

## 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

Gibran ROMERO<sup>1</sup> & Williams MELÉNDEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra, Caracas.  
Correo-e.: gibran13@gmail.com

### RESUMEN

Se estudiaron suelos asociados a diversas especies de mangles con diferente desarrollo estructural, ubicados en Boca de Caño, noreste de la Península de Paraguaná (8 - 10 m de altura), y en Punta Caimán al Oeste del Golfete de Coro (menores a 2 m de altura), en el estado Falcón. El estudio incluyó las determinaciones de nutrientes, micronutrientes y metales pesados, además de medidas de pH y salinidad. Los resultados indican que los suelos dominados por la especie de mangle *Avicennia germinans* presentan mayor salinidad que los dominados por *Rizophora mangle*, y los suelos de Boca de Caño son más ácidos y con un mayor contenido de materia orgánica que los de Punta Caimán. Las diferencias más importantes encontradas entre las dos zonas estudiadas fueron que las concentraciones de Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, P y Pb en el extracto de HNO<sub>3(c)</sub>, las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd en el extracto HCl 1M, y la concentración de Hg en la muestra total, son mayores en los suelos de manglar de Punta Caimán que en los de Boca de Caño. Por otra parte, es posible que los mangles de Punta Caimán tengan un menor tamaño debido a una deficiencia de P biodisponible.

*Palabras clave:* manglares, metales pesados, nutrientes, Punta Caimán, Falcón.

### ABSTRACT

Soils of diverse structural development associated with several mangrove species were studied. They are located at Boca de Caño, to the NE of the Península de Paraguaná, and to the west of the Golfete de Coro, at Punta Caimán, of the Falcón State of Venezuela. Nutrients, micronutrients, heavy metals, pH and salinity were determined. Results show that where the soils are predominantly carrying *Avicennia germinans* show higher salinity than soils carrying *Rizophora mangle*. Soils at Boca de Caño have lower pH, and higher organic matter content than those at Punta Caimán. The more important differences between the two areas are the concentrations of Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, P and Pb in the concentrated HNO<sub>3</sub> extract, the concentrations of Cu, Zn, Pb and Cd in the 1M HCl extract, and the total Hg concentration in the whole samples, which are higher for the soils at Punta Caimán

than those at Boca de Caño. Additionally, it is possible that mangrove plants at Punta Caimán are smaller in size due to a deficiency of bioavailable P.

*Keywords:* mangroove, heavy metals, nutrients, Punta Caimán, Falcón.

### INTRODUCCIÓN

Los ambientes costeros son transiciones entre ambientes marinos y terrestres, por lo que sus propiedades van a estar influenciadas por procesos tanto terrestres (caudal del río) como por procesos marinos (el oleaje y las mareas). Uno de los ambientes más característicos de estos sistemas son los estuarios, los mismos son zonas donde el mar penetra hacia el cauce de un río, debido a un aumento en el nivel del mar, por lo que están formados por sedimentos de origen marino y terrestre (MÉNDEZ 2006; PERRY & TAYLOR 2007). Las aguas de los estuarios son salobres debido a la mezcla entre el agua dulce del río y el agua salada proveniente del mar, esto conlleva al establecimiento de ecosistemas con una fauna y flora características. Entre estos ecosistemas uno de los más representativos son los bosques de manglares, que son capaces de crecer bajo estas condiciones. Otro aspecto importante es que la biomasa de los bosques de manglares puede ser enorme, lo que los constituye en potenciales acumuladores de carbono (ALONGI 2009, PERRY & TAYLOR 2007).

El desarrollo y crecimiento de este ecosistema está influenciado por diversos factores como son la radiación solar, temperatura, salinidad, disponibilidad de oxígeno, agua y nutrientes (ALONGI 2009). Entre los nutrientes más importantes que se encuentran en el suelo están el nitrógeno y el fósforo, además existen otros elementos esenciales para las plantas que se encuentran en menor concentración, los cuales son denominados micronutrientes (Zn, Cu, Co, Mn y Fe). La biodisponibilidad de los elementos esenciales va a depender de la especie química que se encuentre en el suelo. Por lo tanto, está relacionada con los procesos involucrados en los ciclos biogeoquímicos de estos elementos, así como con el tamaño de partícula y los procesos que ocurren en el suelo del bosque de manglar (ROBERTSON & ALONGI 1992).

En los suelos de manglar prevalecen las condiciones anóxicas, favoreciéndose la formación de sulfuros de

metales pesados, por lo que estos suelos están caracterizados por poseer la capacidad de retener metales pesados en una forma que no es disponible para las plantas. Sin embargo, al desestabilizar el sistema puede favorecerse la movilidad de metales pesados (CLARK *et al.* 1998).

