
Flujo de CO₂ en suelos dominados

por manglares *Avicennia germinans*
y *Conocarpus erectus*

CO₂ flow in soils dominated by mangroves
Avicennia germinans and *Conocarpus erectus*

Franklin Núñez Ravelo

María Ugas Pérez

Damián Quiroz

Betsabé Vásquez

Darlanis Belmonte

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Instituto Pedagógico de Caracas (IPC),
Centro de Investigación 'Estudios del Medio Físico Venezolano', Línea de Investigación
'Estudios Ecogeográficos de los Manglares en Venezuela'. Caracas, Venezuela
franklingeove@hotmail.com

Resumen

El propósito de esta investigación fue precisar diferencias significativas en el flujo de CO₂ generado por microorganismos en suelos desnudos (sd), comparado con el de suelos dominados por *Avicennia germinans* (Ag) y *Conocarpus erectus* (Ce). Se realizó un trabajo de campo en la laguna de Unare, colectando 72 muestras de suelo superficial: 36 de sd, 18 de suelo con Ag y 18 de suelos de Ce. Se determinó respiración basal. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente a partir de las pruebas *U* y *H*. Se reconoce que los sd produjeron 3,74 mg C-CO₂ g/24h, mientras que los dominados por manglar en su superficie, arrojaron 12,25 mg C-CO₂ g/24h; la prueba *U* indica una significancia de 0,01 evidenciando la diferencia significativa entre ambos grupos. Los suelos con Ag registraron 10,61 mg C-CO₂ g/24h, y los dominados por Ce 13,88 mg C-CO₂ g/24h. La prueba *H* corrobora las diferencias significativas en el flujo de CO₂ liberado por los tres grupos analizados.

PALABRAS CLAVE: respiración basal; microorganismos; Laguna de Unare.

Abstract

The purpose of this research was to know significant differences in CO₂ flow generated by microorganisms in bare soils (bs), compared to those dominated by *Avicennia germinans* (Ag) and *Conocarpus erectus* (Ce). For this purpose, a field experiment was carried out in the Unare Lagoon, 72 samples of topsoil were collected, distributed in: 36 bs, 18 Ag-soil and 18 Ce-soil; basal respiration was determined. Data obtained were treated statistically by U-test and H-test. It is recognized that bs presented an average of 3.74 mg C-CO₂ g/24h, while those dominated by mangrove on its surface, without considering the dominant species, showed an average of 12.25 mg C-CO₂ g/24h, U-test indicates significance of 0.01 evidencing significant difference between both sample groups. Ag-soils recorded an average of 10.61 mg C-CO₂ g/24h, and soils dominated by Ce 13.88 mg C-CO₂ g/24h.

KEY WORDS: basal respiration; microorganisms; Unare Lagoon.

1. Introducción

El estudio del CO₂ en el suelo constituye un parámetro útil no solamente para comprender el comportamiento de la actividad microbiológica, sino además para analizar sus posibles incidencia en algunas propiedades edáficas fundamentales para determinar la calidad de los suelos (Carter, 2002; Krebs, 2003; Palma, 2011; Guerrero *et al.*, 2012; Bogado, 2013; Núñez, 2013, 2014; Núñez *et al.*, 2017), su potencialidad de aprovechamiento (Carter, 2002; FAO, 2002; Verhulst *et al.*, 2015), así como la vinculación sistémica con la atmósfera, en lo concerniente al calentamiento global (De Benito y Sombrero, s/f; Sandoval *et al.*, 2003; Verhulst *et al.*, 2015).

Peris (2013) refiere como necesario para que el almacenamiento de este gas se produzca en la estructura del suelo, la existencia de la cobertura vegetal, ya que las plantas, en su proceso fotosintético, captan directamente el Dióxido de carbono de la atmósfera, lo metabolizan y almacenan C en su tejido.

Otra fuente de suministro indirecto de CO₂ a la estructura del suelo se vincula con la respiración de microorganismos edáficos, raíces, hifas micorrícicas, y en menor proporción, a la oxidación bioquímica de los compuestos de carbono (Lloyd y Taylor, 1994); de este modo, la actividad metabólica que realizan, fundamentalmente, los microorganismos durante el proceso de descomposición de la hojarasca y la materia orgánica (MO), puede ser cuantificado mediante la medición de la producción de CO₂ (Alef, 1995).

Siendo, además, un parámetro proporcional a la Productividad Primaria Neta (PPN) del ecosistema, entendida como el flujo de carbono procedente de la atmósfera, presentes en las plantas verdes por unidad de tiempo determinada (Wang y Polglase, 1995); constituyendo el segundo flujo de carbono más importante en el balance global, después de la Productividad Primaria Bruta (PPB) o la energía

total fijada por el proceso de fotosíntesis en las plantas (Schimel, 1995).

De allí que, investigadores como Jandl (1981), Zambrano *et al.* (2004), Peris (2013) entre otros, coinciden en destacar la importancia de la captura del CO₂ en el suelo, ya que en la medida en que este gas invernadero es retenido en la estructura edáfica, su disponibilidad disminuye en la atmósfera.

En efecto, se ha estimado que el C orgánico en suelos del mundo es de 1500 Pg, cerca de 2,1 veces más que en la atmósfera y cerca de 2,7 veces más que la reserva biótica que comprende a las plantas de la tierra (Neill *et al.*, 1998). En las zonas forestales, se estima que CO₂ almacenado en los suelos, representa el 36% del total del carbono a un metro de profundidad (Zambrano *et al.*, 2004).

En el caso particular de los ecosistemas de manglar, suelen ser reconocido su elevado procesamiento de materia orgánica, por lo que tienen un alto potencial de impacto en el ciclo global de carbono (Dittmar *et al.*, 2006).

