

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



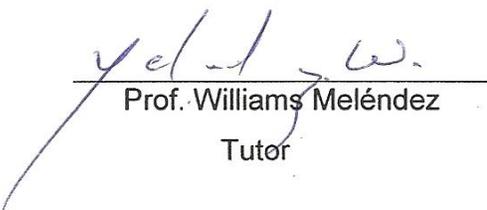
CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS SUELOS ASOCIADOS A DISTINTAS  
ESPECIES DE MANGLE DE LA ZONA OESTE DEL GOLFETE DE CORO Y  
NORESTE DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ, ESTADO FALCÓN

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela por el Br. Gibran  
Romero Mujalli para optar al  
título de Licenciado en  
Geoquímica

Caracas, Marzo 2011

## ACTA

Los abajo firmantes, designados por la Universidad Central de Venezuela como integrantes del Jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: **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**, presentado por el Br. Gibran Romero Mujalli, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por esta Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciado en Geoquímica.

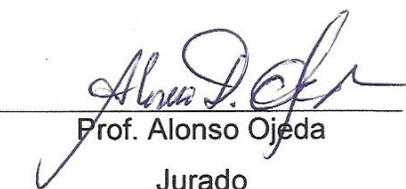
  
Prof. Williams Meléndez

Tutor



Profa. Anna Gann

Jurado

  
Prof. Alonso Ojeda

Jurado

A mi Familia y a Venezuela

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo quisiera agradecer a la Universidad Central de Venezuela por dejarme ser parte de ella y me formó como profesional.

A mis padres, Adelis Romero y Gisela Mujalli, por haberme brindado todo el apoyo posible, y a ellos les debo mucho de lo que pude aprender en la universidad.

A mi familia, quienes me apoyaron por el tiempo que pase en Caracas.

Al profesor Williams Meléndez, por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación, con altas exigencias académicas, y me ofreció suficiente libertad como para aportar ideas al proyecto.

A todo el personal del Instituto de Ciencias de la Tierra, por apoyarme en la parte experimental de esta investigación, y por brindar un ambiente de trabajo muy agradable.

A mis amigos y compañeros, con los que compartí gran parte del tiempo en la universidad, y que con ellos aprendí cosas valiosas de la vida.

Al grupo de trabajo de campo, en especial al prof. Manuel Martínez y al Br. Luis Mujica, quienes me ayudaron a recolectar las muestras de suelo en las dos salidas hacia Falcón.

Finalmente, a todos los que de una u otra forma me ayudaron en la realización de este trabajo de investigación.

## RESUMEN

Se realizó un estudio de los suelos asociados a distintas especies de mangle en Laguna de Boca de Caño (mangles de 3 a 8 metros de altura), al noreste de la Península de Paraguaná, y en Punta Caimán (mangles no superan los 2 metros de altura), al Oeste del Golfete de Coro, estado Falcón, determinando la concentración de Fe, Al, Ni, Mn, Ca, Cu, Pb, Hg, Zn, Cr, Cd, C, N y P, además de los parámetros fisicoquímicos pH, Eh y salinidad. Para ello, fueron captadas muestras de suelo en 13 puntos de muestreo a profundidades de 30 cm, 60 cm y 90 cm, a las cuales le fue realizada una extracción secuencial con HCl 1 M y HNO<sub>3</sub> concentrado, para determinar los elementos Fe, Al, Ni, Mn, Ca, Cu, Pb, Zn, Cr y Cd por espectroscopia de emisión atómica acoplado a fuente de plasma (ICP), y P por fotocolorimetría (Murphy y Riley). Además, el C total fue determinado por medio de un analizador directo de carbono (LECO) y por el método Walkley-Black para determinar C orgánico. Por otra parte, el N se determinó por el método de Kjeldahl modificado de Jackson, y el Hg fue determinado mediante un equipo analizador directo de mercurio (DMA-80). Los resultados indican que en ambas zonas el Eh tiende a disminuir con la profundidad, y que los suelos de Boca de Caño son más ácidos que los presentados en Punta Caimán. Por otra parte, la principal diferencia entre la zonación de las especies es la salinidad, pues suelos dominados por *Avicennia germinans* presentan mayor salinidad que los dominados por *Rizophora mangle*. También se encontró que en los suelos asociados a los manglares de las zonas de la Laguna de Boca de Caño existe mayor acumulación de materia orgánica en comparación con los suelos de manglar de Punta Caimán, debido a que en este último existe una removilización de materia orgánica por efecto de las mareas y como consecuencia el nitrógeno queda fijado en el suelo. Entre 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 asociado al extracto de HNO<sub>3(c)</sub>, las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd asociado al 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, debido a un aporte litológico principalmente. Por otra parte, los mangles de Punta Caimán son enanos debido a una deficiencia de P biodisponible.

## ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>Objetivos</b>	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
<b>MARCO TEÓRICO</b>	5
<b>Bases Teóricas</b>	5
Manglares	5
El sustrato de los manglares	9
Interacciones en el suelo	11
Nutrientes	14
Micronutrientes y elementos traza	17
<b>Antecedentes</b>	19
Internacionales	20
Nacionales	23
<b>Zona de Estudio</b>	25
Ubicación	25
Características de la zona de estudio	25
Marco geológico	27
<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>	29
<b>Trabajo de Campo</b>	29
<b>Trabajo de Laboratorio</b>	33
Determinación de salinidad	33
Tratamiento físico	33
Determinación de Fe, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ca y P	33
Extracción secuencial con HCl y HNO <sub>3</sub>	34
Determinación de Fe, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd y Ca	35
Determinación de fósforo	35
Determinación de mercurio	36

Determinación de carbono	36
Determinación de carbono orgánico	37
Determinación de carbono inorgánico	37
Determinación de nitrógeno	38
Análisis mineralógico	39
<b>Tratamiento Estadístico de los Datos</b>	<b>39</b>
<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>41</b>
<b>Descripción de las Zonas de Estudio</b>	<b>41</b>
Punta Caimán	41
Laguna de Boca de Caño	42
<b>Parámetros Fisicoquímicos</b>	<b>43</b>
Eh	43
pH	45
Salinidad	46
<b>Carbono, Nitrógeno y Fósforo</b>	<b>49</b>
Carbono	49
Nitrógeno	52
Relación C/N	53
Fósforo	56
<b>Metales en Suelo de Manglar</b>	<b>59</b>
Aluminio	59
Calcio	63
Hierro	65
Manganeso	70
Níquel	73
Cobre	75
Cromo	78
Zinc	80
Plomo	82
Cadmio	85

Mercurio	86
<b>CONCLUSIONES</b>	90
<b>RECOMENDACIONES</b>	92
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	93
<b>APÉNDICES</b>	99
<b>Apéndice A</b>	99
<b>Apéndice B</b>	100
<b>Apéndice C</b>	102
<b>Apéndice D</b>	104
<b>Apéndice E</b>	109
<b>Apéndice F</b>	115

## Índice de Figuras

<b>Figuras</b>	<b>Páginas</b>
<b>Figura 1.</b> Seis tipos funcionales de bosque de manglar	6
<b>Figura 2.</b> Relación entre sedimento no consolidado, pedogénesis y diagénesis en el sustrato de manglar	10
<b>Figura 3.</b> Zona de estudio, Golfete de Coro y Península de Paraguaná	26
<b>Figura 4.</b> Ubicación de los puntos de muestreo en Punta Caimán	29
<b>Figura 5.</b> Puntos de muestreo MPCF-1, MPCF-2 y MPCF-3 en Punta Caimán	30
<b>Figura 6.</b> Zona de muestreo Laguna Boca de Caño	31
<b>Figura 7.</b> Ubicación de puntos de muestreo de la Laguna Boca de Caño (Google Earth, 2009).	32
<b>Figura 8.</b> Esquema metodológico	34
<b>Figura 9.</b> Eh en los suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y Boca de Caño (BCG), y variación con la profundidad.	44
<b>Figura 10.</b> pH y variaciones a profundidad en cada punto de muestreo de Boca de Caño (BCG) y Punta Caimán (MPCF).	46
<b>Figura 11.</b> Salinidad en el agua intersticial de los suelos de Boca de Caño (BCG) y Punta Caimán (MPCF), y resultado de salinidad del agua de mar en Punta Caimán.	48
<b>Figura 12.</b> Carbono orgánico en función de la profundidad en suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).	50
<b>Figura 13.</b> Carbono inorgánico en función de la profundidad en muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).	51

<b>Figura 14.</b> Nitrógeno en función de la profundidad, muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).	53
<b>Figura 15.</b> Correlación entre el porcentaje de carbono orgánico y el porcentaje de nitrógeno en las muestras de suelo de Punta Caimán y Boca de Caño.	54
<b>Figura 16.</b> Relación C/N en función de la profundidad, en muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).	55
<b>Figura 17.</b> Concentración de P del extracto HCl 1M con la profundidad, para los suelos de la Laguna de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).	56
<b>Figura 18.</b> Relación entre carbono orgánico y fósforo del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ en los suelos asociados a mangle desarrollado y con poco desarrollo de la Laguna de Boca de Caño.	57
<b>Figura 19.</b> Concentración de P del extracto de $\text{HNO}_{3(c)}$ en suelos asociados a mangle desarrollado y mangle con poco desarrollo de la Laguna de Boca de Caño, y en suelos de Punta Caimán (MPCF).	58
<b>Figura 20.</b> Concentraciones de Al del extracto HCl 1 M en función de la profundidad en las muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	60
<b>Figura 21.</b> Concentración de Al en el extracto HCl de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).	61
<b>Figura 22.</b> Concentraciones a profundidad de Al del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ en las muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	62
<b>Figura 23.</b> Concentración de Al en el extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).	62

<b>Figura 24.</b> Variación de Ca del extracto HCl 1 M con la profundidad para las muestras de suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	64
<b>Figura 25.</b> Variación de Ca del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ con la profundidad para las muestras de suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	64
<b>Figura 26.</b> Variación de Fe con la profundidad para el extracto de HCl 1 M de las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	66
<b>Figura 27.</b> Concentración de Fe en el extracto HCl de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).	67
<b>Figura 28.</b> Variación de Fe con la profundidad para el extracto de $\text{HNO}_{3(c)}$ de las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	68
<b>Figura 29.</b> Concentración de Fe en el extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).	69
<b>Figura 30.</b> Relación entre P del extracto HCl 1 M y Ca del extracto HCl 1 M en los suelos de manglar de Punta Caimán.	70
<b>Figura 31.</b> Relación entre P del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ y Fe del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ en los suelos de manglar de Punta Caimán.	70
<b>Figura 32.</b> Relación entre Ca del extracto HCl 1 M y Mn del extracto HCl 1 M para las diferentes zonas de estudio.	71
<b>Figura 33.</b> Relación entre Fe del extracto $\text{HNO}_3$ y Mn del extracto $\text{HNO}_3$ en las diferentes zonas de estudio.	72
<b>Figura 34.</b> Relación entre Fe del extracto HCl 1 M y Ni del extracto HCl 1 M en suelos de manglar de Punta Caimán y en la Laguna de Boca de Caño.	74
<b>Figura 35.</b> Relación entre Al del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ y Ni del extracto $\text{HNO}_{3(c)}$ en suelos de manglar de Punta Caimán y en la Laguna de Boca de Caño.	74

<b>Figura 36.</b> Concentración de Cu del extracto de HCl en función de la profundidad, en diferentes muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	76
<b>Figura 37.</b> Concentración de Cu del extracto de HNO <sub>3</sub> en función de la profundidad, en diferentes muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	77
<b>Figura 38.</b> Concentración de Cr en el extracto de HCl en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Boca de Caño (BCG) y Punta Caimán (MPCF).	78
<b>Figura 39.</b> Concentración de Cr en el extracto de HNO <sub>3</sub> en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Boca de Caño (BCG) y Punta Caimán (MPCF).	79
<b>Figura 40.</b> Concentración de Zn en el extracto de HCl en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	81
<b>Figura 41.</b> Concentración de Zn en el extracto de HNO <sub>3</sub> en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	81
<b>Figura 42.</b> Concentración de Pb del extracto de HCl en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	83
<b>Figura 43.</b> Concentración de Pb del extracto de HNO <sub>3</sub> en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	84
<b>Figura 44.</b> Concentración de Cd en función de la profundidad para muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la laguna de Boca de Caño (BCG).	85
<b>Figura 45.</b> Concentración de Hg en función de la profundidad en muestras de suelo de manglar.	87
<b>Figura 46.</b> Difractograma de rayos X de la muestra BCG-2 25.	109
<b>Figura 47.</b> Difractograma de rayos X de la muestra BCG-2 82.	110