A medida que aumenta la población humana en las zonas costeras, se incrementa el aporte de contaminantes, como metales pesados, hidrocarburos, herbicidas, pesticidas, aguas residuales y ácidos (ALONGI 2009, ALLABY & GARRAT 2006). Esto causa un grave daño a los bosques de manglares y, por lo tanto, al equilibrio del ecosistema que se genera en estas zonas. Es importante preservar estos bosques ya que, aparte de su función ecológica, los mismos son de alta importancia socioeconómica, porque existen comunidades que dependen de la pesca, tala de madera, extracción de ostras y de mariscos (ALONGI 2009).

Al Oeste del Golfo de Coro, en la zona denominada Punta Caimán, estado Falcón, Venezuela, existe un ecosistema de bosque de manglar, el cual se encuentra poco desarrollados con especies de mangle que no alcanzan los 2 m de altura. Por otro lado, puede observarse una zonación entre las especies *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*, que ubica a la *Rizophora mangle* creciendo hacia el norte (más alejado de la costa). Esta zonación entre las distintas especies de mangle pudiera estar influenciada por factores como la salinidad, tipo de suelo, contenido de nutrientes, tolerancias fisiológicas, depredación y competencia con otras especies de plantas (ALONGI 2009). Adicionalmente, en esta zona existe una actividad pesquera con el uso de lanchas a motor, que puede aportar metales pesados a los suelos de manglar, lo cual también podría incidir en la alteración del ecosistema.

En la zona denominada laguna Boca de Caño, ubicada al noreste de la Península de Paraguaná, que es considerada como un refugio de fauna silvestre y reserva de pesca, puede observarse una diferencia en el desarrollo estructural de los manglares, ubicándose dos zonas de manglares, una hacia el margen oriental de la laguna, donde los manglares se encuentran poco desarrollados, con menos de 2 m de altura, y están dominados por especies de *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*; y otra en el margen septentrional de la laguna donde se encuentran manglares de aproximadamente 8 m de altura, encontrándose la *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*. En esta zona los manglares presentan un patrón de zonación, donde la *Rizophora mangle* crece

más cercana a la laguna, y en la zona más alejada de la laguna crece la *Avicennia germinans*. El aporte permanente de agua a la laguna proviene del mar, con el cual se comunica por una boca que se encuentra en el noreste de la laguna (MARN 2001).

En estas zonas no se han realizado estudios de la composición química del sustrato y su relación con el desarrollo de los manglares y la asociación entre las diferentes especies de mangle, por lo que resulta de interés elaborar una investigación con el fin de relacionar la salinidad y la concentración de nutrientes, micronutrientes y elementos traza con el desarrollo estructural de los manglares, y entre las zonas de Punta Caimán y la laguna Boca de Caño, y de esta manera aportar información sobre la diferencia de composición del sustrato entre diversas especies de mangle.

Este trabajo tiene como objetivos:

Determinar el pH, salinidad y las concentraciones de Fe, Al, Ni, Mn, Ca, Cu, Pb, Hg, Zn, Cr, Cd, C, N y P en los suelos asociados a distintas especies de mangle de la zona occidental del Golfo de Coro y Noreste de la Península de Paraguaná.

Establecer la relación que existe entre la composición química de los suelos y el desarrollo de las diferentes especies de mangle de la zona oeste del Golfo de Coro y Noreste de la Península de Paraguaná, estado Falcón.

## MÉTODOS

Se ubicaron 5 puntos de muestreo en los manglares de Punta Caimán (Fig. 1), y 8 puntos de muestreo en el refugio de fauna y reserva de pesca Laguna Boca de Caño, ambos en el estado Falcón (Fig. 2). Con el fin de estudiar los cambios químicos en el perfil del suelo, en cada punto fueron captadas muestras a distinta profundidad, (25 cm, 60 cm y 90 cm). En campo se realizaron medidas del pH a cada muestra de suelo captada. Asimismo, fueron captadas muestras de agua intersticial en cada punto de muestreo para determinar la salinidad de las mismas, a partir de la concentración de iones cloruro en el agua (WALLACE 1974).