Es oportuno destacar que el término manglar proviene de la lengua Guaraní y se traduce al español como 'árbol retorcido' (Comisión Nacional Forestal, 2009). Estos individuos son clasificados como formaciones halófilas arbustivas o arbóreas que crecen en superficies planas y suelos fangosos, profundos, de color oscuro, próximos a la influencia de aguas relativamente tranquilas y salinas; con raíces aéreas y respiratorias, las cuales penetran el suelo en un sistema radicular que además sirve como órgano de ventilación (Monkhouse, 1978; Font Quer, 2001).

En el caso particular del género de mangle negro, mangle prieto o *Avicennia*, es una especie de la familia *Acanthaceae*, que suelen ser reconocidos como árboles con raíces respiratorias o neumorrizas, las cuales crecen con geotropismo negativo: la parte que crece de manera vertical se extienden por el pantano absorbiendo oxígeno para la planta, mientras que el resto del sistema radicular

se encuentra hundido en el fango en condiciones aeróbicas deficientes. Las hojas son opuestas, coriáceas y persistentes, los pedúnculos terminales y dicotomearios, ternados y multiflorales; las flores son pequeñas de corola casi coriácea (Ronquillo, 1851; Lindorf *et al.*, 2006). De este género, se han identificado en el mundo once (11) especies, de las cuales, como ya se mencionó, cuatro (4) han sido reportadas en el continente americano: *A. bicolor*, *A. tonduzii*, *A. tomentosa* y *A. germinans* (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales- Comisión de Ecología, 1983).

Esta última especie del género *Avicennia*, presenta glándulas de secreción salina, ubicadas la epidermis superior e inferior de la hoja, con una estructura pluricelular globosa que constituye la cabeza, así como, un pie formado por varias células colectoras. Estas son las encargadas de liberar a la planta de importantes cantidades de sal que si acumularan serían perjudiciales o letales (Lindorf *et al.*, 2006).

En relación con el mangle Zaragoza, botoncillo o *C. erectus*, es una especie de la familia *Combretaceae*, reconocido como un arbusto endémico de América, caracterizado por presentar múltiples troncos tortuosos, con corteza estriada de color gris oscuro. Puede encontrarse con dos variantes, distinguibles entre sí por sus hojas con presencia o no de una cubierta de tricomas. De allí que algunos botánicos la distinguen como una variedad taxonómica llamada *Conocarpus erectus var. Sericeus* (Trejo, 2009). Este género, también presenta glándulas secretoras de sal en ambas epidermis (Lindorf *et al.*, 2006).

Ahora bien, las cantidades de CO₂ absorbidas por el suelo como sumidero, especialmente en las zonas boscosas, pueden volver a la atmósfera si la cobertura vegetal desaparece a consecuencia de las plagas, las enfermedades, las formas de aprovechamiento antrópico como extracción de madera

o recogida de cosecha, así como los incendios forestales (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del gobierno de España, 2015).

Para los bosques de manglar, Armentano (1981) determinó que a principios de los años 80, en la zona intertropical, 230.000 ha de manglares habían sido convertidos en estanques piscícolas. Con esa tasa de destrucción, se estimó que después de 10 a 20 años esos depósitos habrían liberado a la atmósfera de cuatro a nueve millones de toneladas de C.

En el caso particular de Venezuela, los manglares se ubican en el borde costero que separa tierra firme del mar, comprendiendo una extensión discontinua de aproximadamente 1.100 km de la línea costera, ocupando aproximadamente el 29% es ésta. Estos bosques se caracterizan por la presencia de distintas especies de manglares, entre las que destacan: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y el *Conocarpus erectus* (Pannier y Pannier, 1989).

Éstos han sido objeto de diversas investigaciones, orientadas fundamentalmente a estudiar: su estructura (De Olivares, 1988; Cumana *et al.*, 2000; Medina y Barboza, 2003; Barboza *et al.*, 2006, Del Mónaco *et al.*, 2010; López *et al.*, 2011), así como, la actividad microbiana y almacenamiento de carbono (Sánchez *et al.*, 2010; Rodríguez y Gómez, 2016). Sin embargo, en ninguna de estas investigaciones se ha indagado sobre las potencialidades asociadas a las especies de manglar, no solamente para capturar CO₂ en el suelo que ocupa, sino como hábitat que favorece el desarrollo de la microflora y microfauna edáfica, y su consecuente producción de CO₂.

Desde esta perspectiva, el propósito de la presente investigación fue precisar las diferencias significativas en el flujo de CO₂, generado por la acción de los microorganismos edáficos en suelos desnudos así como los dominados en superficie por *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, en la laguna de Unare, Venezuela.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La laguna de Unare es un humedal, ubicado entre los $10^{\circ}04' - 10^{\circ}08'N$ y $65^{\circ}12' - 65^{\circ}75'O$, en el estado Anzoátegui de Venezuela. Colinda al norte con el mar Caribe y por el sur con una planicie y una serie de colinas relativamente bajas, cuya altura máxima es de 600 metros, denominada cerro El Morro (Roa 1990), mientras que al este tiene como límite el río Unare y al oeste con Boca de Uchire (FIGURA 1).

Esta laguna cubre una superficie aproximada de $47,5 \text{ km}^2$, y de acuerdo con lo referido por Ojeda (2004), durante la estación seca, que se prolonga de diciembre a mayo, reduce su extensión hasta aproximadamente 44 km^2 ; hacia los bordes, principalmente en sus sectores norte y oeste, las aguas llegan a retirarse hasta 2 km de la barra que las separa del mar.