<b>Figura 48.</b> Difractograma de rayos X de la muestra BCG-2 112.	111
<b>Figura 49.</b> Difractograma de rayos X de la muestra MPCF-3 20.	112
<b>Figura 50.</b> Difractograma de rayos X de la muestra MPCF-3 70.	113
<b>Figura 51.</b> Difractograma de rayos X de la muestra MPCF-3 100.	114

## Índice de Tablas

<b>Tablas</b>	<b>Páginas</b>
<b>Tabla 1.</b> Superficie específica de algunos minerales en el suelo	12
<b>Tabla 2.</b> Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) en diferentes componentes del suelo	13
<b>Tabla 3.</b> Concentración, formas químicas como son absorbidos y función general en las plantas de los macroelementos	15
<b>Tabla 4.</b> Concentración, formas químicas como es absorbido y la función general de las plantas de los micronutrientes	17
<b>Tabla 5.</b> Concentraciones aproximadas de los micronutrientes en tejidos de hojas maduras, que son clasificados como deficientes, suficientes y excesivos	18
<b>Tabla 6.</b> Concentración promedio y anómala de algunos elementos traza en los suelos	19
<b>Tabla 7.</b> Tipo de vegetación y coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la zona Oeste del Golfete de Coro	30
<b>Tabla 8.</b> Ubicación y vegetación de cada punto de muestreo de la Laguna Boca de Caño.	32
<b>Tabla 9.</b> Prueba de hipótesis para la variable pH en los suelos de manglar.	47
<b>Tabla 10.</b> Prueba de hipótesis para la variable salinidad en los suelos de manglar.	48
<b>Tabla 11.</b> Prueba de hipótesis para carbono orgánico.	51
<b>Tabla 12.</b> Prueba de hipótesis para Al del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	63
<b>Tabla 13.</b> Prueba de hipótesis para Ca del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	65
<b>Tabla 14.</b> Prueba de hipótesis para Fe del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	66
<b>Tabla 15.</b> Prueba de hipótesis para Mn del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	73
<b>Tabla 16.</b> Prueba de hipótesis para Ni del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	75
<b>Tabla 17.</b> Prueba de hipótesis para Cu del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	77
<b>Tabla 18.</b> Prueba de hipótesis para Cr del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	80

<b>Tabla 19.</b> Prueba de hipótesis para Zn del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	82
<b>Tabla 20.</b> Prueba de hipótesis para Pb del extracto HCl y HNO <sub>3</sub> .	85
<b>Tabla 21.</b> Prueba de hipótesis para Cd del extracto HCl.	86
<b>Tabla 22.</b> Prueba de hipótesis para Hg.	88
<b>Tabla 23.</b> Descripción física de los núcleos de suelo.	99
<b>Tabla 24.</b> Eh y pH en las muestras de suelo de manglar en Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño.	100
<b>Tabla 25.</b> Iones (Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> ) y salinidad de las muestras de agua.	101
<b>Tabla 26.</b> Carbono, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno, fósforo del extracto HCl y fósforo del extracto HNO <sub>3</sub> en muestras de suelo.	102
<b>Tabla 27.</b> Relación C/N en muestras de suelo de Punta Caimán y de la Laguna Boca de Caño.	103
<b>Tabla 28.</b> Concentración de Al y Ca de los extractos de HCl 1 M y HNO <sub>3(c)</sub> y concentración de Cd del extracto de HCl 1 M, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	104
<b>Tabla 29.</b> Concentración de Cr y Cu de los extractos de HCl y HNO <sub>3</sub> , para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	105
<b>Tabla 30.</b> Concentración de Fe y Mn de los extractos de HCl 1 M y HNO <sub>3(c)</sub> , para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	106
<b>Tabla 31.</b> Concentración de Ni y Pb de los extractos de HCl y HNO <sub>3</sub> , para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	107
<b>Tabla 32.</b> Concentración de Zn de los extractos de HCl y HNO <sub>3</sub> y Hg, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).	108

**Tabla 33.** Promedio y desviación de concentración de elementos en los suelos (0 cm - 25cm) asociados a *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans* de la Laguna de Boca de Caño. 115

**Tabla 34.** Promedio y desviación estándar de concentración de elementos en los suelos (0 cm - 25cm) asociados a la zona de Punta Caimán y Boca de Caño, y de los suelos asociados a mangle desarrollado y con poco desarrollo. 116

## 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). Unos 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 y Taylor, 2007). Por su parte, 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 un ecosistema con una fauna y flora característica. 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 y Taylor, 2007).

Los bosques de manglares proveen un ambiente que sostiene una extensa diversidad de especies como peces, crustáceos, moluscos, aves migratorias (estas aves anidan en los manglares), entre otras (Allaby y Garratt, 2006). En Venezuela estos bosques ocupan un área de 6.736 Km<sup>2</sup> (Pannier y Pannier, 1989).

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 el tamaño de partícula y los procesos que ocurren en el suelo del bosque de manglar (Robertson y Alongi, 1992)

El suelo de los bosques de manglar es producto, principalmente, de la sedimentación de las partículas de limo y arcilla que son transportadas por las mareas y atrapadas por las raíces de los manglares (Allaby y Garratt, 2006). En este sustrato ocurren varios procesos pedológicos importantes como la acumulación de materia orgánica (formación de un epipedón hístico), procesos de transferencia (desplazamiento de  $\text{Fe}^{2+}$  hacia la superficie por la actividad de las raíces) y procesos de transformación (gleización y sulfidización). Estos procesos son característicos en la formación de los suelos de manglar (Ferreira et al., 2007).

En los suelos de manglar se favorecen las condiciones anóxicas, las cuales son generadas por factores como la baja circulación de oxígeno en el suelo, la oxidación de la materia orgánica (consumiendo el poco oxígeno del suelo) y por presentar generalmente un suelo anegado donde la energía del agua es baja, disminuyendo así la concentración de oxígeno disuelto (Clark et al., 1998).

Cuando prevalecen las condiciones anóxicas en los suelos de manglar, se favorece 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, cuando cambian las condiciones en los suelos de manglar y los sulfuros se oxidan, puede favorecerse la movilidad de los metales pesados, pudiendo alterar el ecosistema (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 y 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. Sin embargo, 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 desarrollado con especies de mangle que no alcanzan los 2 metros de altura. Por otro lado, puede observarse una zonación entre las especies *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*, que ubica a la *Rizophora* 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.

Por otro lado, 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. En la zona oriental se presenta un bosque de manglar con poco desarrollo, mientras que hacia el Norte de la laguna los manglares presentan alturas de hasta 8 metros.

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 trazas (biodisponibles), con el desarrollo estructural de los manglares, 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.

## **Objetivos**

### Objetivo General:

Realizar una 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.

### Objetivos Específicos:

- 1.- Determinar las concentraciones de Fe, Al, Ni, Mn, Ca, Cu, Pb, Hg, Zn, Cr, Cd, C, N y P a diferentes profundidades en los suelos asociados a distintas especies de mangle de la zona occidental del Golfete de Coro y Noreste de la Península de Paraguaná.
- 2.- Estudiar la variación de los parámetros fisicoquímicos Eh, pH y salinidad en 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.
- 3.- Identificar la composición mineralógica a diferentes profundidades en 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.
- 4.- Establecer la relación que existe entre la composición química de los suelos con el desarrollo de las diferentes especies de mangle de la zona oeste del Golfete de Coro y Noreste de la Península de Paraguaná, estado Falcón.

## MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan los fundamentos teóricos relacionados con el tema a tratar, así como algunos antecedentes e información sobre la zona de estudio, los cuales van a contribuir a la posterior discusión de los resultados obtenidos.

### Bases Teóricas

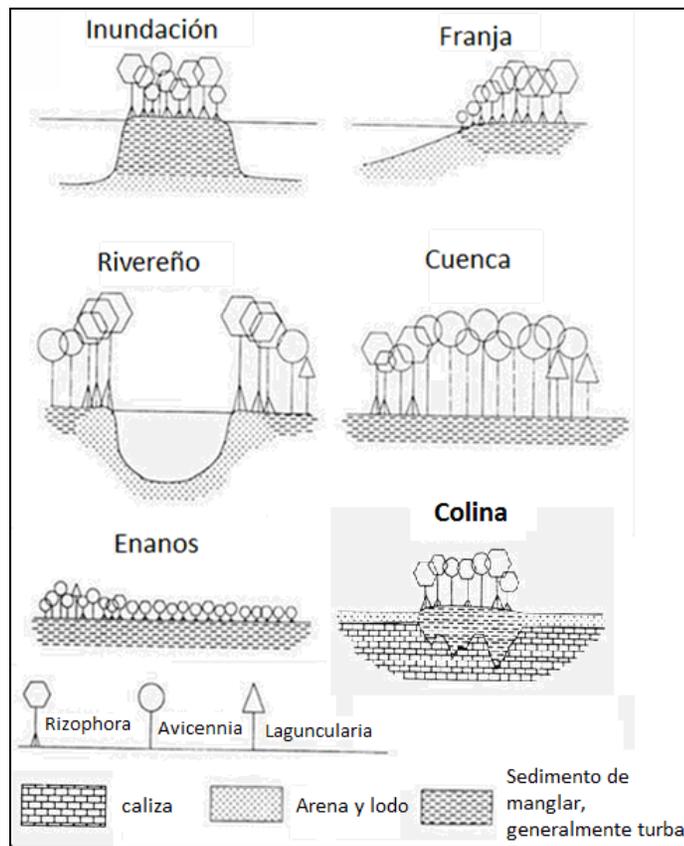
#### Manglares

Un mangle es una planta que es capaz de crecer en el límite entre el continente y el mar, siendo estas unas plantas muy importantes de las áreas costeras de las zonas tropicales a subtropicales. Existen 9 órdenes, 20 familias, 27 géneros y unas 70 especies de mangle. Cuando se refiere al hábitat generalmente se utiliza el término manglares o bosques de manglares. Por otra parte, las áreas de manglar de los países Indonesia, Brasil, Australia y Nigeria representan alrededor del 43 % de los manglares del mundo (Alongi, 2009; Robertson y Alongi, 1992).

Los manglares se encuentran en las líneas de costa aproximadamente entre las latitudes 35 °N y 38 °S, creciendo en una variedad de climas, desde árido extremo hasta un templado fresco. Por otra parte, los manglares también crecen en climas húmedos, el cual es el caso de Latinoamérica (Robertson y Alongi, 1992).

Existen diferentes tipos funcionales de bosques de manglar, los cuales se clasifican en función de la zonación entre las especies de mangle, salinidad del suelo, productividad y las propiedades fisiológicas de la planta. En la Figura 1 se observan los seis tipos funcionales de manglares, que son: a) manglares de inundación, en América del Sur están dominados principalmente por *Rizophora*, y el suelo está completamente anegado presentando una capa de turba sin acumulación de hojas. b) Manglares de franja, dominados por *Rizophora*, con un suelo inundado por mareas diarias pero con acumulación de hojas. c) Manglares ribereños, bosques altos, dominados por

Rizophora, los suelos presentan altas concentraciones de nutrientes. d) Manglares de cuenca, normalmente están dominados por una mezcla de géneros, o están dominados por *Avicennia* y característico de zonas internas de los bosques de manglar. e) Manglares tipo arbustos, son plantas de poca altura, especialmente *Rizophora* menor a 1,5 m de altura, y crecen en suelos hipersalinos bajos en nutrientes o en suelos pedregosos. f) Manglar de montículos, es una forma especial de manglar de cuenca, el cual crea una pequeña isla de manglar sobre una turba que rellena una depresión en el sustrato de caliza (Pannier y Pannier, 1989; Robertson y Alongi, 1992).



