón, C.; Álvarez, R.; Bocón, P.; D'croz, L.; Kjertve, B.; Polalna, J. y Vannucci, M. 1993. Mangrove ecosystems of Latin America and the Caribbean: A summary, p. 1-42. En: L. D. Lacerda (Ed). *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa*. Mangrove Ecosystems Technical Reports, International Society for Mangrove Ecosystems, 2: 1-272.

Lacerda, L. 2001. Mangrove ecosystems: function and management. Springer, USA. 241 p.

La Manna, G. 2018. Análisis estructural y velocidad de descomposición de la hojarasca del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L. 1753) en las ensenadas de Turpialito y Carenero, golfo de Cariaco, estado Sucre-Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Biología. Universidad de Oriente, Cumaná.

Landaeta, R. 2002. Especiación de metales en sedimentos superficiales de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.

Llorente, M. y Turrión, M. 2010. Microbiological parameters as indicators of soil organic carbon dynamics in relation to different land use management. *Euro. J. For. Res.*, 129: 73–81.

López, F. 2002. Geoquímica de sedimentos superficiales de la Laguna de Píritu, Estado

Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná.

López, J. y Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Mad. Bos.*, Número especial: 27-51.

López, R. 2012. Fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Lovelock, C.; Feller, I.; McKee, K. y Thompson, R. 2005. Variation in Mangrove Forest Structure and Sediment Characteristics in Bocas del Toro, Panama. *Carib. J. Sci.*, 41 (3): 456-464.

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. Trabajo de grado Magister. Ciencias Marinas mención Oceanografía Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

Marinho, C.; Campos, E.; Guimarães, J. y Esteves, F. 2012. Effect of sediment composition on methane concentration and production in the transition zone of a mangrove (Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Braz. J. Biol.*, 72 (3): 429-43.

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

Márquez, A.; Senior, W.; Martínez, G. y González, A. 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.

Márquez, A.; Senior, W.; Martínez, G. y González, A. 2009. Metales totales y biodisponibles en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *CIENCIA*, 17 (1): 87 – 97.

Márquez, A.; Senior, W.; Benitez, A.; Fermín, I.; Martínez, G.; González, A.; Castañeda, J.; Alcalá, L. y De la Cruz, R. 2011. Sector Oriental del Golfo de Cariaco, Venezuela. Una descripción de su dinámica hidroquímica, procesos y del rol de la surgencia costera estacional. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 50: 255-272.

Martínez, P. 2013. Características fisicoquímicas del agua superficial y del manto freático en los Humedales de Tumulco, Veracruz. Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana, Veracruz.

Mata, Y. 2016. Dinámica sedimentaria de la Ensenada La Esmeralda, edo. Sucre,

Venezuela. Trabajo de grado. Escuela de ciencias aplicadas al mar. Universidad de Oriente, Boca de Río.

Méndez, A.; Otero, X.; Macías, F. y Meléndez, W. 2011. Formas de carbono y actividad microbiana en suelos de manglar de Venezuela. "INIA". >http://sian.inia.gob.ve/congresos_externos/CVCS19/propiedades_procesos/PPS9.pdf (17/03/2018).

Montes, M. 2011. Crecimiento del mejillón verde *Perna viridis* (L., 1758) bajo sistema de cultivo de fondo en la Ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná.

Moreno, E.; Guerrero, A.; Gutiérrez, M.; Ortiz, c. y Palma, D. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Mad. Bos.*, Número especial: 115-128 115.

Morrisey, D.; Swales, A.; Dittmann, S.; Morrison, M.; Lovelock, C. y Beard, C. 2010. The ecology and management of temperate mangroves. *Oceanogr. Mar. Biol., Oceanog. Mar. Biol. -An Annual Review-*, CRC Press, 43–160.

Mumby, P.; Edwards, A.; Arias, J.; Lindeman, K.; Blackwell, P.; Gall, A.; Gorczynska, M.; Harborne, A.; Pescod, C.; Renken, H.; Wabnitz, C. y Llewellyn. 2004. Mangrove enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427 (6974): 533-536.

Murphy, J. y Riley, J. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Act.*, 12: 162 – 170.

Nixon, S. 1981. Remineralization and Nutrient Cycling in Coastal Marine Ecosystems. En: Neilson, B. y Cronin, L. (eds) *Estuaries and Nutrients*. Contemporary Issues in Science and Society. Humana Press.

Palma, C.; Olivos, A.; Álvarez, M.; Quijano, S. y Jiménez, J. 2015. Caracterización geoquímica de zonas de reforestación de mangle en los vasos I, II y III de la Laguna de Cuyutlán, Colima. 1er Congreso Iberoamericano Sobre Sedimentos Y Ecología Querétaro, Querétaro México.