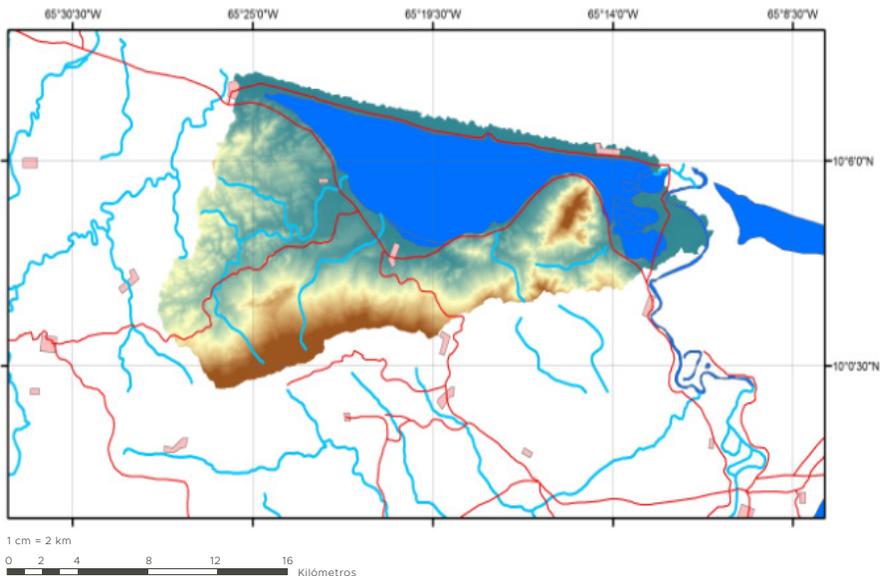
Esta barra es un cordón arenoso de unos 22 km de longitud y un ancho de 200-600m, unido al continente en el oeste en Boca de Uchire, y al este

en el delta del río Unare, y presenta tres bocas: Unare, La Mora y Nueva, las cuales tienden a cerrarse por influencia de la dinámica sedimentaria del borde costero o por construcción de vías de comunicación (Suárez, 1991).

El principal aporte de agua continental, durante la época de lluvia, corresponde a los ríos Cautaro, Chávez y Unare, siendo este último el que mantiene parte de su caudal en el período seco. Generalmente, el aporte de agua dulce ocurre en la época de lluvia, confiriendo a la laguna una condición hiposalina (Senior y Ocando, s/f).

El cierre de las bocas durante buena parte del año imposibilita el ingreso del agua del mar y promueve el estancamiento de las aguas al interior de la laguna, lo cual es un factor que no solo contribuye con la eutrofización, sino además con la contaminación relacionada con el aumento del suministro de nutrientes provenientes de la actividad agrícola, desarrollada aguas arriba en la cuenca del río Unare (Gómez *et al.*, 2006).

FIGURA 1. Mapa de localización de la laguna de Unare



De acuerdo con lo referido por Marín (2000), la laguna es un centro de notoria actividad pesquera artesanal, basada en la extracción de camarones y peces, en las zonas próximas al manglar, estimando que entre 30.000 personas provenientes de los pueblos y caseríos ubicados en su entorno, viven directa e indirectamente de esta actividad

El origen de los manglares en la zona se estima que se ubica en la década de los 70 del siglo XX por lo que, según Roa (1990), el manglar se desplazó del litoral, por acción del oleaje hacia la zona más interna de la laguna. Aun cuando, en la actualidad no se conoce la densidad del manglar en la zona, se reconoce su existencia hacia la zona norte y oeste de la laguna, desarrollados en parches de bosques abiertos o en algunos casos, individuos aislados (FIGURA 2).

Lo anterior permite suponer que se trata de un manglar joven, con una ocupación de poco menos de 5 décadas, lo cual resulta de interés para esta investigación, ya que se reconoce que éstos suelen ser mejores fijadores de carbono, en contraposición a los bosques maduros que presentan balances en el cual, la captura iguala la emisión.

1.2 Método

La investigación, en atención a su propósito, se desarrolló en tres fases:

A. Fase de Campo

El trabajo de campo se llevó a cabo entre el 15 y 17 de junio de 2017, en el inicio de la estación lluviosa para la localidad, esto considerando que las precipitaciones favorecen la humedad edáfica

FIGURA 2. Manglares en la laguna de Unare. Nótese en los detalles: (A) en el centro de la imagen, el bosque de manglar con presencia de *A. germinans*, en cobertura dispersa, hacia el extremo inferior-derecho de la imagen el dosel de un individuo de la especie *C. erectus*, y al fondo, las últimas estribaciones de la serranía del Interior del sistema montañoso de la costa; (B) espécimen de *A. germinans* con sus características neumorrizas sobre la superficie del suelo, y (C) espécimen de *C. erectus*



y “un porcentaje de humedad más alto favorece la actividad de los microorganismos en el suelo” (Ramos y Zuñiga, 2008: 125), sin llegar a la anoxia generada por la inundación o saturación por agua de la estructura del suelo, que ocurre como consecuencia del extendido período lluvioso. En efecto, la inundación del suelo, como consecuencia de las precipitaciones, inhibe la actividad de enzimas como la β -D-glucosidasa y la fosfatasa, involucradas en el ciclo del carbono (Xiao-Chang y Qin, 2006)

Por tratarse de un área donde los manglares crecen en una cobertura abierta o sin contacto entre el dosel de los individuos, en campo se procedió a la colecta de suelo superficial (0-20 cm de profundidad) considerando: **a)** para zonas con presencia de *A. germinans*. o *C. erectus*, se tomó la muestra en el área más próxima a la base del individuo arbóreo, y **b)** para la zona desprovista de manglar, se asumió el área próxima a la del individuo muestreado en el criterio ‘a’, con una distancia no menor a 5 metros lineales, contados a partir del área cubierta por el dosel del referido individuo.

Bajo el criterio antes descrito, se colectaron 72 muestras de suelo, distribuidas de la siguiente manera: **a)** 18 muestras de suelo dominados por *A. germinans*, **b)** 18 muestras de suelo dominados por *C. erectus*., y **c)** 36 muestras de suelo desnudo o desprovisto de manglar, clasificadas en dos subgrupos, según su proximidad a un individuo de *A. germinans* o *C. erectus*.