Las muestras de suelo fueron tamizadas, usando un tamiz de acero inoxidable de 2 mm de abertura, posteriormente, fueron pulverizadas y homogeneizadas usando un mortero de ágata. Para la determinación de los elementos Fe, Al, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ca y P se realizó una extracción secuencial con HCl 1 M y HNO<sub>3</sub> concentrado a todas las muestras de suelo. Las soluciones obtenidas fueron analizadas por espectroscopia de emisión atómica acoplada a plasma (EEA-ICP) para determinar la concentración de

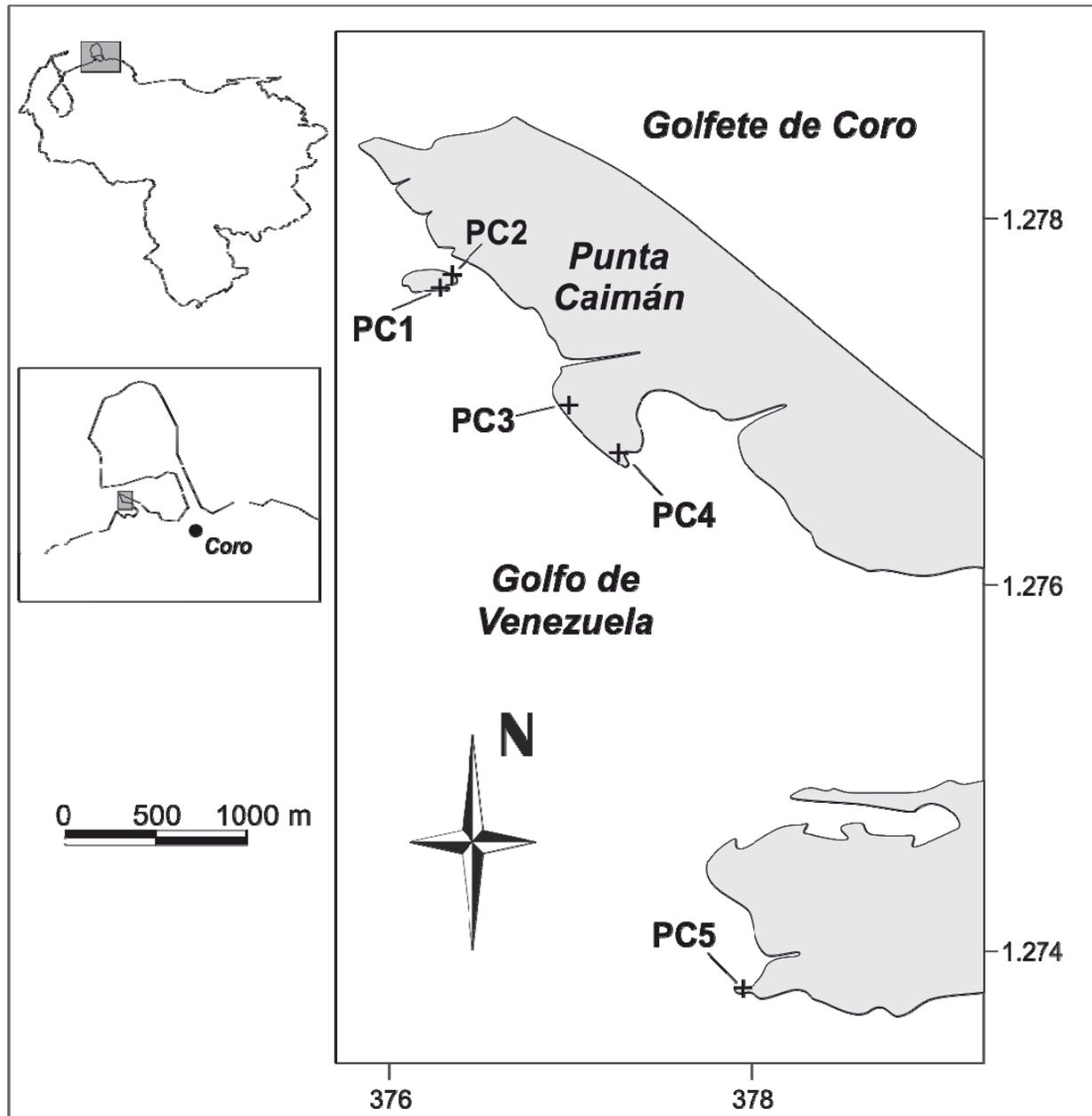


Fig. 1: Ubicación de los puntos de muestreo en Punta Caimán (coordenadas UTM, Huso 19, Datum WGS-84). PC1 corresponde a una zona de transición entre *Avicennia germinans* y *Rizophora mangle*, PC2, PC4 y PC5 corresponden a *Avicennia germinans*, mientras que PC3 corresponde a *Rizophora mangle*.