**Figura 1.** Seis tipos funcionales de bosque de manglar (Lugo y Snedaker, 1976 en Robertson y Alongi, 1992).

El mangle se encuentra altamente adaptado a los ambientes costeros donde existe una alta salinidad y los suelos se encuentran anegados presentando generalmente condiciones anóxicas, por lo que estas plantas desarrollaron raíces aéreas, embriones vivíparos, dispersión de propágulos por mareas, mecanismos fisiológicos para tolerar la

alta salinidad, los anillos de los troncos son anormales o ausentes, y presentan un mecanismo eficiente para la retención de nutrientes (Alongi, 2009; Kathiresan y Brigham, 2001).

La falta de aire en el sustrato requiere una estructura especial para la respiración de la planta, por lo cual el género *Rizophora* desarrolló unas raíces aéreas. Otro tipo de mangle tiene raíces que crecen hacia arriba, semejantes a los tallos, y a las mismas se les denominan neumatóforos. Por otra parte, existe un grupo de mangles que presentan pequeñas lenticelas de respiración en el tronco (Robertson y Alongi, 1992).

Los mangles presentan una alta tolerancia fisiológica a los niveles de sal, poseen mecanismos de obtención de agua dulce, evadiendo la carga de sal por una combinación de exclusión, excreción y acumulación de sal. Por ejemplo, la *Rizophora*, posee un ultrafiltro en el sistema de sus raíces, estos filtros excluyen la sal cuando extraen el agua del suelo. Por otra parte, la *Avicennia* excreta la sal tomada del suelo por unas glándulas especializadas presentes en las hojas (Kathiresan y Brigham, 2001).

La zonación entre las especies de mangle está influenciada por diferentes combinaciones de factores, entre los cuales están la salinidad, tipo de suelo, contenido de nutrientes, tolerancias fisiológicas, depredación y competición con otras especies de plantas (Alongi, 2009). En cuanto a las tolerancias de salinidad se pueden diferenciar dos grupos de mangles, aquellas especies que pueden tolerar hasta tres veces la salinidad de agua de mar (en este grupo están presentes las especies *Avicennia germinans* y *Rizophora mangle*), y otro grupo que solo tolera salinidades menores al 40 ‰ (Robertson y Alongi, 1992).

Existen diferencias entre el sustrato asociado a diferentes géneros de mangle. Por ejemplo, el sustrato asociado a *Rizophora* presenta mayor acumulación de materia orgánica y Eh menores cuando se compara a los asociados a *Avicennia*. Por otra parte, el sustrato asociado a *Rizophora* tiende a presentar mayor concentración de nitrógeno que el que se encuentra asociado a *Avicennia* (Alongi, 2009).

El desarrollo del manglar está controlado por diversos factores tales como los climáticos (balance de agua y temperatura) y aquellos relacionados con los suelos (nutrientes, salinidad y condición anóxica) (Alongi, 2009; Robertson y Alongi, 1992). De igual forma, factores como la radiación solar, la temperatura, la duración del día y los cambios de estación influyen notablemente en el crecimiento de los mangles. Estos se encuentran bien desarrollados en climas ecuatoriales, donde la temperatura es moderadamente alta, condiciones nubladas, los flujos de radiación solar no son extremos, y la variabilidad estacional en el clima es baja (Robertson y Alongi, 1992).

Los mangles generalmente crecen en suelos anegados donde predominan las condiciones anóxicas, las cuales se deben a que la difusión de oxígeno en el suelo disminuye porque los poros están saturados con agua, y las aguas son tranquilas. Además, el oxígeno que se encuentra en el suelo disminuye debido a la actividad de microorganismos, y a la baja porosidad y permeabilidad del sustrato, porque están compuestos generalmente por material fino (limo-arcilla) (Clark et. al., 1998; Robertson y Alongi, 1992). Esta condición anóxica puede afectar el crecimiento de los manglares, debido a la deficiencia de oxígeno en el suelo, así como también propicia la transformación de los elementos esenciales a especies químicas que no están disponibles para las plantas, y por último en casos donde las condiciones anóxicas son extremas se puede formar sulfuro de hidrógeno, el cual es un compuesto que puede ser tóxico para las plantas (Robertson y Alongi, 1992).

La disponibilidad de los elementos esenciales en el suelo está influenciada por el potencial redox, porque se pueden formar especies que no sean disponibles para las plantas (como sulfuros), o también puede ocurrir que el fósforo que se encuentra asociado a los oxihidróxidos de hierro y aluminio sea liberado. La especie de nitrógeno que predomina en este sustrato es la de amonio, y se debe a que no existe suficiente oxígeno como para oxidarlo a nitrato (Robertson y Alongi, 1992).

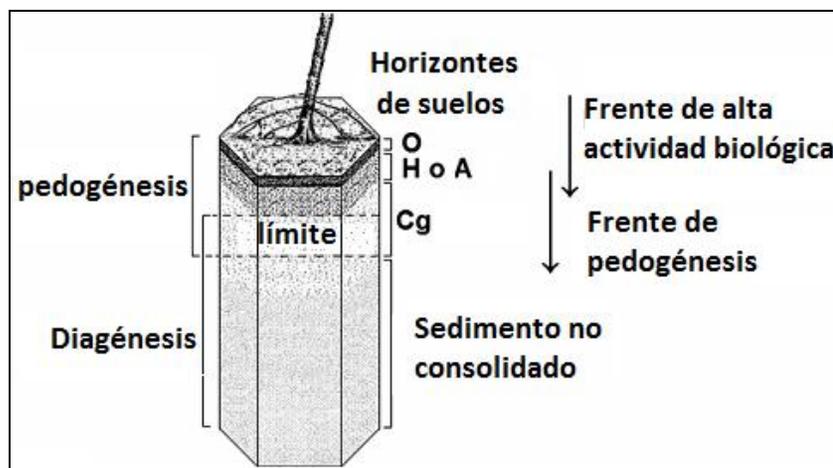
## El sustrato de los manglares

El sustrato de los bosques de manglar generalmente está compuesto por partículas de limo y arcilla, las raíces de los mangles pueden atrapar los sedimentos que son transportados por suspensión o por carga de fondo. La sedimentación está influenciada por las mareas y por el flujo de agua dulce proveniente de los ríos (Perry y Taylor, 2007). En algunos casos el sustrato en el cual crece el manglar es denominado sedimento, el cual puede estar compuesto de arena, lava volcánica, carbonatos, lodo (limo - arcilla) y generalmente presenta una capa de turba (Robertson y Alongi, 1992). Sin embargo, estudios más recientes realizados sobre el sustrato de los bosques de manglar, denominan a este sustrato como suelo y no sedimento (Ferreira et. al., 2007).

Para entender porque al sustrato de los bosques de manglar se denominan suelos, es importante definir lo que es un suelo. Por lo tanto, el suelo según Soil Survey Staff (2010) puede ser definido como un cuerpo natural compuesto por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que se produce en la superficie de la tierra, y estos presentan uno o ambas de las siguientes características: poseen horizontes que pueden ser diferenciados del material inicial, y son el resultado de una adición, pérdida, transferencia, y transformación de energía y materia; o poseen la habilidad para soportar plantas con raíces en un ambiente natural.

Esta definición toma en cuenta a todo sustrato que pueda soportar plantas con raíces, por lo que se puede denominar a los sustratos donde crecen los manglares como suelo y no sedimento. Por otra parte, existen procesos que ocurren en este sustrato, tal como los de acumulación de materia orgánica (raíces y hojas), que conducen a la formación de un epipedón hístico (suelo saturado con agua por 30 días o más, y está constituido por materia orgánica). De igual forma, los procesos de transferencia, como el desplazamiento de  $Fe^{2+}$  hacia la superficie por las raíces, y la bioturbación por la actividad de cangrejos, inducen la oxidación y por lo tanto, la precipitación de oxihidróxidos. Por último, también ocurren procesos de transformación como la gleización, que consiste en la reducción de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ , y sulfidización, que consiste en

la reducción de sulfato a sulfuro, este sulfuro puede reaccionar con algunos metales formando los sulfuros metálicos. La fuente de sulfato en los suelos de manglar proviene del agua de mar, por lo tanto estos suelos presentan una alta concentración de sulfato (Ferreira et al., 2007). En la Figura 2, se observa un perfil del sustrato del manglar, donde se ilustran las relaciones entre sedimento no consolidado, pedogénesis y diagénesis. Allí se pueden observar los distintos horizontes que se presentan en el suelo de manglar, por acumulación de materia orgánica (hístico) y por procesos de gleización (horizonte gley).



**Figura 2.** Relación entre sedimento no consolidado, pedogénesis y diagénesis en el sustrato de manglar (modificado de Ferreira et al., 2007).

Los minerales que conforman el suelo de los manglares se pueden dividir en dos categorías, los minerales alóctonos y los minerales autóctonos o autigénicos. Los primeros dependen de la geología de la zona, por lo que están directamente relacionados con el tipo de roca y las reacciones de meteorización que le ocurren a los minerales primarios. Por otra parte, los minerales autigénicos son los que se generan en los suelos de manglares, entre los principales están la pirita, oxihidróxidos de hierro, jarosita, halita y yeso. La pirita se forma por la reducción de sulfato y de hierro (III) en las condiciones anóxicas que se dan en los suelos de manglares. Por otro lado, los cambios en las condiciones reductoras del suelo, generan la oxidación de la pirita produciendo oxihidróxidos de hierro y jarosita. Por su parte, la halita y el yeso son

minerales formados durante una salinización intensa, que ocurren en los suelos de manglar (Progene et al., 2010).

### Interacciones en el suelo

La retención de las especies químicas en los suelos se da por varios procesos (adsorción, precipitación y polimerización), siendo la adsorción uno de los procesos más importantes que se dan en la superficie de los minerales del suelo, la cual consiste en la acumulación de una sustancia o material en la interfase entre la superficie del sólido y la solución, dominando la movilidad de los nutrientes y contaminantes en el suelo (Sparks, 2003).

En la adsorción están involucradas las fuerzas físicas como las de Van der Waals y el intercambio iónico, así como las fuerzas químicas que incluyen los enlaces covalentes y puentes de hidrógeno (Sparks, 2003).

Como la adsorción se da en la interfase entre la superficie del mineral y el agua o solución, la zona reactiva del suelo va a estar directamente influenciada por la superficie específica de los minerales que lo conforman (Tabla 1). A medida que la superficie específica es mayor, los procesos de adsorción se ven favorecidos, por lo cual constituye un factor muy importante que influye en la retención de los elementos esenciales y de los contaminantes (Sparks, 2003).

Los minerales presentes en el suelo pueden presentar dos tipos de cargas, las cargas permanentes o constantes, y las cargas variables. Las cargas constantes no varían con el pH del suelo y son el resultado de una sustitución isomórfica, que se desarrolla en el momento de la formación del mineral. Algunos minerales que presentan las cargas permanentes son la smectita, vermiculita, mica y clorita (Sparks, 2003).

Las cargas variables cambian con el pH debido a la protonación o desprotonación de los grupos funcionales de los minerales como caolinita, minerales amorfos, óxidos, hidróxidos y coloides orgánicos (Sparks, 2003).

**Tabla 1.** Superficie específica de algunos minerales en el suelo (Sparks, 2003).

<b>Mineral</b>	<b>Superficie Específica (m<sup>2</sup>/g)</b>
Caolinita	7-30
Halloysita	10-45
Pirofilita	65-80
Talco	65-80
Montmorillonita	600-800
Vermiculita dioctaédrica	50-800
Vermiculita trioctaédrica	600-800
Moscovita	60-100
Biotita	40-100
Clorita	25-150
Óxidos de aluminio	100-220
Óxidos de hierro	70-250
Óxidos de manganeso	5-360

Las cargas que se presentan en los minerales son contrarrestadas por iones que son liberados desde los minerales que han sido sometidos a procesos de meteorización o provenientes de compuestos orgánicos en descomposición, del agua de lluvia y de los fertilizantes. De esta manera, los iones son adsorbidos, bajo una forma relativamente inmóvil. Sin embargo, la adsorción no se realiza con una fuerza muy grande por lo que puede ocurrir un intercambio con otros iones que se presentan en el suelo, y ser absorbidos por las plantas. Este proceso es muy importante en la nutrición de las plantas, porque permite a los nutrientes estar presentes en el suelo, en una forma disponible para las plantas (Casanova, 2005).