Las muestras fueron resguardadas en bolsas de polietileno denso, identificadas con etiqueta contentiva de la siguiente información: clave única de identificación, coordenadas del punto de muestreo, fecha y hora de la colecta. Las mismas fueron preservadas para su transporte al laboratorio, en una cava con una temperatura controlada entre 4 °C a 6 °C.

B. Fase de laboratorio

Para determinar el CO₂ liberado, se empleó el protocolo reportado por Anderson (1982), con objeto de conocer la respiración basal (RB). Para esto, las muestras de suelo conservadas a humedad de campo y cernidas en el tamiz de 2 mm, fueron pre-acondicionadas a temperatura ambiente (24°C) a fin de lograr su estabilización.

Posteriormente, se colocaron 50 g de cada muestra de suelo en frascos de vidrio color ámbar de 500 ml de capacidad. Adicionalmente, se suspendió un trampa de álcali: frasco de vidrio color ámbar, contentivo de 5 ml de una solución de NaOH (0,1 M). Transcurridas 24 horas, se retiró la trampa de álcali, se adicionó 2 mL de BaCl₂ y 2 gotas de Fenolftaleína. El CO₂ absorbido fue titulado con HCl (0,1 M). El resultado fue expresado en: mg C-CO₂ g/24 h.

También se emplearon frascos sin muestras de suelo con trampas de álcali como blancos, a fin de establecer un patrón de comparación.

C. Fase de análisis estadístico

Para determinar el efecto de la fuente de variación: la presencia de manglar así como la posible incidencia de la especie dominante, en comparación con el suelo desnudo; se realizó el análisis estadístico a partir del programa IBM SPSS *Statistics* versión 23.0.

Los datos fueron analizados mediante: **a)** la prueba de *U* de Mann-Whitney para determinar las diferencias significativas entre los grupos de muestras, al comparar el promedio de CO₂ liberado, asociado a la condición de cobertura de la especie dominante: suelo sin cobertura de manglar en contraste con el suelo cubierto por cada una de las dos especies en estudio; y **b)** la prueba *H* de Kruskal-Wallis, para determinar el efecto interactivo entre las condiciones: sin manglar, dominado por *Avicennia* g. y dominado por *C. erectus*., consideradas como parte de la investigación.

3. Resultados

El suelo desprovisto de manglar presentó un flujo de CO₂ que oscila entre 0,44 y 7,48 C-CO₂ g/24 h, para un promedio de 3,74 mg C-CO₂ g/24h. Los datos correspondientes a este grupo de muestra presentaron una desviación típica de 1,98; varianza de 3,92 y coeficiente de variación de 52,96%. Esto último estimador permite suponer una mediana homogénea entre los valores obtenidos para las unidades de análisis en este grupo de muestra (CUADRO 1).

Al contrastar los dos subgrupos de muestras de suelo sin manglar, la prueba U de Mann-Whitney, presentó un nivel de significancia de 0,34 lo que permite suponer que no existen diferencias significativas en el flujo de CO₂ entre estas muestras. Es por ello que se asume que el suelo desprovisto de manglar presenta valores similares de flujo de CO₂.

El análisis del suelo con manglar en su superficie, sin considerar la especie dominante, presentó un flujo de CO₂ que oscila entre 9,24 y 15,84 C-CO₂ g/24h, para un promedio de 12,25 mg C-CO₂ g/24h, esto supone un incremento en la emisión de CO₂ de más del 220% en contraposición al grupo de muestras de suelo sin manglar en superficie.

La desviación típica estimada para este grupo arrojó un valor de 2,11; la varianza de 4,45 y el coeficiente de variación de 17,22%, indicando que

existe homogeneidad entre los valores obtenidos para las unidades de análisis en estas muestras (CUADRO 1).

El contraste entre las muestras de suelo desprovistas de manglar y aquellas que presentan al menos un individuo en su superficie, arrojó un nivel de significancia en la prueba U igual a 0,01 lo que permite afirmar que el flujo de CO₂ es significativamente diferente entre ambos grupos de muestras.

En el caso específico de los suelos dominados en superficie por *A. germinans* registraron valores de CO₂ entre 9,24 y 11,88 mg C-CO₂ g/24h, para un promedio de 10,61 mg C-CO₂ g/24h, lo que representa un incremento de aproximadamente 150% en comparación con el valor promedio estimado para las muestras sin manglar próximos al área ocupada por esta especie (CUADRO 1).

Este grupo de muestras arrojó valores de desviación típica y varianza de 0,99, así como un coeficiente de variación de 9,38%, lo que advierte la homogeneidad de los valores obtenidos para las unidades de análisis en este grupo (CUADRO 1).

La prueba U de Mann-Whitney ratifica la potencialidad forestal de los suelos cubiertos con *A. germinans* como sumidero de CO₂, en contraste con los suelos desnudos, al arrojar un nivel de significancia de 0,001.

CUADRO 1. Flujo de CO₂ (mg C-CO₂ g/24h) en el suelo de la laguna de Unare, según la dominancia en superficie

Dominancia	CO ₂ (mg C-CO ₂ g/24h)			Estadísticos		
	mínimo	máximo	X	s	σ ²	CV
<i>A. germinans</i>	9,24	11,88	10,61	0,99	0,99	9,38
Sin Manglar (próximo a g.)	0,88	7,48	4,20	1,99	3,97	47,41
<i>C. erectus</i>	11,44	15,84	13,88	1,56	2,43	11,22
Sin Manglar (próximo a C. e.)	0,44	6,16	3,28	1,97	3,88	60,12
Con Manglar	9,24	15,84	12,25	2,11	4,45	17,22
Sin Manglar	0,44	7,48	3,74	1,98	3,92	52,96

X = media; s = desviación típica o estándar; σ² = varianza y CV = Coeficiente de variación

Las muestras de suelo dominado en superficie por *C. erectus* presentaron valores de liberación de CO₂ entre 11,44 y 15,84 mg C-CO₂ g/24h, para un promedio de 13,88 mg C-CO₂ g/24h. Lo anterior representa un incremento de, aproximadamente, 323% si se considera el valor promedio de CO₂ estimado para las muestras de suelo sin cobertura de manglar en superficie, próximas al área ocupada por esta especie (CUADRO 1).