Fe, Al, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ca. El fósforo fue determinado a través del método de fotolorimetría de Murphy y Riley modificado para materiales geológicos (RIVERA 2008). El mercurio fue determinado usando un equipo analizador directo de mercurio DMA-80, mientras que el carbono total fue determinado usando un equipo analizador de carbono, marca LECO modelo C - 144, y el porcentaje de carbono orgánico de las muestras de suelo fue determinado mediante el método

de WALKLEY-BLACK (1934). El nitrógeno total se determinó a través del método Kjeldahl modificado de JACKSON (1976).

Para el análisis estadístico de los datos se calcularon la media y la desviación estándar. Además se realizaron pruebas de hipótesis t de Student con la finalidad de comparar los suelos superficiales de la zona oeste del Golfo de Coro (Punta Caimán) con los suelos superficiales de la zona noreste de la Península de

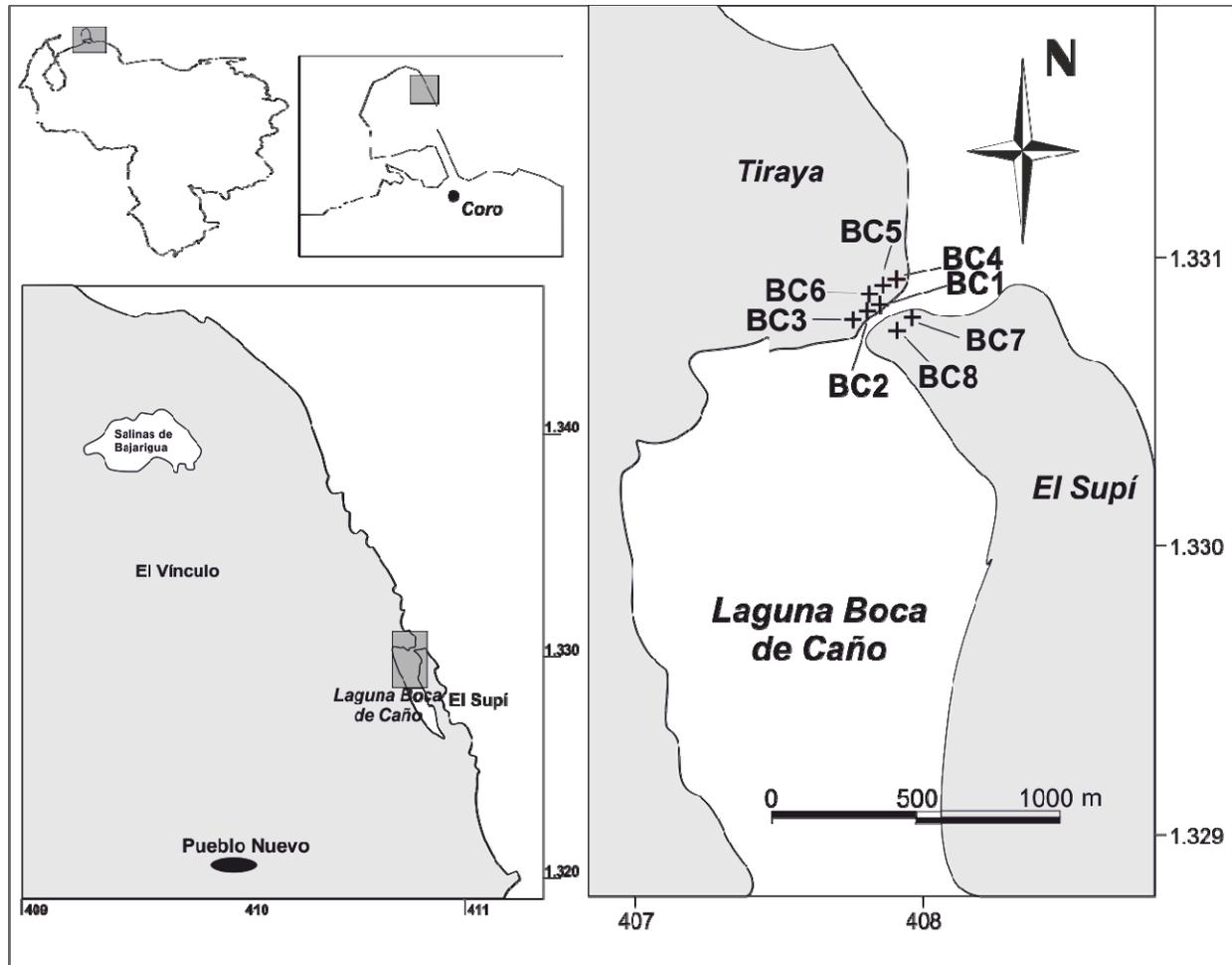


Fig. 2: Ubicación de los puntos de muestreo en Boca de Caño (coordenadas UTM, Huso 19, Datum WGS-84). BC1, BC2, BC3 representan *Rizophora mangle* de hasta 8 m de altura; BC4, BC5, BC6 representa *Avicennia germinans* de hasta 8 m de altura; BC7 y BC8 representan *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans* de 3 m de altura aproximadamente.