El intercambio iónico es un proceso por el cual los iones adsorbidos en la superficie de los minerales del suelo son sustituidos por otros iones presentes en la solución. De igual forma, la cantidad de cationes o aniones que son retenidos en forma intercambiable a un determinado pH se conoce como capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA), respectivamente. En la Tabla 2 se observa que la

materia orgánica presenta la mayor CIC y CIA, lo cual se debe a la cantidad de grupos funcionales que ésta presenta (Casanova, 2005).

La CIC es mayor a medida que aumenta el pH del suelo, a un pH mayor de 6,5 los cationes dominantes generalmente son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ , y en condiciones de acidez donde el pH es menor de 6,5, predominan los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$  (Casanova, 2005; Sparks, 2003).

**Tabla 2.** Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) de diferentes componentes del suelo (Casanova, 2005).

<b>Material de intercambio</b>	<b>CIC (meq/100g)</b>	<b>CIA (meq/100g)</b>
Montmorillonita	90	1
Vermiculita	85	0
Illita	19	3
Caolinita	4	2
gibbsita	5	5
Goethita	4	4
Materia orgánica	140	6

La fuerza con que es retenido cada ión depende de la carga del mismo, del número de cargas negativas del coloide y de la cercanía a la superficie del coloide. La distancia a la que puede estar el ión del coloide va a depender del grado de hidratación, a medida que la carga del ión es mayor, el grado de hidratación del mismo va a ser mayor. Así mismo, el aluminio presenta mayor fuerza de retención, seguido del calcio y magnesio, y finalmente los cationes con menor fuerza de retención son el potasio, amonio y sodio (Casanova, 2005).

Por otro lado, algunos coloides del suelo presentan cargas positivas que son responsables del proceso de intercambio aniónico, en el cual los aniones como nitratos, fosfatos, cloruros y sulfatos neutralizan las cargas positivas de los coloides. Otro grupo de minerales como la gibbsita y la goethita pueden presentar cargas negativas o positivas según el pH del suelo, (Tabla 2) (Casanova, 2005).

Los óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro, pueden generar cargas positivas que pueden retener a los aniones con mayor fuerza, fijando estos aniones y haciendo que

no sean disponibles para las plantas. Sin embargo, por procesos de intercambio aniónico los aniones pueden ser liberados, quedando en una forma disponible para las plantas (Casanova 2005).

Por su parte, la materia orgánica en los suelos tiene una gran importancia en cuanto a la movilidad de los micronutrientes, ya que muchos metales forman complejos con la materia orgánica, y la biodisponibilidad de estos nutrientes está afectada si los complejos que se generan son insolubles o solubles. Así mismo, existen muchos metales, que a unas condiciones dadas de pH y Eh, permanecen en estado sólido en una forma no disponible para las plantas. Sin embargo, los procesos de formación de complejos pueden hacer que estos metales sean biodisponibles o móviles (Stevenson y Cole, 1999).

En los suelos de manglar los procesos de formación de complejos con la materia orgánica, de adsorción y de formación de precipitados son muy importantes, ya que en estos suelos se presenta una gran acumulación de materia orgánica, la cual puede formar complejos con metales (micronutrientes o contaminantes), y también pueden adsorber iones en la superficie. Además, los suelos generalmente están compuestos por minerales de arcilla y oxihidróxidos, que adsorben los iones en su superficie (nutrientes y micronutrientes). Por otra parte, la condiciones reductoras de estos suelos propicia la formación de sulfuros metálicos, haciendo que estos metales queden fijos y no sean biodisponibles (Clark et. al., 1998; Stevenson y Cole, 1999).

### Nutrientes

Los elementos son esenciales cuando estos cumplen una función en el metabolismo de la planta. En la Tabla 3 se presentan algunos elementos esenciales para las plantas, donde el carbono, hidrógeno y oxígeno representan los elementos estructurales principales, ya que forman las estructuras de carbohidratos, proteínas, entre otros compuestos que forman parte de la materia de las células. Asimismo, el nitrógeno y el fósforo constituyen elementos estructurales accesorios, los cuales en conjunto con los

elementos estructurales principales forman compuestos específicos como aminoácidos y fosfolípidos. El nitrógeno es absorbido por las plantas en la forma de amonio o nitrato, en cambio el fósforo es absorbido en la forma de fosfatos. Por otra parte, el calcio es un elemento metabólico, y es absorbido en forma de catión por el sistema radical de las plantas (Casanova, 2005).

**Tabla 3.** Concentración, formas químicas como son absorbidos y función general en las plantas de los macroelementos (Casanova, 2005).

Macroelemento	% peso seco	Forma usada	Función general	Fuente
C	40	CO <sub>2</sub>	Elementos Estructurales Principales	Aire y agua
H	10	H <sub>2</sub> O		Aire y agua
O	40	CO <sub>2</sub>		Aire y agua
N	1-3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Elementos Estructurales Metabólicos	Suelo
P	0,05- 1,0	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> y HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Suelo
Ca	0,1-3,5	Ca <sup>2+</sup>		Suelo

Para que el nitrógeno se encuentre en el suelo tiene que ocurrir la fijación, que es un proceso para formar especies inorgánicas en el suelo que puedan ser aprovechables por las plantas como el amonio y nitrato. La fijación de nitrógeno puede ser artificial, biológica (simbiótica y no simbiótica) o por deposición atmosférica (Casanova, 2005; Stevenson y Cole, 1999).

El amonio en el suelo se puede encontrar adsorbido en la superficie de algunas partículas (principalmente materia orgánica), y la salida de este elemento en el suelo puede ser por volatilización en forma de amoníaco, lixiviación o por desnitrificación, que consiste en la formación de gases (óxidos de nitrógeno y N<sub>2</sub>) por la reducción del nitrato en presencia de enzimas reductoras. El nitrógeno es tomado por el sistema radical de las plantas para ser incorporado a sus estructuras, y es considerado uno de los nutrientes más importantes porque presenta una alta relación con el crecimiento vegetativo de las plantas. Una parte de este nitrógeno regresa al suelo por la incorporación de hojas y tallos de las plantas (Casanova, 2005).

La forma de nitrógeno inorgánico que generalmente se encuentra en los suelos de manglar es amonio, el cual es el principal producto del proceso de amonificación, que consiste en la mineralización del nitrógeno orgánico por microorganismos o por vertebrados (Robertson y Alongi, 1992). Otro proceso importante que ocurre en estos suelos es la nitrificación, la cual consiste en la oxidación de amonio para formar nitrito y posteriormente nitrato (Casanova, 2005; Robertson y Alongi, 1992), este procesos se lleva a cabo en las áreas más oxidantes de los suelos de manglar, como es la rizosfera (interfase raíz-sedimento) y por la aireación del sustrato por actividad de animales (madrigueras) (Robertson y Alongi, 1992).

En cambio, el fósforo es absorbido por las plantas principalmente como fosfato ácido y fosfato diácido, y la predominancia de una de estas especies con respecto a la otra va a estar influenciada por el pH del suelo (a pH del agua de mar predomina la especie  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Estos iones de fosfato pueden ser fijados por algunos minerales como óxidos, en formas no disponibles para las plantas; sin embargo, también pueden ser adsorbidos en la superficie de algunos minerales, donde puede ser tomado por las plantas. Las fuentes más importantes de fósforo en los suelos son los minerales, la materia orgánica, fertilizantes y los residuos vegetales y animales (principalmente el guano). Éste elemento es muy importante para las plantas, ya que interviene en la síntesis de proteínas y otros procesos metabólicos. La deficiencia del mismo puede provocar un bajo crecimiento, retardo en la madurez y semillas con bajo porcentaje de germinación (Casanova, 2005).

Otro nutriente importante para las plantas es el calcio, ya que es un componente estructural de la pared celular, por lo que su deficiencia se refleja en el poco crecimiento de las plantas y en tallos débiles.

#### Micronutrientes y elementos traza

Muchos metales son motivo de preocupación debido a sus propiedades tóxicas. Sin embargo, algunos de estos elementos son esenciales para la supervivencia de plantas,

animales y humanos (Tabla 4). Por lo tanto, cuando las concentraciones de algunos de estos metales son menores que las requeridas por los organismos, estos presentan una deficiencia en su desarrollo. De la misma forma, cuando las concentraciones son mayores que las toleradas por el organismo, puede ocurrir una intoxicación (Sarkar, 2002).

**Tabla 4.** Concentración, formas químicas como es absorbido y la función general de las plantas de los micronutrientes (Casanova, 2005).

<b>Micronutriente</b>	<b>mg/Kg peso seco</b>	<b>Forma usada</b>	<b>Función general</b>	<b>Fuente</b>
Fe	10-1500	Fe <sup>2+</sup> y Fe <sup>3+</sup>		Suelo
Mn	5-1500	Mn <sup>2+</sup>		Suelo
Zn	3-150	Zn <sup>2+</sup>	Elementos	Suelo
Cu	2-75	Cu <sup>2+</sup>	Metabólico	Suelo
Co	Trazas	Co <sup>2+</sup>		Suelo

El hierro es uno de los elementos traza más abundantes (Tabla 4); la forma ferrosa (Fe<sup>2+</sup>) es la más disponible para las plantas, pero en ambientes alcalinos y óxicos esta especie es oxidada a ión férrico, el cual es relativamente poco disponible para las plantas ya que forma oxihidróxidos. Sin embargo, la formación de complejos con la materia orgánica hace que el hierro sea disponible para las plantas. El hierro es un elemento esencial para las plantas, y su deficiencia tiene como consecuencia una incapacidad de producir clorofila por las hojas. En la Tabla 5 se muestra la concentración aproximada de los micronutrientes en las hojas, en caso de deficiencia, suficiencia y cuando es excesivo (Stevenson y Cole, 1999).

Los suelos generados por calizas generalmente contienen más Zn que los suelos generados por otro tipo de roca. Por su parte, los suelos con condiciones alcalinas reducen la disponibilidad de Zn porque se forman los óxidos e hidróxidos insolubles. Uno de los síntomas de la deficiencia de zinc es el retardo del crecimiento, puntos rojos y violetas en las hojas, y una insuficiente producción de clorofila (Stevenson y Cole, 1999).

**Tabla 5.** Concentraciones aproximadas de los micronutrientes en tejidos de hojas maduras, que son clasificados como deficientes, suficientes y excesivos (Stevenson y Cole, 1999).

<b>Micronutriente</b>	<b>Deficiente (mg/Kg)</b>	<b>Suficiente (mg/Kg)</b>	<b>Excesivo (mg/Kg)</b>
Fe	Menor que 50	100-500	Mayor que 500
Zn	10-20	27-150	100-400
Mn	15-25	20-300	Mayor que 300
Cu	2-5	5-30	20-100

En cuanto al Mn su disponibilidad está controlada por el pH y el Eh del suelo. La reducción de  $Mn^{4+}$  a  $Mn^{2+}$  (forma más disponible por las plantas) se favorece a pH menores de 6,5 o por la acción de algunos microorganismos. Como ocurre con otros micronutrientes, en condiciones óxicas y pH alcalino, se favorece la formación de óxidos e hidróxidos insolubles. La falta de Mn en las plantas se puede observar principalmente en las hojas, ya que este elemento es importante para la síntesis de la clorofila (Stevenson y Cole, 1999).

Por su parte los suelos generados por areniscas o rocas ígneas félsicas normalmente presentan deficiencias de cobre. Las plantas crecen en suelos orgánicos con concentraciones menores de 20 a 30 mg/Kg en Cu. La deficiencia de Cu se observa por el marchitamiento de las hojas, y por el retardo en el crecimiento de las plantas (Stevenson y Cole, 1999).