Este grupo de muestras arrojó una desviación típica de 1,56; varianza de 2,43 así como un coeficiente de variación de 11,22%, lo que advierte la homogeneidad de los valores obtenidos para las unidades de análisis (CUADRO 1).

La prueba *U* de Mann-Whitney ratifica la potencialidad forestal de los suelos cubiertos con *C. erectus* como sumidero de CO₂, en contraste con los suelos desnudos, al arrojar un nivel de significancia de 0,010.

La prueba *H* de Kruskal-Wallis arrojó un valor *p* igual a 0,000 evidenciando que existen diferencia significativas en el CO₂ liberado en los tres grupos de muestras (CUADRO 2), lo cual ratifica lo antes referido sobre la potencialidad del manglar para generar condiciones de producción y captura de este gas, pero además advierte, de una aparente superioridad del *C. erectus* con relación a *A. germinans* (FIGURA 3), como agente regulador de las condiciones para el flujo de CO₂ del suelo.

4. Discusión

Los resultados anteriormente expuestos evidencian la potencialidad forestal de los manglares, no solo para generar condiciones que favorecen la proliferación de microorganismos, y con ello la producción de CO₂ asociado a su respiración, sino además, su captura en la estructura del suelo, convirtiéndolos en verdaderos sumideros del este gas.

Tal como reseña Botero (s/f), el detritus proveniente del manglar: las hojas y madera muerta son atacadas por bacterias, hongos y protozoarios, que la descomponen en materia orgánica más fina y finalmente las mineralizan, dejando como partes de sus aportes nutrientes inorgánicos y CO₂ disponibles en el suelo.

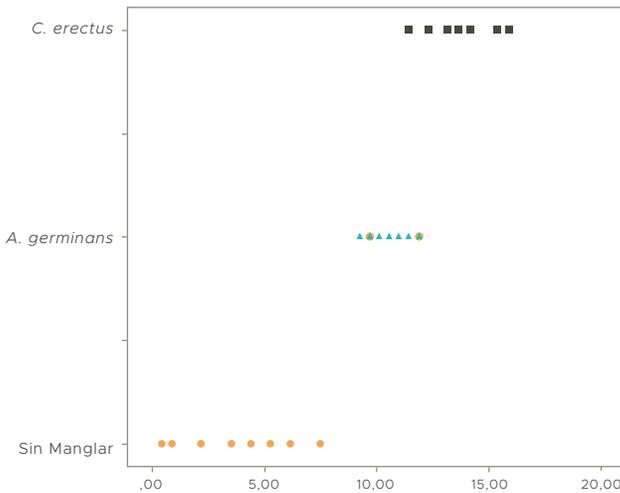
Si bien la referida potencialidad forestal no ha sido lo suficientemente reportada para el flujo de carbono por respiración de microflora y microfauna en suelos dominados por manglar, es importante resaltar que ha sido reconocida en otras variantes de captura de carbono para zonas de este tipo en: Florida-Estados Unidos de América (Lugo y Snedaker, 1974), Malasia (Putz y Chan, 1986), México (Moreno *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2011), China (Xiaonan *et al.*, 2008), Panamá (Universidad de Sevilla *et al.*, 2012; Herrera *et al.*, 2016) entre otros.

Por otra parte, a pesar que los estudios vinculados a las condiciones detonantes de la proliferación de microorganismos en suelos de manglar resultan

CUADRO 2. Prueba *H* de Kruskal-Wallis de CO₂ liberado en suelos sin manglar y suelos cubiertos por *A. germinans* o *C. erectus*

Chi-Square	29,286
df	2
Asymp. Sig.	,000
99% Intervalo de confianza	
Límite inferior	,000
Límite superior	,000

FIGURA 3. Distribución del flujo de CO₂ (mg C-CO₂ g/24h) en suelos sin manglar, dominados por *A. germinans* o *C. erectus*



escasos, son válidos los aportes generados por Reth *et al.* (2005), quienes determinaron correlaciones positivas entre la temperatura del suelo y la producción de CO₂ proveniente de la actividad de bacterias heterótrofas; en contraposición con lo reportado por González *et al.* (2006), quienes precisaron la correlación negativa entre la temperatura del agua y la proliferación de bacterias heterótrofas, siendo que a mayor temperatura las poblaciones de bacteria disminuían. Como se evidencia, no ha sido posible establecer tal correlación lineal, ya que existen otros factores como el pH o la humedad del suelo, que pueden disminuir la actividad metabólica de los microorganismos, si los valores se encuentran fuera del rango óptimo para las bacterias (Voroney, 2007).

No obstante, el efecto sombra sobre el suelo, generado por la estructura del manglar y específicamente la producida por el dosel de la planta, posiblemente propicie condiciones microclimáticas, caracterizadas entre otros elementos, por

el leve descenso de la temperatura en su área de dominio. Ya que la planta es capaz de filtrar y absorber parte de la radiación solar, reduciendo su efecto y regulando térmicamente la superficie del suelo y el agua circundante, generando en éstas las condiciones óptimas de temperatura para la proliferación de microorganismos edáficos y sus consecuentes procesos metabólicos.