Paraguaná (Laguna Boca de Caño). Por otra parte, esta prueba de hipótesis también se realizó para identificar si existen diferencias entre los suelos superficiales dominados por distintas especies de mangle y por mangles desarrollados (mayores de 8 m de altura) y poco desarrollados (menores de 3 m de altura) presentes en la Laguna de Boca de Caño. Adicionalmente, fue realizado un análisis estadístico multivariado, para el cual fue necesario realizar pruebas de normalidad para ajustar las variables que no presentaban un comportamiento normal. El análisis multivariado consistió en la realización de dendrogramas para la

agrupación de variables y de muestras (MILLER & MILLER 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los resultados de pruebas de hipótesis "t" de Student (Tabla 1), los suelos dominados por *Avicennia germinans* presentan mayor salinidad que los dominados por *Rizophora mangle*, lo cual confirma que la *Avicennia germinans* domina en suelos más alejados de la orilla, donde las sales se concentran por causa de la evaporación del agua.

Tabla 1: Promedio de medidas para suelos de Punta Caimán (PC), Boca de Caño (BC), mangles desarrollados de Boca de Caño (DBC), mangles poco desarrollados de Boca de Caño (PDBC), *Rizophora mangle* (Rm) y *Avicennia germinans* (Ag) de Boca de Caño.

Variables	PC	BC	DBC	PDBC	Rm	Ag
	Xm	Xm	Xm	Xm	Xm	Xm
N (%)	0,3	0,4	0,4	0,24	0,39	0,5
C org (%)	2	6	6	2	6	5
C inorg (%)	1	2	2	1,5	0,6	3
pH	7,32	6,9	6,82	7,05	7	6,9
P HCl (ppm)	331	375	358	427	410	305
P HNO <sub>3</sub> (ppm)	299	124	133	97	146	119
Al HCl (%)	0,15	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13
Al HNO <sub>3</sub> (%)	0,9	0,3	0,3	0,24	0,4	0,3
Ca HCl (%)	3	5	3	8	0,5	6
Ca HNO <sub>3</sub> (%)	0,3	0,3	0,2	0,39	0,09	0,4
Cd HCl (ppb)	174	110	103	132	115	90
Cr HCl (ppm)	3	4,4	4,2	4,9	4,3	4,1
Cr HNO <sub>3</sub> (ppm)	13	9	9	7	10	8
Cu HCl (ppm)	8	3	3	2	3	2,8
Cu HNO <sub>3</sub> (ppm)	8	4	4	4	5	2,4
Fe HCl (%)	0,5	0,4	0,4	0,369	0,6	0,29
Fe HNO <sub>3</sub> (%)	3	0,6	0,6	0,8	0,7	0,40
Mn HCl (ppm)	106	45	32	85	24	39
Mn HNO <sub>3</sub> (ppm)	56	14	12	19	14	9
Ni HCl (ppm)	7	6	6	5	7	4,7
Ni HNO <sub>3</sub> (ppm)	17	7	7	7	8	5
Pb HCl (ppm)	8	5	5	2,9	6	4
Pb HNO <sub>3</sub> (ppm)	6	1,7	2	1,8	2	1,2
Zn HCl (ppm)	229	137	141	124	165	117
Zn HNO <sub>3</sub> (ppm)	436	142	136	159	180	92
Salinidad (‰)	58	50	50	51	45	59
Hg (ppb)	35	3				
C/N	5	12	13	7	16	11