El cadmio tiende a acumularse en las plantas y en los animales, donde la contaminación por este elemento puede producir hipertensión y otros trastornos en animales, debido en parte a que el Cd reemplaza al Zn en algunas enzimas. Este elemento presenta mayor movilidad en el suelo y es absorbido por las plantas con mayor facilidad que otros metales trazas como el Cu y el Pb. Normalmente la concentración de Cd en los suelos no supera 2 mg/Kg, sin embargo, en suelos contaminados la concentración es mayor de 30 mg/Kg (Tabla 6). El Cd llega a los suelos por diversas fuentes que incluyen los fertilizantes de fósforo, en el polvo de neumáticos, combustión del carbón y de la madera, y por aguas servidas (Stevenson y Cole, 1999).

En cuanto al Pb, sus fuentes antrópicas en los suelos vienen dadas por la combustión de combustibles fósiles, la minería, se puede presentar como impureza en fertilizantes, y se puede añadir al suelo por algunos pesticidas como el arsenato de plomo para controlar los hongos. En la Tabla 6, puede observarse que la concentración promedio de Pb en el suelo es de 10 a 150 mg/Kg, sin embargo, en suelos contaminados la concentración de plomo supera los 10.000 mg/Kg (Stevenson y Cole, 1999).

**Tabla 6.** Concentración promedio y anómala de algunos elementos traza en los suelos (Bowie y Thornton, 1985 en Stevenson y Cole, 1999).

<b>Elemento</b>	<b>Concentración promedio (mg/Kg)</b>	<b>Enriquecimiento (mg/Kg)</b>
Zn	25-200	10.000 o más
Cu	2-60	Más de 2.000
Mo	Menor de 5	10-100
Cd	Menor de 2	Más de 30
Ni	2-100	Más de 8.000
Pb	10-150	Más de 10.000

El mercurio en los suelos puede ser fijado por la materia orgánica o por minerales de arcilla. Sin embargo, bajo circunstancias específicas, el mercurio inorgánico se puede transformar a mercurio metálico, donde el vapor generado es tóxico para las plantas y microorganismos. Generalmente, los compuestos de mercurio desechados por las industrias llegan al fondo de algunos cuerpos de agua, donde se puede formar el metilmercurio. Este compuesto es sumamente tóxico, y puede ser asimilado por animales, principalmente peces.

### **Antecedentes**

A continuación se describen varios estudios realizados sobre manglares en Venezuela y en otros países, con la finalidad de aportar información que puede ser de utilidad en el desarrollo de la investigación. Los antecedentes son clasificados en internacionales y nacionales.

## Internacionales

McFarlane et al. (2003) estudiaron la acumulación de Zn, Pb y Cu en una especie de mangle (*Avicennia marina*) en la bahía de Homebush, Australia, recolectando muestras de hojarasca, raíces y sedimentos, midiendo los parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad). Estos autores encontraron que los elementos Zn y Cu presentan mayor movilidad que el Pb, además el Cu y el Pb tienden a concentrarse en la raíz de los mangles en mayores concentraciones que en el sedimento. Por otra parte, determinaron que la concentración de Zn se incrementa en las raíces y en los tejidos a medida que disminuye el pH.

Zhang et al. (2007), estudiaron en China el efecto de Pb, Cd y Hg en las enzimas antioxidativas y la peroxidación lípica en hojas y en raíces de dos propágulos de mangle. Estos autores encontraron que los mangles generan un mecanismo de defensa contra el efecto de los metales pesados (Pb, Cd y Hg), por lo que los mismos pueden desarrollarse absorbiendo cantidades de estos elementos que no superen a su toxicidad.

Kamaruzzaman et al. (2007) estudiaron la distribución vertical y espacial de Mn, Co, Cu y Fe en el bosque de manglar de Kerteh en Malasia, tomando muestras superficiales y a profundidad con un núcleo de 100 cm de largo. Encontraron que en general todas las concentraciones decrecen con la profundidad, con pequeñas variaciones. Asimismo, calcularon el factor de enriquecimiento, el cual consiste en la relación entre la concentración del metal en el suelo superficial y a profundidad, resultando que el Mn y el Fe provienen de fuente natural, y que Co y el Cu presentan un enriquecimiento moderado, asociando este enriquecimiento a actividad antrópica.

Una investigación similar la realizaron Janaki-Raman et al. (2007), quienes estudiaron la variación de C orgánico, S, C inorgánico, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn y Cd en dos perfiles de sedimentos en el bosque de manglar de Muthupet, en India, el cual está dominado por la especie *Avicennia marina*. Encontraron que a nivel superficial los

sulfuros son oxidados, generando ácidos que disuelven el carbonato. Por otro lado, calcularon el factor de enriquecimiento (factor antrópico) y obtuvieron que los elementos Pb, Mn, Ni, Cd y Fe se enriquecen en la parte superficial, y atribuyeron esta característica a la actividad antrópica que se genera en la zona.

Prasad y Ramanathan (2008) estudiaron la variación espacial y vertical de los nutrientes (C, N, P y S) y la granulometría con la finalidad de entender los procesos biogeoquímicos de nutrientes en los sedimentos asociados a los manglares de Pichavaran en India. El estudio incluyó muestras superficiales (10 cm) y tres núcleos en los sedimentos del estuario. Los resultados obtenidos del análisis granulométrico indican que la fracción limo-arcillosa se incrementa en las zonas del estuario más cercanas al bosque de manglar. En los sedimentos más cercanos al manglar aumenta la concentración de C orgánico y N. Asimismo, encontraron que las mayores concentraciones de S se ubican en los sedimentos más cercanos al bosque, ya que la presencia de materia orgánica incrementa la reducción del sulfato de las aguas. De igual forma, el N disminuye con la profundidad, así como la materia orgánica. Por otra parte, el P aumenta a profundidad debido a que este elemento se fija en condiciones reductoras.

Otero et al. (2009) estudiaron la geoquímica de las especies de hierro y manganeso en perfiles de sedimentos (sin vegetación) y en perfiles de suelo (con vegetación) en la isla de Pai Matos, en Brasil. Por otro lado, determinaron los parámetros fisicoquímicos (pH, Eh, salinidad), C orgánico y S en muestras de núcleos de 50 cm de largo en 6 zonas asociadas a sedimentos, suelo de *Spartina alterniflora*, *Laguncularia racemosa*, *Rizophora mangle* y *Avicennia schaueriana*. Estos autores encontraron diferencias significativas entre la zona sin vegetación y con vegetación, obteniendo un incremento en el Eh en las áreas donde estaban las raíces. Asimismo, los suelos de *Rizophora* y *Avicennia* presentaron un pH bajo en la parte superficial, debido a la oxidación de la pirita, ya que estos suelos se encontraban en zonas más elevadas. Por otra parte, encontraron que el Fe en el suelo es reciclado por procesos de oxidación y reducción, y que la formación de pirita es mayor en suelos que en sedimentos, debido a la mayor

concentración de materia orgánica (mayor actividad de microorganismos) que propicia la reducción de sulfato. La fracción de hierro predominante fue la lepidocrocita, el cual es el principal producto de la oxidación de  $\text{Fe}^{2+}$  en ambientes salinos. En cuanto al comportamiento del Mn, encontraron que el mismo se localiza en la parte superior de los suelos y está adsorbido a la superficie de algunos minerales o incorporado a ferrihidrita o a lepidocrocita. Por otra parte, el Mn a mayores profundidades coprecipita en la pirita.

Naidoo (2009) estudió el efecto de nitrógeno y fósforo en el crecimiento de manglares enanos, dominados por la especie *Avicennia marina*, en la bahía de Richard en Sudáfrica. Los suelos de los manglares enanos solo estaban inundados en las épocas de marea alta en primavera, y la altura de los mangles era aproximadamente 1,5 metros. Este autor plantó semillas de *A. marina* en la zona de manglares enanos, separando por parcelas, a una le agregó fertilizante de N, a otra de P, a otra con una mezcla de los dos fertilizantes y por último dejó una parcela sin agregar fertilizantes con el fin de comparar el crecimiento. Asimismo, realizó un análisis de los suelos, encontrando que estos suelos son ligeramente alcalinos, con altas concentraciones de cationes, dominando el  $\text{Na}^+$ , presentando una alta salinidad, y un Eh de  $-31 \pm 3,2$  mv. En cuanto al crecimiento del mangle, determinó que en los suelos con fertilizantes de N y una mezcla de N y P, crecieron más que en los suelos con P y sin fertilizantes. Asimismo, en los suelos con fertilizante de N y la mezcla de N y P las raíces penetraron a 60-70 cm de profundidad. Por lo que concluyó que estos suelos dominados por *A. marina* no son deficientes en fósforo, pero son limitados en nitrógeno.

Progene et al. (2010) estudiaron el origen de los sedimentos y su relación con los manglares, en el estuario de Marapanim ubicado en Brasil. Para ello, realizaron dos transectas, una en una zona dominada por vegetación manglar de *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* y la otra con mayor influencia por el río. Determinaron los parámetros fisicoquímicos (Eh, pH y salinidad), realizaron análisis mineralógico por DRX, análisis granulométrico y análisis químico a las muestras por ICP-OES. Los sedimentos eran principalmente limo-arcillosos, con una tendencia al

incremento de la fracción arena a mayor profundidad. Atribuyeron el enriquecimiento de Fe en los suelos de manglar a la alta movilidad de los complejos con la materia orgánica. Por otra parte, los elementos Pb, Th, U, Zr, Hf, Sc, Y, Nb, Sn, Cr y Ga provienen de sedimentos del continente (detritos), y los elementos V, Ni, Zn, As y Se presentan un enriquecimiento relativo (con respecto a la formación geológica de la zona) en los suelos porque se asocian con la materia orgánica. Asimismo, determinaron que los suelos de manglar presentan minerales alóctonos (cuarzo, caolinita, illita, hematina, zircón, estaurolita, turmalina, rutilo, kyanita, ilmenita, sillimanita, andalucita, topacio y anatasa), provenientes de sedimentos del continente, y minerales autóctonos o autigénicos, como smectita, halita, yeso, pirita y jarosita, los cuales son formados in situ.

### Nacionales

En cuanto a los trabajos realizados en Venezuela se tiene que Raga (2006) estudió la composición de las aguas intersticiales y de los suelos asociados a manglares vivos y degradados en el Golfo de Cuare en núcleos de 20 cm de largo. Realizó mediciones de pH, Eh, conductividad, temperatura y salinidad del agua. Determinó la concentración de S, P inorgánico, P, N, C orgánico, C, Fe, Ca, Mg, Na y K, y la mineralogía de los suelos. Encontró un incremento en la conductividad, Eh, concentración de Ca, Mg y Na en los manglares degradados. En cambio, la concentración de C orgánico, N y P, disminuía hacia las zonas degradadas, debido a que en los bosques de manglar desarrollados existe una mayor concentración de materia orgánica y la descomposición de esta es menor. Esta autora encontró que el C orgánico representaba la mayor fracción de C en los suelos, y que el Eh en los suelos disminuye con la profundidad, junto a un aumento de S y Fe a profundidad.

Díaz (2008) realizó un estudio químico y mineralógico de los suelos asociados a diferentes especies de manglar (*Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*) del Parque Nacional Morrocoy, determinando Carbono total y Carbono orgánico total (COT), realizando una caracterización de la materia orgánica

soluble por Infrarrojo de transformadas de Fourier (IRTF), y un análisis mineralógico por DRX. Los resultados indican que el suelo asociado a la especie de *Rizophora mangle* presenta una concentración de COT significativamente mayor que los suelos asociados a otras especies. Los grupos funcionales determinados por IRTF no presentan diferencias significativas entre especies de mangle y la composición mineralógica de las muestras no se encuentra asociada a la presencia de distintas especies de mangle.

Barreto (2008) realizó un diagnóstico del estado de los manglares del refugio de fauna silvestre de Cuare y del Parque Nacional Morrocoy, usando imágenes aéreas de distintos años, midiendo parámetros estructurales de los árboles y midiendo la salinidad del agua intersticial. Encontró un importante deterioro de los manglares debido al incremento de la salinidad del agua intersticial, debido a períodos de sequía en conjunto con el uso de agua dulce por las poblaciones cercanas. Por otra parte, la *Avicennia germinans* es la especie que domina en suelos más salinos, por lo que la misma ocupó las zonas donde la salinidad era mayor.