Lo anterior genera, a su vez, aportes al manglar, ya que la proliferación óptima de ciertos microorganismos, en opinión de Holguín *et al.* (2007), contribuye mediante tres mecanismos, para que la actividad bacteriana tribute al sostenimiento de las diversas especies: **a)** favorecen la mineralización de la materia orgánica bajo condiciones principalmente anaerobias y microaerofílicas. Esto, fundamentalmente, por la intervención de bacterias sulfato reductoras, cuya área de influencia se ubica en las capas anaerobias de los sedimentos de manglar; **b)** incrementa las tasas de fijación biológica de nitrógeno, lo que contribuyen con

un 40 a 60% de los requerimientos del ecosistema, y c) la presencia de bacterias de la rizósfera, brindan a la planta nutrientes y otras sustancias necesarias para su crecimiento.

La notable captura de CO_2 en suelos cubiertos por *A. germinans* tiene efectos positivos sobre esta especie de manglar, ya que de acuerdo con lo referido por Lovelock *et al.* (2016), contribuye con un posible aumento en la productividad del nivel de la hoja, así como en su índice del área, considerando que esto último pudiese compensar la reducción en el uso de agua por hojas individuales.

De acuerdo con Reef *et al.* (2015; 2016), es probable que las altas concentraciones recientes de CO_2 , tengan un efecto positivo significativo en la tasa de crecimiento de *A. germinans* durante el próximo siglo, cambiando y expandiendo su nicho, especialmente en áreas donde la disponibilidad de nutrientes sea alta.

La efectividad del *C. erectus* para generar condiciones que favorezcan la emisión y/o captura de CO_2 en el suelo que ocupan no ha sido suficientemente estudiado; no obstante, El Mahrouky *et al.* (2014) reportan, en un estudio cuyo propósito fue reconocer el efecto de enmendar con desechos de *C. erectus* un suelo calcáreo arenoso, que la adición de restos de esta especie llevó a una disminución significativa en el pH del suelo, la tasa de emisión de CO_2 fue mayor en los primeros días de incubación que cuando este progresó; sin embargo, la emisión acumulada se incrementó de 3 a 6 veces más que la del grupo control.

5. Conclusiones

La investigación permitió establecer diferencias significativas en la captura de CO_2 en suelos dominados por manglar, en contraposición de aquellos que no evidencian la presencia de esta especie en su superficie. Siendo significativamente más alto la producción de este gas invernadero en el primero de los dos grupos de muestras referidos. Ahora bien, es importante destacar que los suelos dominados en superficie por individuos de *C. erectus* emitieron significativamente más CO_2 que los dominados por *A. germinans*.

Si bien se reconoce la efectividad de los ecosistemas de manglar en la captura del CO_2 , es necesario la promoción de investigaciones vinculadas a estudiar la correlación directa entre el almacenamiento del referido gas invernadero y las distintas especies de manglar, a fin de precisar posibles escenarios de captura del dióxido de carbono en suelos cubiertos por manglar, así como determinar la efectividad de las especies como agentes reguladores de este elemento en el suelo.

6. Agradecimientos

La investigación fue financiada por FONDEIN-UPEL, con la aprobación de la Subdirección de Investigación y Postgrado del IPC, la Coordinación General de Investigación y el Centro de Investigaciones de Estudios del Medio Físico Venezolano. Muy especialmente, agradecemos el apoyo durante el trabajo de campo y de laboratorio de los Bachilleres Yohana Moreno, Javier Pérez, Génesis Gómez, Gabriel Sojo, Gabriela López y Williams Castro, estudiantes del curso 'Seminario de Investigación en Geografía' del Programa de Geografía e Historia del IPC.

7. Referencias citadas

- ALEF, K. 1995. "Soil respiration". In: K. ALEF & P. NANNIPIERI (eds). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. pp. 214-218. Academic Press Limited. San Diego, USA.
- ANDERSON, J. 1982. "Soil respiration". En: A. L. PAGE; R. H. MILLER & D. KEENEY. (Comp). *Methods of soil analysis*, (part 2.; 2ed.). Agronomy Monograph 9: 837-871. ASA and SSSA. Madison. USA.
- ARMENTANO, T. 1981. Potential significance of tropical organic soils for the carbon balance of the terrestrial biosphere. [Documento en línea]. Conferencia presentada en el *Simposio Jubilar de la Sociedad Internacional de Ecología Tropical*, Bhopal, India, Octubre. Disponible en: <https://www.osti.gov/scitech/biblio/5468757>
- BARBOZA, F.; BARRETO, M.; FIGUEROA, V.; FRANCISCO, M.; GONZÁLEZ, A.; LUCENA, L.; MATA, K.; NARVÁEZ, E.; OCHOA, E.; PARRA, L.; ROMERO, D.; SÁNCHEZ, J.; SOTO, M.; VERA, A.; VILLARREAL, A.; YABROUDI, S. y E. MEDINA. 2006. "Desarrollo estructural y relaciones nutricionales de un manglar ribereño bajo clima semiárido". *Ecotrópicos*, 19(1): 13-29
- BOGADO, K. 2013. *Calidad del suelo en diferentes sistemas de manejo utilizando algunos indicadores biológicos*. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay. Tesis de Grado (Magister en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial).
- BOTERO, L. s/f. *Manglares del Caribe colombiano*. Disponible en: <http://biblovirtual.mnambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0040/MMA-0040-CAPITULO2.pdf>
- CARTER, M. R. 2002. "Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions". *Agronomy Journal*, 94: 38-47.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL. 2009. *La reforestación de los manglares en la costa de Oaxaca. Manual comunitario*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- CUMANA, L.; PRIETO, A. y G. OJEDA. 2000. "Florula de la laguna de Chacopata, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela". *Revista Saber*, 12: 25-33.
- DE BENITO, A. y A. SOMBRERO. s/f. *Fijación de carbono en el suelo en agricultura de conservación*. Disponible en: http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1504-captura-de-carbono-2015.
- DE OLIVARES, D. 1988. "Caracterización ecológica del manglar de la Ciénaga Las Palmitas (estado Zulia, Venezuela)". *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 17: 91-119
- DEL MÓNACO, C.; GIMÉNEZ, E.; NARCISO, S.; ALFONSO, F. y F. BUSTILLOS. 2010. "Caracterización de los bosques de manglar y las praderas de *Thalassia testudinum* de la Isla La Tortuga y Cayos adyacentes, Venezuela". *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 44(3): 297-316.
- DITTMAR, T.; HERTKORN, N.; KATTNER, G. & R. LARA. 2006. "Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans". *Global Biogeochemical Cycles*, 20.
- EL MAHROUKY, M.; EL NAGGAR, A.; USMAN, A. & M. AL WABEL. 2014. "Dynamics of CO₂ emission and biochemical properties of a sandy calcareous soil amended with Conocarpus waste and biochar". *Pedosphere*, 25: 21-28.
- FONT QUER, P. 2001. *Diccionario de Botánica*. Ediciones Península. Barcelona, España.