Paolini, J. y Sánchez, L. 2008. Comparative Biochemical study of the rhizosphere of *Rhizophora mangle* and its associated species *Cyperus* sp. in the Ciénaga de Soledad (Colombia). En: Lieth, H.; García, M. y Herzog, B. (Eds.) *Mangroves and halophytes: Restoration and Utilisation*. Dordrecht Springer Science + Business Media B.V., pp. 79-84.

Pellerin, B.; Wolheim, W.; Hopkinson, C.; McDowell, W.; Williams, M.; Vörösmarty, C. y Daley, M. 2004. Role of wetlands and developed land use and dissolved organic nitrogen concentrations and DON/TDN in northeastern U.S. river and streams. *Am. Soc.*

Of Limnol. Oceanogr., 49: 910- 918.

Poret, A.; Engelhaupt, B. y Gullede, 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.

Prego, R.; Belzunce, E.; Helios R. y Varicela, M. 1999. Cadmium, manganese, nickel and lead contents in superface sediments of the lower Ulla River and its estuary (northwest Spain). *Bol. Inst. Oceanog. España*, 15: 495-500.

Priha, O. y Smolander, A. 1994. Fumigation-extraction and substrate-induced respiration derived microbial biomass C, and respiration rate in limed soil of Scots pine sapling stands. *Biol. Fert. Soils*, 17: 301-308.

Primo, E. y J. Carrasco, J. 1973. *Química agrícola I. Suelos y fertilizantes*. Alhambra S.A. Madrid, España. 480 pp.

Quan, C.; Qian, Z.; Jing, L.; Zhuguang, J. y Hai, R. 2016. Mangrove succession enriches the sediment microbial community in South China. *Scient. repor.*, 6: 27468

Querales, Y. 2012. Dinámica de nutrientes en una comunidad de manglar mixto presente en el sistema estuarino del Río Limón, estado Zulia-Venezuela. Trabajo de postgrado. Universidad del Zulia, Maracaibo.

Quintero, A.; Terejova, G. y Bonilla, J. 2005. Morfología costera del golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Venezuela*, 44: 133-143.

Ramos, Y.; Galván, D. y Pitre, L. 2016. Carbono biomásico en suelos de manglar en el delta del río Ranchería-Brazo El Riíto, La Guajira, Colombia. *Rev. Asoc. Col. Cienc. Colombia*, 28: 77-83.

Rex, M.; Etter, R.; Morris, J.; Crouse, J.; McClain, C.; Johnson, N.; Stuart, C.; Deming, J.; Thies, R. y Avery, R. 2006. Global bathymetric patterns of standing stock and body size in the deep-sea benthos, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 317: 1-8.

Rivero, D. 2012. Geoquímica de carbono, nitrógeno y fósforo en sedimentos superficiales del litoral costero de Río Caribe, estado Sucre. Tesis de grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Rodríguez, M. y Gómez I. 2016. 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. *Saber*, 28 (3): 511-522.

Rojas, M.; Campos, M.; Alpízar, E.; Bravo, J. y Córdoba, R. 2003. El cambio climático

y los humedales en Centroamérica: implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. UICN/ORMA. San José, Costa Rica.

Rojas, N. y Silva, N. 2003. Distribución espacial de textura, carbono y nitrógeno en sedimentos recientes en canales y fiordos chilenos. Golfo Corcovado (43° 50' S) a Golfo Elefantes (46° 30' S), Chile. *Cienc. Tecnol. Mar.*, 26 (1): 15-31.

Romero, G. y Meléndez, W. 2013. Caracterización geoquímica de los suelos asociados a distintas especies de mangle de la zona oeste del Golfete de Coro y noreste de la Península de Paraguaná, estado Falcón. *Geos*, 44: 25-32.

Romero, L. 2009. Determinación de las especies de azufre en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Universidad de Oriente.

Romero, P.; Malavé, K.; Pinto, R.; Díaz, O. y Segnini, M. 2016. Geoquímica de los sedimentos superficiales de la Laguna La Restinga, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 55 (1): 86-92.

Rosas, D. y López, F. 2014. Algunos aspectos de la dinámica sedimentaria de la laguna de Las Marites, estado Nueva Esparta. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 53: 47-55.

Ross, U.; Joergensen, K.; y Chandler, K. 2001. Effects of Zn enriched sewage sludge on microbial activities and biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 33: 633-638.

Routray, T.; Satapathy, G. y Mishra, A. 1996. Seasonal fluctuation of soil nitrogen transforming microorganisms in Bhitarkanika mangrove forest. *J. Environ. Biol.*, 17: 325-330.

Sadeghian, S. 2016. *La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café*. Cenicafé, Colombia. 12 pp.