Millán (2008) realizó un estudio químico y textural de suelos asociados a diferentes unidades de vegetación (herbácea oeste, herbácea este y boscosa) en tres islas de vegetación ubicadas en el Golfete de Cuare. Determinó la variación espacial de C total, C orgánico, Nitrógeno, Al, Na, K, Ca, Mg, P, Fe y Zn en los suelos. Realizó un muestreo compuesto (5 muestras en cada punto) y muestreo simple (una sola muestra) en cada punto de muestreo, obteniendo que no hay variaciones significativas en los dos tipos de muestreo, por lo que el suelo era homogéneo. La textura es principalmente arena lodosa. La autora obtuvo que la concentración de C y N es mayor en la zona boscosa, y que los suelos del herbazal oeste son significativamente diferentes en cuanto a la composición química para Al, K, Na, Zn, P y Fe.

## **Zona de Estudio**

### Ubicación

La región de Punta Caimán está localizada en la zona occidental del Golfete de Coro, en el estado Falcón, aproximadamente entre las coordenadas 19.374.770 y 19.384.600 mE y 1.278.800 y 1.273.300 mN. Por su parte, el Refugio de Fauna Silvestre y Reserva de Pesca Laguna Boca de Caño se localiza al noreste de la península de Paraguaná, entre los poblados de El Supí y Tiraya, en el estado Falcón (Figura 3). Específicamente, se localiza entre las coordenadas 1.332.000 metros y 1.327.000 metros Norte y 19.406.000 metros y 19.410.000 metros Este. Y comprende un área aproximada de 453 hectáreas (MARN, 2001).

### Características de la zona de estudio

En la zona de Punta Caimán (Figura 3) se presenta una frecuente actividad pesquera así como la extracción de ostras que se encuentran adheridas a las raíces del mangle. Los mangles de esta zona son poco desarrollados, aproximadamente menores de 2 metros de altura, y se presenta una zonación entre las especies de mangle, donde la *Rizophora mangle* se encuentra hacia el Norte, y la *Avicennia germinans* domina la zona más hacia el sur (cercana al continente). En esta zona la profundidad del cuerpo de agua no es superior a 2 metros.

En la laguna Boca de Caño (Figura 3) se presentan alrededor de 20 familias de peces, de los cuales un cincuenta por ciento son de valor comercial, y son aprovechados por los pobladores de la zona. Esta laguna alberga una gran cantidad de especies de aves, incluyendo aves migratorias (Bisbal, 2001). Aquí se ubican dos zonas de manglares, una hacia el margen oriental de la laguna, los cuales se encuentran poco desarrollados, con menos de 2 metros de altura, y están dominados por especies de *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*; y en el margen septentrional de la laguna se encuentran manglares de aproximadamente 8 metros 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, seguida de la *Avicennia germinans* y en la zona más alejada de la laguna crece la *Conocarpus erectus* (MARN, 2001).



**Figura 3.** Zona de estudio, Golfete de Coro y Península de Paraguana (Google Earth, 2009)

La temperatura media anual de la zona está entre 30,5 °C y 23,4 °C. Los vientos aportan suficiente humedad como para la formación de nubes, sin embargo, la precipitación media anual es baja, con un promedio de 322,5 mm anuales, con un máximo entre octubre y diciembre. En cambio, la evapotranspiración es superior a los 1600 mm anuales (MARN, 2001).

En la laguna Boca de Caño no existen cursos de agua definidos, siendo el escurrimiento intermitente y ocasional. 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. La profundidad del cuerpo de agua varía entre 30 a 80 cm, con un máximo de 2 metros encontrado en la boca de la laguna, donde se comunica con el mar (MARN, 2001).

## Marco geológico

La zona de estudio está ubicada en la cuenca de Falcón, de edad Oligoceno, y estuvo caracterizada por un período de transgresión, por lo que la sedimentación en el Oligoceno fue principalmente de ambientes marinos. Sin embargo, en el Mioceno cesó la subsidencia de la cuenca y comenzó su relleno dando lugar a la disminución de su profundidad y, por lo tanto, a una sedimentación de ambiente más continental (González et al., 1980).

La composición mineralógica de los sedimentos del Golfete de Coro está influenciada directamente por el sedimento que transporta el río Mitare, ya que el mismo desemboca en el Golfete. Este río atraviesa una gran variedad de litologías pertenecientes a la Subcuenca de Falcón occidental, la cual se ubica al oeste del Alto de Paraguaná. Algunas de las principales formaciones que atraviesa el río son: Codore, Urumaco, Socorro, Cerro Pelado y Agua Clara. Asimismo, la litología de esta zona consiste en areniscas de ambiente litoral, areniscas carbonáceas, lutitas carbonáticas, ferruginosas y carbonosas, carbón de ambientes paludales, y gran variedad de calizas (González et al., 1980).

La geología encontrada en la Península de Paraguaná está constituida por la Formación Cantaure, Granito de Paraguaná, Formación Pueblo Nuevo y el complejo ultramáficos de Paraguaná. Las características litológicas de cada formación se explican a continuación:

Granito de Paraguaná: consiste en una roca de grano fino a mediano, compuesta por un 30 % en volumen de cuarzo, 60 % en volumen de microclino y plagioclasa, un 10 % de biotita y horblenda, y como accesorios presenta granate, circón, titanita y apatito (González et al., 1980).

Complejos ultramáficos de Paraguaná: Se ubican tres complejos máfico-ultramáfico, los cuales son el Complejo Ultramáfico de Tausabana-El Rodeo, compuesto por dunita con lente de cromita, piroxenita y una peridotita serpentizada tipo harzburgita-lherzolita; El gabro zonado de Siraba-Capuana, compuesto principalmente por gabro olivinífero-piroxénico, con plagioclasa; y el Complejo subvolcánico de Santa Ana, compuesto principalmente por Basalto con piroxeno y plagioclasa cálcica (González et al., 1980).

Formación Pueblo Nuevo: está formada por rocas de metamorfismo de bajo grado con asociaciones mineralógicas de cuarzo-albita-muscovita-clorita. Y está compuesta por filitas y pizarras grafitosas, metareniscas conglomeráticas, cuarcíticas y feldespáticas, cantidades menores de calizas recristalizadas y metaftanitas (González et al., 1980).

Formación Cantaure: compuesta principalmente por lutitas y calizas con alto contenido de fósiles. En la base de la formación se presentan lutitas limosas y yesíferas con algunas capas arenosas, seguido por una sección fosilífera constituida por calizas con oncolitos de algas y moluscos, y lutitas yesíferas. Finalmente, el tope de la formación se coloca en la base de una caliza bioclástica (González et al., 1980).

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

A continuación se explica detalladamente la metodología experimental desarrollada para el cumplimiento de los objetivos planteados, donde se hace referencia a los distintos métodos y equipos utilizados. Así mismo, se explicarán las distintas etapas que componen este estudio, las cuales son: el trabajo de campo, trabajo de laboratorio y el tratamiento estadístico de los datos.

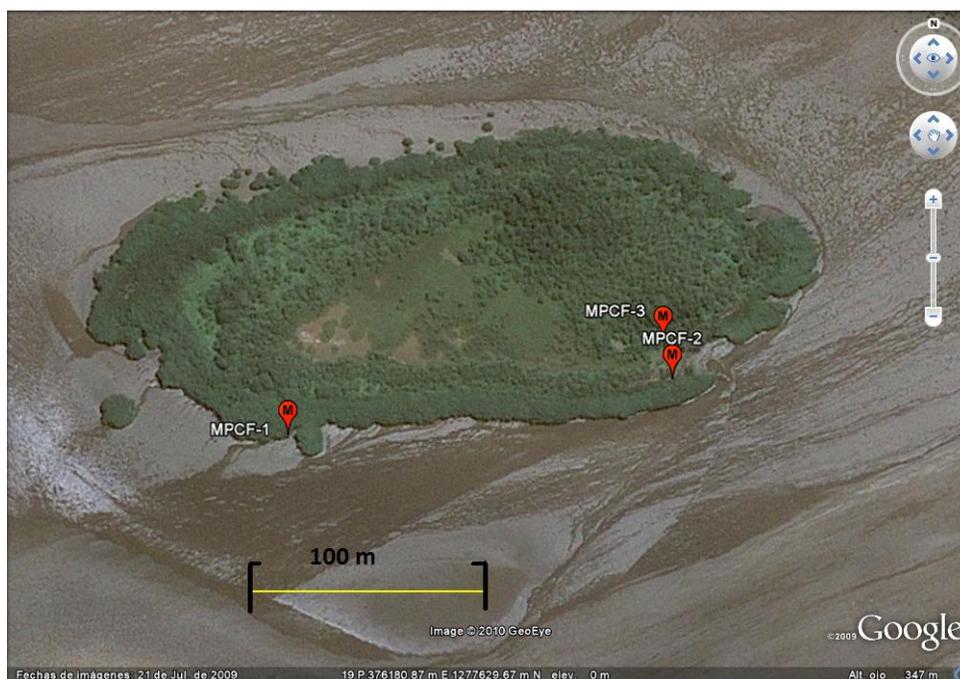
### Trabajo de Campo

El estudio fue realizado en los suelos de manglares de la zona Oeste del Golfete de Coro (Punta Caimán) y de la zona Noreste de la península de Paraguaná, con la finalidad de relacionar la concentración de los elementos esenciales y metales pesados con el desarrollo de las distintas especies de mangle. Para ello, fueron ubicados 6 puntos de muestreo en los manglares de la parte oeste del Golfete de Coro (Figura 4), y 8 puntos en la parte noreste de la península de Paraguaná, específicamente en el refugio de fauna y reserva de pesca Laguna Boca de Caño (Figura 6).



Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo en Punta Caimán (Google Earth, 2009).

En la parte Oeste del Golfo de Coro, específicamente en Punta Caimán se ubicaron 6 puntos de muestreo (Figura 4 y 5) en función de la especie de mangle que predomina (Tabla 7).



**Figura 5.** Puntos de muestreo MPCF-1, MPCF-2 y MPCF-3 en Punta Caimán (Google Earth, 2009).

**Tabla 7.** Tipo de vegetación y coordenadas UTM de los puntos de muestreo de la zona Oeste del Golfo de Coro.

Muestra	Coordenadas UTM	Vegetación
MPCF-1	19.376.097 m E y 1.277.593 m N	Rizophora mangle
MPCF-2	19.376.256 m E y 1.277.617 m N	Rizophora mangle y Avicennia germinans
MPCF-3	19.376.251 m E y 1.277.633 m N	Avicennia germinans
MPCF-4	19.377.052 m E y 1.276.785 m N	Rizophora mangle con crecimiento de Avicennia germinans
MPCF-5	19.377.234 m E y 1.276.639 m N	Avicennia germinans seca
MPCF-6	19.377.979 m E y 1.273.733 m N	Avicennia germinans

El muestreo realizado incluyó la captación de núcleos de suelos, para lo cual fueron utilizados tubos de policloruro de vinilo (PCV) de alrededor de 20 cm de largo y 5 cm de diámetro. Los tubos fueron rotulados y transportados en posición vertical hasta el laboratorio, donde fueron congelados para su posterior descripción física.

Con el fin de estudiar los cambios químicos y mineralógicos en el perfil del suelo, en cada estación fueron tomadas 3 muestras de suelo aproximadamente a 25 cm, 60 cm y 90 cm de profundidad con la ayuda de un barreno. Las muestras fueron guardadas en bolsas y etiquetadas, y finalmente fueron almacenadas en el refrigerador hasta ser analizadas. Además, en campo se realizaron las medidas de los parámetros fisicoquímicos Eh y pH a cada muestra, con el fin de determinar los cambios a profundidad y relacionarlos con las determinaciones químicas realizadas en el suelo. Además fueron captadas muestras de agua intersticial en cada punto de muestreo y agua de mar en Punta Caimán, con la finalidad de determinar la salinidad de las mismas.