Por otra parte, al comparar los manglares de Boca de Caño y los manglares enanos de Punta Caimán se encontró que la concentración de carbono orgánico y la relación de C/N son mayores en los suelos de manglar de Boca de Caño (Tabla 1). Por consiguiente, puede que exista una removilización de materia orgánica en los suelos de manglar de Punta Caimán por la actividad de las mareas, lo que conlleva a la remoción de los nutrientes que puedan ser aportados por las hojas caídas (ROBERTSON & ALONGI 1992), o una mineralización del carbono orgánico por actividad de microorganismos, obteniendo así un residuo donde el nitrógeno se encuentra fuertemente enlazado a la estructura de la sustancia húmica, disminuyendo la relación C/N y pudiendo afectar al crecimiento del mangle (LALLIER-VERGES *et al.* 1998, PRASAD & RAMANATHAN 2008). Sin embargo, en suelos de manglar de Punta Caimán el pH es mayor que en los suelos de Boca de Caño (Tabla 1), esta diferencia de pH puede deberse a que en Boca de Caño hay mayor acumulación de materia orgánica, tal como se desprende del estudio del carbono orgánico,

por lo que hay mayor cantidad de grupos ácidos asociados a la materia orgánica (BOHN *et al.* 2001). Los suelos de manglar de Punta Caimán también presentan mayor concentración de P (HNO<sub>3</sub>) que en los suelos de Boca de Caño. Sin embargo, las concentraciones de P del extracto HCl no son estadísticamente diferentes (Tabla 1). La mayor cantidad de P asociado al extracto HNO<sub>3</sub> (no biodisponible) puede estar asociado a partículas de óxidos de hierro (STEVENSON & COLE 1999).

Los suelos dominados por *Avicennia germinans* presentan menor concentración de Cu en el extracto de HNO<sub>3</sub> que los dominados por *Rizophora mangle* (Tabla 1), lo cual indica que los suelos dominados por *Rizophora mangle* acumulan más cobre posiblemente asociado a la materia orgánica, oxihidróxidos cristalinos o sulfuros (USEPA 3050B 1996). Ahora bien, al comparar los suelos bajo manglares desarrollados (8 m de altura) y manglares poco desarrollados (aproximadamente 3 m de altura) de la Laguna de Boca de Caño (Tabla 1), la única diferencia encontrada fue que suelos bajo los

mangles poco desarrollados presentan mayor concentración de Mn en el extracto de HCl 1M. Como este micronutriente no afecta directamente el crecimiento del mangle (STEVENSON & COLE 1999), la diferencia en el desarrollo de los mangles dentro de la Laguna de Boca de Caño no está relacionada con la diferencia en Mn (HCl).

Por otra parte, los suelos de manglar de Punta Caimán presentan mayores concentraciones de Al ( $\text{HNO}_3$ ), Cd (HCl), Cr ( $\text{HNO}_3$ ), Cu ( $\text{HNO}_3$ ), Fe ( $\text{HNO}_3$ ), Mn ( $\text{HNO}_3$ ), Ni ( $\text{HNO}_3$ ), Pb ( $\text{HNO}_3$  y HCl), Zn ( $\text{HNO}_3$  y HCl) y Hg que los suelos de Boca de Caño. La mayor concentración de los nutrientes, micronutrientes y metales pesados fueron encontrados en Punta Caimán, pudiéndose deber a un aporte antrópico, ya que en esta zona hay actividad antrópica importante, o estar influenciado por la litología presente en la cuenca hidrográfica del río Mitare, ya que en esta cuenca se encuentran oxihidróxidos de hierro y aluminio, carbonatos, carbones y lutitas carbonosas (GONZÁLEZ *et al.* 1980). Los carbonos pueden presentar alto contenido de sulfuros de metales (OREM & FINKELMAN en HOLLAND & TUREKIAN 2003).

Para la elaboración de los dendrogramas fueron realizadas pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov, y fueron ajustadas a la normalidad las variables que no presentaban una distribución normal mediante la transformación de Johnson. El número de grupos de cada dendrograma fue determinado mediante una gráfica de sedimentación. En la zona de Boca de Caño se realizaron dos dendrogramas para los suelos dominados por mangles desarrollados (Fig. 3) y por mangles poco desarrollados (Fig. 4). En los suelos de mangles desarrollados se obtuvieron 6 grupos de variables, donde el grupo 1, 3, 5 y 6 están representados por un solo elemento, por lo tanto no pueden asociarse a ninguna fase. El grupo 2 está constituido por el carbono orgánico, P, Al, Cr, Ni, Fe, Zn, Mn, Pb y Cu en el extracto de  $\text{HNO}_3$  y Al, Pb, Fe, Ni y Cu en el extracto de HCl. Este grupo representa a elementos que posiblemente se encuentren asociados a la materia orgánica, debido a que estos elementos pueden formar complejos organometálicos, además, el carbono orgánico se encuentra en este grupo. El grupo 4 de los manglares desarrollados de Boca de Caño representa la fase de carbonatos, donde está caracterizado por el Ca y el Mn en el extracto de HCl. La biodisponibilidad de los metales en el suelo puede ser controlada al formar compuestos organometálicos (BOHN *et al.* 2001), por lo tanto, posiblemente no hay efectos tóxicos. Por otro lado, el P en el extracto  $\text{HNO}_3$  se encuentra asociado a la materia orgánica, y ésta al descomponerse puede liberar el fósforo haciéndolo biodisponible para las plantas.