- GÓMEZ, L.; MARCANO, L.; POGGY, Z.; CASTELLANOS, M. y C. MIRANDA. 2006. "Movilización y educación de la comunidad en ecosistemas costeros contaminados (Cuba y Venezuela)". En: Y. BRETON; D. BROWN; B. DAVY; M. HAUGHTON Y L. OVARES (Comps.). *Manejo de recursos costeros en el Gran Caribe: Resiliencia, adaptación y diversidad comunitaria*. pp. 133-167. Ediciones del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Bogotá, Colombia
- GONZÁLEZ, B.; BASHAN, Y.; HERNÁNDEZ, N.; ASCENCIO F. & G. DE LA CRUZ-AGÜERO. 2006. "Seasonal seawater temperature as the major determinant for populations of culturable bacteria in the sediments of an intact mangrove in an arid region". *FEMS Microbiology Ecology*, 55: 311-321,
- GUERRERO, P.; QUINTERO, R.; ESPINOZA, V.; BENEDICTO, G. y M. SÁNCHEZ. 2012. "Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus". *Terra Latinoamérica*, 30(4): 355-362
- HERRERA, J.; CAMACHO, A.; PECH, E.; PECH, M.; RAMÍREZ, J. y C. TEUTLI. 2016. "Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México". *Terra Latinoamericana*, 34: 61-72.
- HOLGUIN G.; FLORES, A.; EBERHARD, A.; WINANS, S.; DÁVILA, A.; VILLICAÑA, C.; GERALDO, N.; BACILIO, M.; Y. LÓPEZ y M. RUIZ. 2007. "Microbiología de manglar y técnicas moleculares para su estudio". En: J. SÁNCHEZ (ed). *Potencial biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y agroecosistemas*. pp 94-103. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- JANDL, R. 1981. "Secuestro de carbono en bosques. El papel del suelo". *Revista Forestal Iberoamericana*, 1(1): 57-62.
- KREBS, L. 2003. *Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. Tesis de grado (Máster en Ciencias).
- LINDORF, H.; PARISCA, L. y P. RODRÍGUEZ. 2006. *Botánica: clasificación, estructura y clasificación*. Ediciones de la biblioteca. UCV. Caracas, Venezuela.
- LLOYD, J. & A. TAYLOR. 1994. "On the temperature dependence of soil respiration". *Functional Ecology*, 8: 315-323.
- LÓPEZ, B.; BARRETO, M. y J. CONDE, J. 2011. "Caracterización de los manglares de zonas semiáridas en el Noroccidente de Venezuela". *Interciencia*, 36(12): 888-893.
- LOVELOCK, C.; KRAUSS, K.; OSLAND, M.; REEF, R. & M. BALL. 2016. "The physiology of Mangrove Trees with Changing climate" En: G. GOLDSTEIN & L. SANTIAGO (ed.). *Tropical Tree Physiology. Adaptations and Responses in a Changing Environment*. pp. 149-180. Springer. Florida, USA.
- LUGO, A. & S. SNEDAKER. 1974. "The ecology of mangroves". *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 39-64
- MARÍN, G. 2000. "Ictiofauna y pesquerías de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela". *Acta Biológica Venezuelica*, 20(3): 61-92.
- MEDINA, E. y F. BARBOZA. 2003. "Manglares del sistema del Lago de Maracaibo: Caracterización fisiográfica y ecológica". *Ecotrópicos*, 16(2): 75-82.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DEL GOBIERNO DE ESPAÑA. 2015. *Cambio climático Sumideros de Carbón*. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros_tcm7-12476.pdf