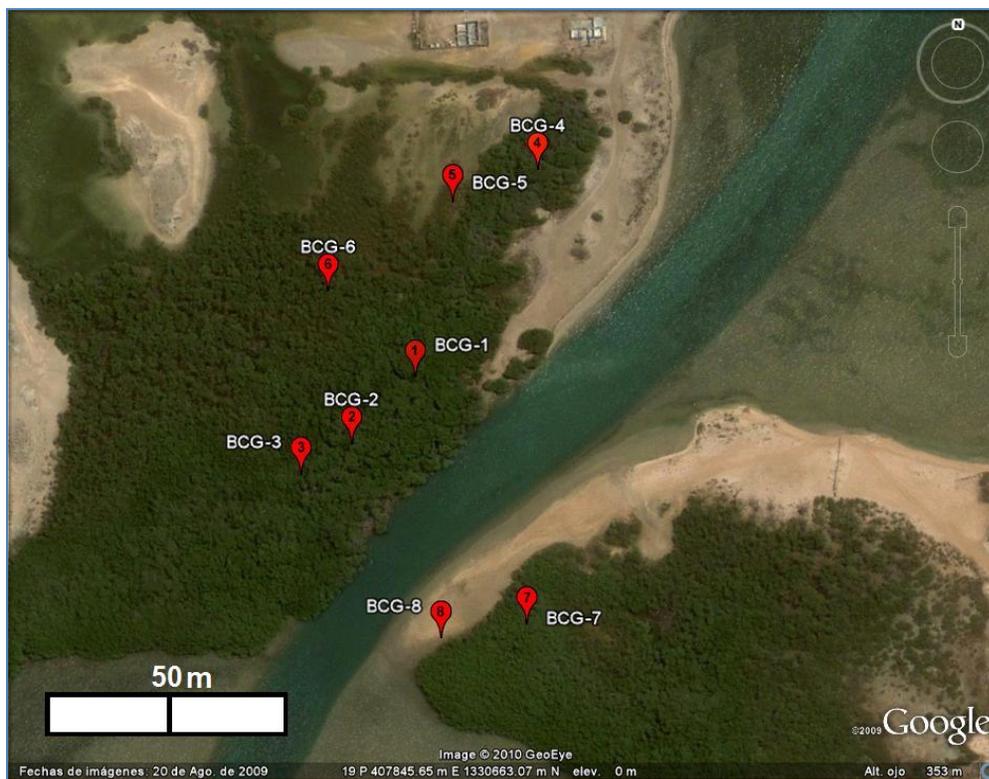
**Figura 6.** Zona de muestreo Laguna Boca de Caño (Google Earth, 2009).

En función del objetivo que pretende estudiar la relación entre el crecimiento de los mangles con el tipo de suelo, se ubicaron puntos de muestreo en función de la especie y el desarrollo del mangle que domina al suelo (Tabla 8 y Figura 6). La Figura 7 muestra los 8 puntos de muestreo ubicados, donde 6 puntos representan mangle desarrollado de alrededor de 8 m de altura y dos de los puntos que están más hacia el Sur, representan mangle menos desarrollado (alrededor de 3 m de altura). La metodología

para la toma de muestra fue similar a la explicada anteriormente para la zona oeste del Golfete de Coro.

**Tabla 8.** Ubicación y vegetación de cada punto de muestreo de la Laguna Boca de Caño.

Muestra	Coordenadas UTM	Vegetación
BCG-1	19.407.810 m E y 1.330.668 m N	Rizophora mangle (8 m altura)
BCG-2	19.407.777 m E y 1.330.643 m N	
BCG-3	19.407.763 m E y 1.330.630 m N	
BCG-4	19.407.861 m E y 1.330.756 m N	Avicennia germinans (8 m altura)
BCG-5	19.407.824 m E y 1.330.736 m N	
BCG-6	19.407.773 m E y 1.330.702 m N	
BCG-7	19.407.854 m E y 1.330.568 m N	Rizophora mangle (3 m altura)
BCG-8	19.407.835 m E y 1.330.562 m N	Avicennia germinans (3 m altura)



**Figura 7.** Ubicación de puntos de muestreo de la Laguna Boca de Caño (Google Earth, 2009).

## **Trabajo de Laboratorio**

### Determinación de salinidad

La salinidad fue determinada a partir de las muestras de agua captadas en cada punto de muestreo, determinando la concentración de  $\text{Cl}^-$  y calculando la salinidad a partir de la siguiente ecuación (Wallace, 1974):

$$S(\text{‰}) = 0,03 + (1,805 * \text{Cl}(\text{‰}))$$

Donde  $S(\text{‰})$  es la salinidad en partes por mil y  $\text{Cl}(\text{‰})$  es la clorinidad en partes por mil.

### Tratamiento físico

Las muestras de suelo que fueron captadas con el barreno, luego se tamizaron, usando un tamiz de acero inoxidable de 2 mm para separar la fracción de gravas. Posteriormente las muestras fueron pulverizadas y homogeneizadas usando un mortero de ágata.

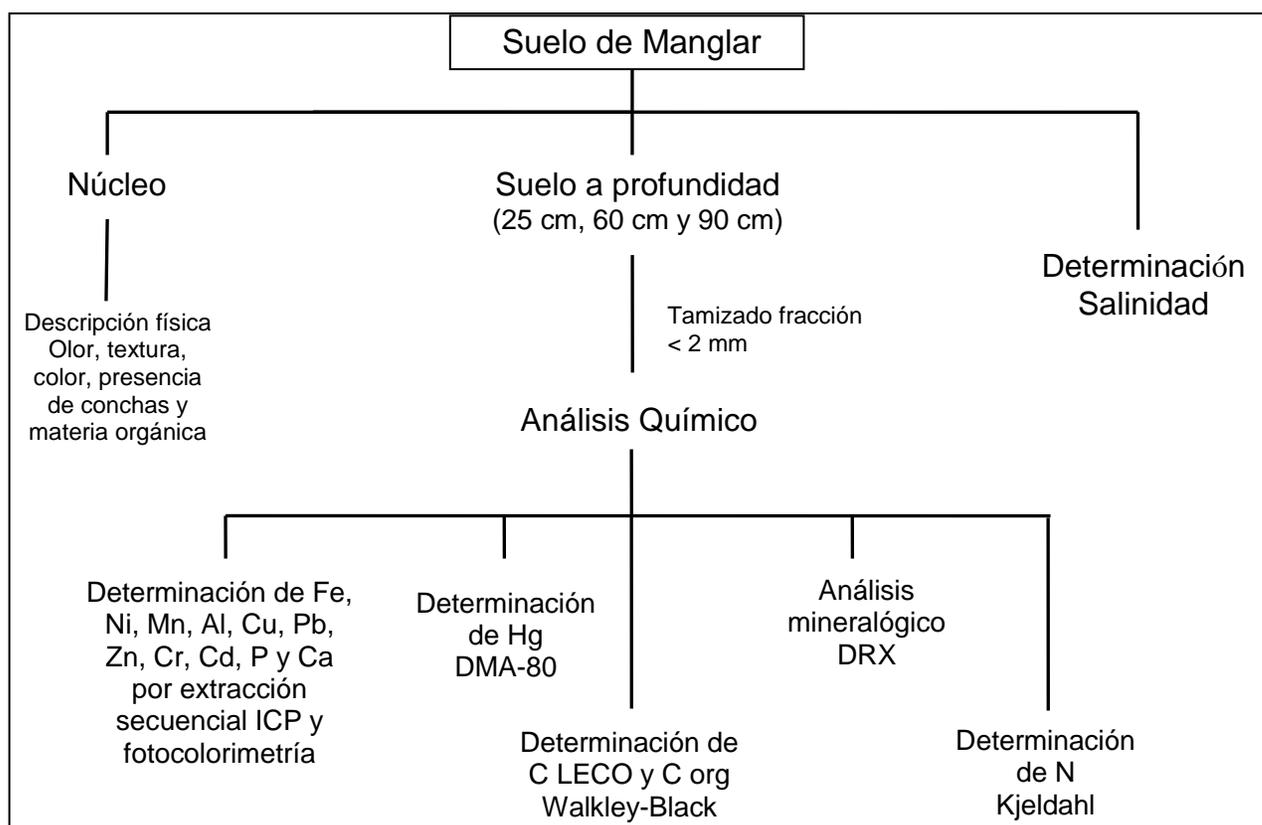
Los núcleos fueron cortados longitudinalmente para realizar una descripción física de los mismos, allí se describe el olor, textura, cantidad de conchas, presencia de materia orgánica y los cambios de color. Esto luego será comparado con los resultados correspondientes al análisis químico. En la Figura 7 se presenta el esquema experimental llevado a cabo en el proyecto de investigación.

### Determinación de Fe, Al, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ca y P

Para la determinación de los elementos Fe, Al, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ca y P se realizó una extracción secuencial con  $\text{HCl}$  1 M y  $\text{HNO}_3$  concentrado a todas las muestras de suelo. Con la finalidad de conocer a que fases minerales se pueden asociar estos elementos.

## Extracción secuencial con HCl y HNO<sub>3</sub>

Consistió en tomar 5 gramos de muestra de suelo y agregar 40 mL de HCl 1 M, agitando constantemente y por lo menos un tiempo estimado de 24 horas. Esta solución fue filtrada y enrasada a 50 mL con agua deionizada. El residuo insoluble fue lavado con agua deionizada, y le fue agregado 20 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, calentando a una temperatura aproximada de 95 °C durante 2 horas, la solución fue filtrada para separar el extracto soluble y enrasada a 50 mL con agua deionizada (Moreno, 2009).



**Figura 8.** Esquema metodológico.

Por esta técnica se obtuvieron dos soluciones, las cuales fueron analizadas para la determinación de los metales pesados así como del fósforo. La solución que se extrajo al reaccionar la muestra de suelo con HCl representa las especies adsorbidas, oxihidróxidos amorfos y carbonatos. Por su parte, la solución que se obtuvo al

reaccionar el residuo insoluble con HNO<sub>3</sub> representa los elementos asociados a las fases de oxihidróxidos cristalinos, sulfuros, materia orgánica y disolución parcial de arcillas (Moreno, 2009).

#### Determinación de Fe, Al, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Cd y Ca

Las soluciones obtenidas por la extracción secuencial fueron analizadas por espectroscopia de emisión atómica acoplada a plasma (EEA-ICP). Para la cuantificación de la concentración de los elementos se construyeron curvas de calibración externa para cada elemento, usando patrones primarios.

#### Determinación de fósforo

El fósforo se determinó en las soluciones de HCl y HNO<sub>3</sub> obtenidas por extracción secuencial, a través del método de fotocolorimetría de Murphy y Riley modificado para materiales geológicos (Rivera, 2008). Este método se basa en la formación y reducción del ácido molibdofosfórico, usando una solución de molibdato que contiene ácido ascórbico.

Se tomaron alícuotas de 0,5 mL de las soluciones de las muestras y se agregaron en un cilindro graduado de 25 mL. Para la formación del compuesto coloreado, se agregaron 4 mL de la solución A, y se aforó a 25 mL. Se esperó alrededor de 20 minutos hasta que se generó la coloración azul y se prosiguió a realizar la medición a longitud de onda de 690 nm usando un espectrofotómetro marca Spectronic 20 de Bausch and Lomb. La concentración de P en µg/g en la muestra de suelo se calculo por la siguiente ecuación:

$$P_{\mu g/g} = \frac{Ps \times 25 \times 0,050}{As \times gm}$$

Donde, Ps ( $\mu\text{g/mL}$ ) es la concentración de fósforo de la muestra obtenida por la curva de calibración, As se refiere a la alícuota que se toma de la disolución ácida de la muestra y gm son los gramos de la muestra a la que se realizó la digestión ácida.

Preparación de la solución A: para preparar 500 mL de esta solución tomó 250 mL de ácido sulfúrico 2,5 M, agregó 75 mL de molibdato de amonio y 2,640 gramos de ácido ascórbico diluido en 50 mL de agua, por último se agregaron 25 mL de tartrato de antimonio y potasio y se aforó.