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

Sánchez, L.; Paolini, J. y 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.

Saviozzi, A.; Levi, R.; Cardelli, R. y Riffaldi, R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant Soil*, 233: 251-259.

Segnini, M.; Gómez, I.; Brito, L. y Carvajal, F. 2013. Actividad microbiana en los sedimentos superficiales de Caño Mámamo, Delta Amacuro, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 52 (1): 43-54.

Segnini, M.; Gómez, I.; Brito, L.; Acosta, V. y Troccoli, L. 2015. Microbial activity in surface sediments of Chacopata-Bocaripo lagoon axis, Sucre State, Venezuela. *Mar. Pollut. Bull.*, 91 (2):483-490.

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

Silva, A.; Picado, J.; Mora, F. y González, C. 2015. Implicaciones sedimentológicas sobre el cambio en la cobertura del bosque de manglar en Boca Zacate, Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Int. J. Trop. Biol.*, 63 (3): 591-601.

Twilley, R.; Pozo, M.; García, V.; Rivera-Monroy, V.; Zambrano, R. y Boderó, A. 1997. Litter dynamics in riverine mangrove forest in the Guayas River estuary, Ecuador. *Oecología*, 111: 109-122.

Umbría, K. 2016. Estudio geoquímico de C, N, P, en la fracción limo-arcilla de los sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu, edo. Anzoátegui. Departamento de Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

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

Valdés, D. y Real, E. 1997. Balance de nitrógeno y fósforo en la laguna Río Lagartos. Proyecto B003. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Informe Final. México D.F. 69 pp (Informe técnico).

Valdés, E.; Valdez, J.; Ordaz, V.; Gallardo, J.; Pérez, J. y Ayala, C. 2011. Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit. *Rev. Mex. Cien. For.*, 8 (2): 46-58.

Velásquez, J.; Márquez, A.; Fermín, I.; López, F.; Hernández, D. y Senior, W. 2016. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 55 (1): 54-68.

Walkley, A. y Black, I. 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.

Wardle, D. y Ghani, A. 1995. Why is the strength of relationship between pairs of methods for estimating soil microbial biomass often so variable? *Soil Biol. Biochem.*, 27: 821-828.

Wieder, W.; Nemergut, D.; Bru, D.; Cleveland, C.; Hinckley, E.; Weintraub, S.; Taylor, P.; Philpott, L.; Martin, M. y Townsend, A. 2013. Experimental removal and addition

of leaf litter inputs reduces nitrate production and loss in a lowland tropical forest. *Biogeochemistry*, 113: 629.

Yáñez, A.; Twillwy, R. y Lara, A. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al Cambio Climático Global. *Mad. Bos.*, 4 (2):3-19.

Yáñez, A. y Lara, A. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada, p. 9-16. En: *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Yáñez, A. y Lara, A. (eds.). Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.

Zaldívar J.; Herrera, J.; Coronado C. y Alonzo, D. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Mad. Bosq.*, Número especial 2: 25-35.

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

| | |
|------------------|--|
| Título | Análisis geoquímico y actividad microbiana de sedimentos superficiales en la zona de manglar de la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela |
| Subtítulo | |

Autor:

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Hernández Otero Lederle José | CVLAC | 24.130.731 |
| | e-mail | <i>lederlehernandez@gmail.com</i> |
| | e-mail | |

Palabras o frases claves:

| |
|--------------------------|
| <i>Rhizophora mangle</i> |
| microbiología |
| nutrientes |
| sequía |
| lluvia |

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área | Subárea |
|----------|----------|
| Ciencias | Biología |
| | |
| | |

Resumen (abstract):