- MONKHOUSE, F. 1978. *Diccionario de términos geográficos*. Oikos-Tau S.A. Barcelona, España.
- MORENO C.; GUERRERO, E.; GUTIÉRREZ, M.; ORTIZ, C. y D. PALMA. 2002. "Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono". *Madera y Bosques* (Número especial): 115-128.
- NEILL, C.; CERRI, C.; MELILLO, J.; FEIGL, B.; STEUDLER, P.; MORAES, J. & M. PICCOLO. 1998. "Stocks and dynamics of soils carbon following deforestation for pasture in Rondônia". En: R. LAL; J. KIMBLE; R. FOLLET & B. STEWART (eds.). *Soil processes and the carbon cycle*. pp. 235-243. CRC Press. Boca Raton. Florida, USA.
- NÚÑEZ, F. 2013. "Composición de las costras microbióticas y su influencia en algunas propiedades del suelo en una zona semiárida". *Revista de Investigación*, 37(80): 91-115
- NÚÑEZ, F. 2014. "Efectos de la costra microbiótica en algunas propiedades del suelo en el sur de la quebrada los Barrancos, Valle de Quíbor, Venezuela". *Investigaciones Geográficas*, 84: 5-19
- NÚÑEZ, F.; UGAS, M. y M. HERNÁNDEZ. 2017. "Contribución del musgo *Fissidens taxifolius* en algunas propiedades del suelo ubicado en el Parque Nacional El Guácharo, Venezuela". *Terra (Nueva etapa)*, 33(53): 139-162
- OJEDA, M. 2004. *Informe Técnico. Proyecto Evaluación de las poblaciones de patos migratorios (Anatidae) en Venezuela, 2003-2004*. Disponible en: http://www.ducks.org/media/Conservation/Conservation_Documents/_documents/INFORME%20TECNICO%202003-04.pdf
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2002. *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos 96*. Roma, Italia.
- PALMA, D. 2011. *Evaluación de la actividad biológica (respiración y biomasa microbiana) como indicadores de la salud de suelos ubicados en San Joaquín, estado Carabobo*. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. Trabajo Especial de Grado (Licenciada en Química).
- PANNIER, F. y R. PANNIER. 1989. *Los Manglares de Venezuela*. Serie Cuadernos Lago-ven, Lagoven SA. Caracas, Venezuela.
- PERIS, M. 2013. "El suelo como sumidero de CO₂: mapa de retención de CO₂ de las tierras de labor de los distintos países de la Unión Europea". *Ojeando la Agenda*, 24: 27-36.
- PUTZ, F. & H. CHAN. 1986. "Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia". *Forest Ecology and Management*, 17: 211-230.
- RAMOS, E. y D. ZUÑIGA. 2008. "Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio". *Ecología aplicada*, 7(1,2): 123-130.
- REEF, R.; WINTER, K.; MORALES, J.; ADAME, M.; REEF, D. & C. LOVELOCK. 2015. "The effect of atmospheric carbon dioxide concentrations on the performance of the mangrove *Avicennia germinans* over a range of salinities". *Physiologia Plantarum*, 154(3): 358-68.
- REEF, R.; SLOT, M.; MOTRO, U.; MOTRO, M.; MOTRO, Y.; ADAME, M.; GARCÍA, M.; ARANDA, J.; LOVELOCK, C. & K. WINTER. 2016. "The effects of CO₂ and nutrient fertilisation on the growth and temperature response of the mangrove *Avicennia germinans*". *Photosynthesis Research*, 129(2): 159-170.

- RETH, S.; REICHSTEIN, M. & E. FALGE. 2005. "The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux- A modified model". *Plant and Soil*, 268: 21-33
- ROA, P. 1990. "La transgresión Flamenca y la evolución de la laguna de Unare, Venezuela". *Boletín del Instituto de Oceanografía*, 29(1/2): 11-25.
- RODRÍGUEZ, M. e I. GÓMEZ. 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*, 29(3): 511-522
- RONQUILLO, J. 1851. *Diccionario de materia mercantil, industrial y agrícola*. Tomo I. Barcelona, España.
- SANDOVAL, M.; STOLPE, N.; ZAGAL, E.; MARDONES, M. y J. JUNOD. 2003. "El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global". *Theoria*, 12: 65-71
- SÁNCHEZ, L.; PAOLINI, J. y J. RODRÍGUEZ. 2010. "Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (*Rhizophoraceae*) en Isla de Margarita, Venezuela". *Revista de Biología Tropical*, 58(2): 547-564.
- SÁNCHEZ R.; DAMIÁN, D.; CERÓN, R.; CERÓN, J.; GUERRA, J.; RANGEL, M. y J. ZAVALLA. 2011. "Determinación del carbono almacenado en suelos con asociación de mangle rojo en Nuevo Campechito, Campeche". *UNACAR Tecnociencia*, 5(1): 1-7.
- SENIOR, W. y L. OCANDO. s/f. *Estudio hidroquímico de la Laguna de Unare, Venezuela, durante el periodo noviembre 1988-julio 1989*. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/William_Senior4/publication/307925816_Informe_sobre_la_Laguna_de_Unare/links/57d1e8aa08ae0c0081e05810.pdf
- SCHIMMEL, D. 1995. "Terrestrial ecosystems and the carbon cycle". *Global Change Biology*, (1): 77-91.
- SUÁREZ, C. 1991. *Modificaciones naturales y artificiales en las lagunas de Unare y Píritu y sus efectos ambientales: Un enfoque geomorfológico*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela. Trabajo de Ascenso (inédito).
- TREJO, J. 2009. "Un mangle de plata: El Botoncillo (*Conocarpus erectus*)". *Desde el Herbario CICY*, (1): 21-22
- UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA y RECURSOS NATURALES - COMISIÓN DE ECOLOGÍA. 1983. *Global Status of Mangrove Ecosystems*. Países Bajos.
- UNIVERSIDAD DE SEVILLA; UNIVERSIDAD PABLO OLAVIDE y LA UNIVERSIDAD MARRÍTIMA INTERNACIONAL DE PANAMÁ. 2012. *Capacidad de secuestro de carbono de los ecosistemas de manglares: Hacia una nueva gestión*. Disponible en: <http://www.ect-global.com/documentos/resumenproyecto.pdf>
- VERHULST, N.; FRANÇOIS, I. y B. GOVAERTS. 2015. *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México.
- VORONEY, R. 2007. "Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry in Perspective". En: P. ELSDOR (ed). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. pp. 25-27. Academic Press. Boston, USA.

- WANG, Y. & P. POLGLASE. 1995. "Carbon balance in the tundra, boreal forest and humid tropical forest during climate change: scaling up from leaf physiology and soil carbon dynamics". *Plant Cell Environ*, 18(10): 1.226-1.244.
- XIAO, W. & L. QIN. 2006. "Effect of waterlogged and aerobic incubation on enzyme activities in paddy soil". *Pedosphere*, 16(4): 532-539.
- XIAONAN, D.; XIAOKE, W.; LU, F. & O. ZHIYUN. 2008. "Primary evaluation of carbon sequestration potential of wetlands in China". *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 63-469.
- ZAMBRANO, A.; FRANQUIS, F. y A. INFANTE. 2004. "Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales". *Revista Forestal Latinoamericana*, 35: 11-20.