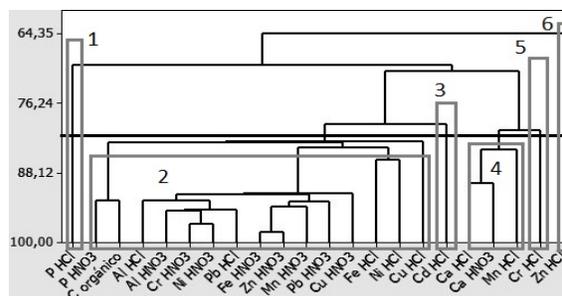


Fig. 3: Dendrograma para variables en suelos de manglares desarrollados de Boca de Caño.

Ahora bien, en los suelos poco desarrollados de Boca de Caño (Fig. 4), presenta 4 grupos, el grupo 1 constituido por el carbono orgánico, Cu, Pb, Cr, Fe, Zn, Mn, Ni, y Al en el extracto  $\text{HNO}_3$  y Al, Cr, Ni, Cd y Zn en el extracto de HCl, representa la fase relacionada con la materia orgánica, posiblemente formando complejos organometálicos; el grupo 2 constituido por el P en el extracto  $\text{HNO}_3$  y Mn, Cu, Fe y Pb en el extracto de HCl, posiblemente representa los oxihidróxidos de hierro, y el fósforo al encontrarse en esta fase puede no estar biodisponible para las plantas. El grupo 3 está representado por P en el extracto de HCl, por lo que no presenta relación con otro elemento; y el grupo 4 representa la fase de carbonatos.

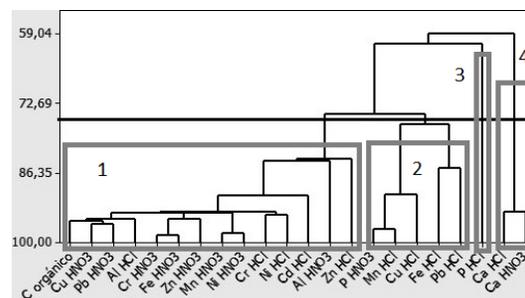


Fig. 4: Dendrograma para variables en suelos de manglares poco desarrollados de Boca de Caño.

En la zona de Punta Caimán se realizó un dendrograma para agrupar las variables (Fig. 5), encontrándose 4 agrupaciones significativas. Donde el grupo 1 constituido por el Ca y el P en el extracto de HCl representa elementos asociados a carbonatos; el grupo 2 y 3 está representado por un solo elemento porque no se correlacionan con otros elementos. El grupo 3 constituido por Al, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe y Mn en el extracto  $\text{HNO}_3$ , Al, Cr, Cu, Zn, Ni, Pb, Fe, y Mn en el extracto de HCl y por Hg, representa elementos asociados a la fase de oxihidróxidos de hierro y aluminio.

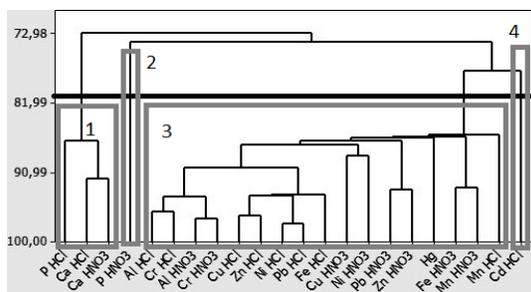


Fig. 5: Dendrograma para variables en suelos de manglar de Punta Caimán.

Es importante resaltar que en la zona de Punta Caimán el P en el extracto de HCl se correlaciona con el Ca en el extracto de HCl, y, los minerales de fosfatos (fosfato de Ca) son insolubles y proveen una fuente limitante de fósforo para las plantas (ROBERTSON & ALONGI 1992). Por lo tanto, al encontrarse en una fase que no sea disponible para las plantas, el crecimiento de las mismas se ve afectado, pudiendo ser el factor principal que conlleva a que los mangles de Punta Caimán sean enanos. Ya que, en la Laguna de Boca de Caño, la alta relación de fósforo con la materia orgánica indica que este nutriente se encuentra en una fase biodisponible. Además, en la zona de mangle poco desarrollado de Boca de Caño, el P no se relaciona con el carbono orgánico, lo cual puede indicar que no se encuentra en una forma disponible para las plantas.