Se realizó un análisis geoquímico en sedimentos superficiales de los manglares de la ensenada de Turpialito en dos períodos ambientales: sequía y lluvia (julio y diciembre de 2016), con la finalidad de relacionar espacio-temporalmente la actividad microbiana con la eficiencia en la renovación de nutrientes en el sedimento, y su influencia sobre el ecosistema marino costero. Para determinar la granulometría y textura de los sedimentos, contenidos de materia orgánica total (MOT), carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT), así como evaluar indicadores microbianos: biomasa microbiana (Cmic), respiración aeróbica de la biomasa microbiana (RB) y cociente metabólico (qCO_2), se establecieron cinco estaciones paralelas a la zona del manglar rojo que bordea la ensenada (2 m aproximadamente de distancia del mar). En cada estación se obtuvieron muestras de sedimentos superficiales (2 réplicas); asimismo, se tomaron registros de los parámetros ambientales (temperatura, salinidad y pH intersticial). El sedimento se caracterizó granulométricamente por ser arenoso en ambos períodos (sequía= 80%, lluvia= 78%), con un incremento del 12% de texturas limosas durante las lluvias, principalmente en las estaciones 1 y 2, debido al ingreso de material orgánico exógeno y a la hidrodinámica de la ensenada. Se obtuvieron valores promedios no significativos entre período ambiental en el contenido de MOT (sequía= 4,47%, lluvia= 4,23%), COT (sequía= 2,51 mg Kg⁻¹, lluvia= 2,45 mg Kg⁻¹), NT (sequía= 396,73 mg kg⁻¹, lluvia= 286,48 mg kg⁻¹) y PT (sequía= 102,61 mg Kg⁻¹, lluvia= 91,29 mg Kg⁻¹), siguiendo una distribución espacial en ambos períodos con asociación hacia las partículas areno-limosas del sedimento en las estaciones 1 y 2, proveniente posiblemente de las hojarascas del manglar. Los indicadores microbiológicos mostraron que, la sequía promueve una mayor actividad microbiana (315,87 mg Cmic Kg⁻¹ de sedimento), RB (10,03 mg C-CO₂ kg⁻¹ 24h⁻¹) y qCO_2 (0,033 mg C-CO₂ (mg Cmic -24h)⁻¹), obteniendo los valores más bajos durante la lluvia (217,28 mg Cmic Kg⁻¹), RB (4,24 mg C-CO₂ kg⁻¹ 24h⁻¹) y qCO_2 (0,021 mg (C-CO₂ (mg Cmic -24h)⁻¹). En cada período ambiental evaluado, el Cmic tendió a ser superior en las estaciones 1, 2 y 3, con mayores valores de COT, evidenciando el contenido lábil del mismo como modulador de la actividad microbiológica, mientras que la RB siguió el patrón del porcentaje de arenas, predominando en las estaciones 3, 4 y 5 en ambos períodos. Por su parte, el qCO_2 a pesar de haber sido superior en sequía, no supone un estrés en la microbiota del sedimento. Con respecto a los parámetros ambientales, fueron modulados por el período ambiental, influyendo en la actividad microbiana. En los manglares de Turpialito existe una microbiota halófila responsable de la renovación constante de nutrientes en sus sedimentos, influyendo en la masa de agua de la ensenada, asociado a los detritos orgánicos, influyendo en la masa de agua de la ensenada, independientemente del periodo ambiental.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

| Apellidos y Nombres | ROL / Código CVLAC / e-mail | |
|--------------------------|-----------------------------|--|
| Vanessa H. Acosta Balbás | ROL | CA <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 11.376.304 |
| | e-mail | <i>vanessaacosta@yahoo.com</i> |
| | e-mail | |
| José Imery Buiza | ROL | CA <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 8.650.956 |
| | e-mail | <i>joseimery@gmail.com</i> |
| | e-mail | |
| Ivis Fermín | ROL | CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 10.291.815 |
| | e-mail | <i>ivismarina@gmail.com</i> |
| | e-mail | |
| Isabel Mimbela | ROL | CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 15.575.530 |
| | e-mail | <i>isaloroño@cantv.net</i> |
| | e-mail | |

Fecha de discusión y aprobación:

| | | |
|------|-----|-----|
| Año | Mes | Día |
| 2018 | 05 | 31 |

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

| Nombre de archivo | Tipo MIME |
|--------------------------|---------------------------|
| TG-hernandezl.doc | Aplicación/Word 1997-2003 |
| | |
| | |
| | |

Alcance:

Espacial:

_____ Nacional (Opcional)

Temporal:

_____ Temporal (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

_____ Licenciado en Biología

Nivel Asociado con el Trabajo: _____ Licenciado

Área de Estudio: BIOLOGÍA

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

_____ UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE SUCRE

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario

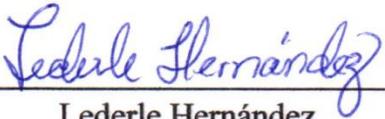


C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

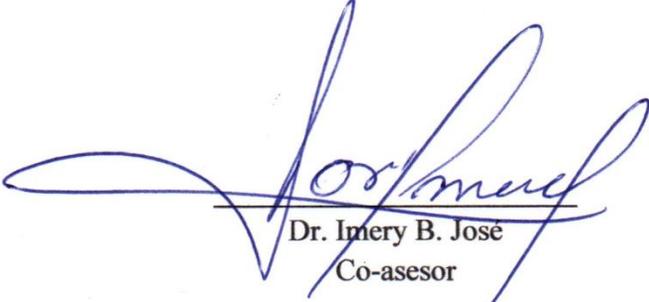
JABC/YGC/manuja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.


Lederle Hernández
Autor


Dra. Acosta B. Vanessa H.
Asesor


Dr. Imery B. Jose
Co-asesor