## CONCLUSIONES

La principal diferencia encontrada entre los suelos dominados por las distintas especies de mangle es que los suelos dominados por *Avicennia germinans* presentan mayor salinidad que los suelos dominados por *Rizophora mangle*. Por otra parte, en los suelos asociados a los manglares de la zona de la Laguna de Boca de Caño existe mayor acumulación de materia orgánica en comparación con los suelos de Punta Caimán, debido a que en este último existe una removilización de materia orgánica por efecto de las mareas y hay un menor aporte. Además, en los suelos de Punta Caimán parece existir una mineralización de la materia orgánica por actividad de microorganismos, y una fijación del nitrógeno. Otra diferencia importante es que en los suelos de manglar de Punta Caimán el fósforo se encuentra asociado a los carbonatos, los mismos por ser insolubles proveen una fuente limitante de fósforo para las plantas, afectando el crecimiento de las mismas. En cambio, en los suelos asociados a manglares desarrollados de Boca de Caño el P se encuentra asociado al carbono orgánico, indicando que no existe deficiencia del mismo. Por último, las concentraciones de Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn y Pb en el extracto de HNO<sub>3(c)</sub>, las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd en el extracto HCl 1M, y la concentración de

Hg son mayores en los suelos de manglar de Punta Caimán que en los suelos de manglar de Boca de Caño.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLABY M. & R. GARRAT. 2006. *Tropical forests*. Hong Kong: Chelsea House, 272 p.
- ALONGI D. 2009. *The energetics of mangrove forests*. New York: Springer, 216 p.
- BOHN H., B. MCNEAL & G. O'CONNOR. 2001. *Soil Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, 307 p.
- CLARK M., D. MCCONCHIE, D. LEWIS & P. SAENGER. 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in *Avicennia*-dominated mangrove sediment: a geochemical model. *Chemical Geology*, 149:147-171.
- GONZÁLEZ C., J. ITURRALDE & X. PICARD. 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Caracas: Ediciones Foninves, 1031 p.
- JAROSCH M. 1976. *Análisis químico de suelos*. Barcelona: Ediciones Omega, 662 p.
- LALLIER - VERGES E., B. PERRUSSEL, J. DISNAR & F. BALTZER. 1998. Relationships between environmental conditions and the diagenetic evolution of organic matter derived from higher plants in a modern mangrove swamp system (Guadeloupe, French West Indies). *Organic Geochemistry*. 29 (5-7):1663-1686.
- MÉNDEZ J. 2006. *Petrología*. Los Teques: PDVSA-INTEVEP, 363 p.
- MILLER J. & J. MILLER. 2002. *Estadística y quimiometría para química analítica*. España: Prentice Hall, 278 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES (MARN). 2001. *Plan de ordenamiento del refugio de fauna silvestre y reserva de pesca Laguna Boca de Caño*. Dirección General de Fauna. Dirección de Áreas Naturales Protegidas para la Fauna. Caracas
- OREM W. & R FINKELMAN. 2003. *Coal Formation and Geochemistry*. En: MACKENZIE F. (Ed.). *Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks*, vol 7. En: HOLLAND H & K TUREKIAN (Eds.). *Treatise on Geochemistry*. Volumen 7. San Diego: Elsevier Science Ltd. 191-222 p.
- PRASAD M. & A. RAMANATHAN. 2008. Sedimentary nutrient dynamics in a tropical estuarine mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80:60-66.
- PERRY C. & K. TAYLOR. 2007. *Environmental sedimentology*. Singapore: Blackwell Publishing, 441 p.
- RIVERA A. 2008. *Optimización de metodología analítica para la determinación de fósforo en sustratos geológicos*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química.

- Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciado en Geoquímica, inédito, 64 p.
- ROBERTSON A. & D. ALONGI. 1992. *Tropical mangrove ecosystems*. Washington, DC: American Geophysical Union, 330 p.
- STEVENSON F. & M. COLE. 1999. *Cycles of soil*. New York: John Wiley and Sons, INC, 427 p.
- USEPA 3050B. 1996. *Acid digestion of sediments, sludges and soils*. USA: EPA, revision 2, 12 p.
- WALKLEY A. & I. BLACK. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63:251-263.
- WALLACE W. 1974. *Development of the Chlorinity/Salinity Concept in Oceanography*. Amsterdam: Elsevier Science, 239 p.