### Determinación de mercurio

La determinación de mercurio en las muestras de suelo de manglar fue realizada usando un equipo analizador directo de mercurio DMA-80, el cual consiste en introducir la muestra sin realizar tratamiento químico previo. La muestra es descompuesta a 850 °C, el gas es transportado a una capsula que reduce todas las especies de mercurio a elemental. Este mercurio es recolectado selectivamente en una celda de oro, la cual es calentada para liberar el mercurio y se detecta por absorción atómica (Moreno, 2009). Se pesaron entre 2 a 5 gramos de la muestra en unas capsulas de Ni, y se introdujeron en el equipo para su posterior análisis.

### Determinación de carbono

La determinación de carbono total de las muestras de suelo fue realizada usando un equipo analizador de carbono, marca LECO modelo C – 144. El método consiste en calcinar la muestra en un ambiente oxidante, por lo que todo el carbono es transformado a dióxido de carbono, y el mismo es detectado por una celda infrarroja (Díaz, 2008)

### Determinación de carbono orgánico

El porcentaje de carbono orgánico de las muestras de suelo fue determinada mediante el método de Walkley-Black (1934), el cual consiste en la oxidación de la materia orgánica usando dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico, donde la materia orgánica que es oxidada equivale a los iones de dicromato reducidos, y los mismos fueron titulados usando como agente valorante una solución de sulfato ferroso amónico.

Se pesaron alrededor de 0,5 g de muestra de suelo y se agregaron en una fiola de 500 mL, seguidamente se agregaron 10 mL de una solución 1 N de  $K_2Cr_2O_7$  usando una pipeta volumétrica, y se agitó la fiola. Posteriormente, se añadieron 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado y se siguió agitando durante 1 minuto. Luego, se dejó mezclar en reposo durante 20 a 30 minutos. La solución se enrasó a 50 mL y se dejó reposar por otros 20 minutos. Por último, la solución fue titulada por retroceso con una solución 0,5 N de sulfato ferroso amónico y usando 5 gotas de ferroína como indicador. Se realizó una titulación del blanco para calcular el porcentaje de carbono orgánico por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ C Orgánico} = \{3 (1 - T/S)\}/m$$

Donde, S son los mililitros de la valoración del blanco, T corresponde a la valoración de la muestra y m corresponde a la masa de la muestra.

### Determinación de carbono inorgánico

La cuantificación del carbono inorgánico se realizó mediante la diferencia entre el porcentaje de carbono total y el carbono orgánico, siguiendo la siguiente ecuación.

$$C \text{ inorg} = C - C \text{ org}$$

Donde, C inorg es el porcentaje de carbono inorgánico; C representa el porcentaje de carbono total; y C org es el porcentaje de carbono orgánico determinado por el método de Walkley-Black.

### Determinación de nitrógeno

Se realizó el método Kjeldahl modificado de Jackson (1976) para la cuantificación de nitrógeno total de las muestras de suelo. Este método consistió en la digestión de las muestras con ácido sulfúrico concentrado y agregando una cantidad de catalizador Kjeldahl, con el fin de transformar todo el nitrógeno a especies de amonio, el amonio es transformado a amoniaco, el cual es recogido en una solución con exceso de ácido bórico y finalmente es titulado usando ácido clorhídrico y el indicador mixto de rojo de metilo-verde de bromocresol.

Se pesó aproximadamente 0,2 g de muestra y se agregaron en los tubos Kjeldahl, se trituraron las pastillas de catalizador Kjeldahl y se agregaron 2 g al tubo de digestión. Seguidamente, se agregaron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado y dos perlas de ebullición. La temperatura es graduada a 360 °C por aproximadamente 4 horas, en un equipo marca TECATOR digestión system 40. Al terminar la digestión se dejó enfriando durante 20 minutos y se disolvió el residuo con agua destilada, luego se enrasaron las soluciones a 50 mL.

La destilación se realizó usando el equipo Kjeltec system 1002 distilling unit-TECATOR, el cual consiste en agregar un exceso de NaOH 50 % p/v a una alícuota de 10 mL de la solución de la muestra, con el fin de liberar el amoníaco. Este amoníaco fue recolectado en una fiola con exceso de ácido bórico, para formar borato diácido por cada mol de amoníaco. A la solución se le agregó un indicador mixto de rojo de metilo y verde de bromocresol. Finalmente, se realizó la titulación por retroceso de la solución usando como agente valorante una solución 0,01 M de ácido clorhídrico. La concentración de N en porcentaje se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(V_{HCl} - V_b) * M_{HCl} * V_m * MM}{V_{al} * m} * 100$$

Donde  $V_{HCl}$  es el volumen de HCl en mL en el punto de equivalencia,  $V_b$  es el volumen gastado de HCl en el blanco,  $M_{HCl}$  es la concentración molar del ácido clorhídrico y  $m$  es la masa de muestra que se digiere,  $MM$  la masa atómica del nitrógeno,  $V_{al}$  el volumen de alícuota que se toma de la muestra,  $V_m$  es el volumen de aforo de la muestra en este caso 50 mL.

### Análisis mineralógico

Con la finalidad de determinar los minerales que componen las distintas zonas se seleccionó un punto en la Laguna de Boca de Caño (BCG-2) y otro en Punta Caimán (MPCF-3), y se realizó el análisis mineralógico usando el método de difracción de rayos X, por medio del equipo Difractómetro de rayos X marca BRUKER modelo D8 ADVANCER, con la finalidad de determinar variaciones en la composición mineralógica a profundidad, y diferenciar entre las zonas estudiadas.

El método de difracción de rayos X empleado fue el del polvo cristalino, el cual se basa en que todas las partículas cristalinas presentan un diagrama de difracción único. Por lo tanto, para la identificación de los minerales se comparan los difractogramas con materiales de referencia (Skoog et al., 2001).

Las muestras fueron pulverizadas y homogeneizadas con el fin de que cada partícula presente una orientación aleatoria y cuando un haz de rayos X atravesase el material, se da la reflexión para todos los espaciados interplanares posibles (Skoog et al., 2001).

### **Tratamiento Estadístico de los Datos**

Para el análisis estadístico de los datos se calcularon la media y la desviación estándar. Además se realizaron prueba de hipótesis de t de student con la finalidad de comparar entre los suelos superficiales de la zona este del Golfete de Coro (Punta Caimán) con

los suelos superficiales de la zona noreste de la Península de 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 entre mangle desarrollado y poco desarrollado presentes en la Laguna de Boca de Caño. Estableciendo como hipótesis nula que la concentración media de cada elemento serán iguales en las dos poblaciones a comparar ( $H_0: X_1 = X_2$ ), a un intervalo de confianza de 95 %. Los valores de media y desviación estándar para cada población están reportados en las Tablas 33 y 34 del apéndice F. Se realizó la prueba de hipótesis de t de student, ya que las poblaciones a comparar tienen un número de muestras menor a 30. Para rechazar la hipótesis nula la t calculada debe ser mayor que la t reportada en la tabla de t-student para los grados de libertad correspondientes. La ecuación utilizada para la realización de la prueba de hipótesis fue la siguiente (Miller y Miller, 2002):

$$t = \frac{(x_1 - x_2)}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde  $x_1$  es la media de la población 1,  $x_2$  es la media de la población 2,  $n_1$  y  $n_2$  representan el número de muestras de la población 1 y 2 respectivamente, y  $s$  viene dado por la siguiente ecuación (Miller y Miller, 2002):

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

Donde  $S_1$  y  $S_2$  representan las desviaciones de las dos poblaciones.

## **PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A continuación son presentados y discutidos los resultados obtenidos, con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación. Esta sección está dividida en 4 secciones que son las siguientes: una primera parte relacionada a las descripciones físicas de las zonas de estudio, incluyendo la descripción de los núcleos; el segundo punto a tratar será los parámetros fisicoquímicos Eh, pH y salinidad de estos suelos; un tercer punto donde se discutirán los resultados relacionados a los nutrientes (C, N y P); y por último se discutirán los resultados de la concentración de los metales (Fe, Al, Ni, Mn, Cu, Pb, Zn, Cr, Hg, Cd y Ca).

### **Descripción de las Zonas de Estudio**

En este punto se discutirán las observaciones de campo de las dos zonas estudiadas (Punta Caimán y la Laguna Boca de Caño), donde se hará énfasis en el desarrollo de los manglares y la descripción física de los núcleos captados, con la finalidad de cumplir con los objetivos del presente trabajo, estableciendo diferencias entre las distintas zonas (Punta Caimán y la Laguna Boca de Caño) y entre especies de mangle.

#### **Punta Caimán**

Al Oeste del Golfete de Coro en Punta Caimán existe un ecosistema de manglar que se encuentra a lo largo de toda la península. Allí la especie que predomina es la *Avicennia germinans*, seguida de la *Rizophora mangle*. Estas especies de mangle en esta zona no sobrepasan los 2 metros de altura. Sin embargo, hacia el Norte de Punta Caimán existen islas de manglar, en las cuales puede observarse una zonación entre las especies de mangle. La *Rizophora mangle* predomina el área más cerca de la orilla, y la *Avicennia germinans* domina la zona más alejada a la orilla. Esta zonación entre las especies de mangle concuerda con los trabajos de Otero (2009) en Brasil y Barreto (2008) en Morrocoy y en el Golfete de Cuare. Por su parte, en la zona Sur de Punta

Caimán la *Rizophora* no es tan frecuente como en el Norte, sin embargo, esta especie sigue presentándose más cerca de la costa.

En esta zona de Punta Caimán el efecto que genera el oleaje y las mareas sobre los manglares es importante, ya que, por una parte existen variaciones diarias donde la línea de costa es desplazada alrededor de 10 m de los manglares. Cuando la marea alcanza la zona de manglar, se debe considerar el efecto que puede tener el oleaje sobre este ecosistema, debido a que puede existir removilización de materia orgánica y puede afectar el crecimiento del mangle (Kristensen et al. 2008).

En la Tabla 23 del apéndice A, se describen los núcleos de suelo tomados en esta zona. En línea general el horizonte A es de color marrón, ya que no se acumula mucha materia orgánica en estos suelos, y puede deberse a que existe la removilización de esta materia orgánica por el agua de mar. Por otra parte hay suelos que presentan una franja de óxido de hierro y puede deberse a la transferencia de hierro (II) hacia la superficie por actividad de las raíces (Ferreira et al., 2006).

### Laguna de Boca de Caño

Al noreste de la Península de Paraguaná se encuentra un ecosistema de manglar que es de gran importancia porque es el único ecosistema de manglar de la zona Norte de la Península, y por ello fue declarado refugio de fauna silvestre y reserva de pesca. El margen Norte de la boca de esta laguna, presenta mangles que llegan a alcanzar los 8 metros de altura, representados por *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*, existiendo una zonación entre estas especies similar a la encontrada en Punta Caimán. En cambio hacia el margen Sur de la Boca de la laguna, se encuentran mangles poco desarrollados, alcanzando alturas máximas de 3 metros.

En la Tabla 23 del apéndice A, se describen los núcleos de suelo recolectados en esta zona. En la zona de *Rizophora mangle*, se identifica el horizonte A, el cual es de gran espesor, ya que existe una gran acumulación de materia orgánica. En el caso de los

suelos de la zona donde predomina la *Avicennia germinans*, existe una acumulación de materia orgánica pero no es tan importante como en la zona de *Rizophora mangle*. Al Sur de la boca de la laguna, donde están los mangles menos desarrollados, específicamente en el suelo dominado por *Rizophora mangle*, la textura resulta ser más arenosa que los suelos del mangle más desarrollado, y no existe tanta acumulación de materia orgánica. En el caso del suelo dominado por *Avicennia germinans* menos desarrollada, también presenta una textura arenosa y no presenta mucha materia orgánica. Posiblemente existe una mayor aireación del suelo. La diferencia más resaltante entre los suelos dominados por *Rizophora mangle* y los suelos dominados por *Avicennia germinans*, es la mayor acumulación de materia orgánica en el horizonte superficial, además de que presenta numerosas raíces.

Ahora bien, en resumen, al comparar los núcleos de los suelos asociados a los manglares de las zonas de la Laguna de Boca de Caño y Punta Caimán, resaltan diferencias importantes de color, pudiéndose relacionar con la cantidad de materia orgánica, donde en Boca de Caño existe mayor acumulación de materia orgánica en comparación al suelo de Punta Caimán, con un horizonte A mucho más espeso.

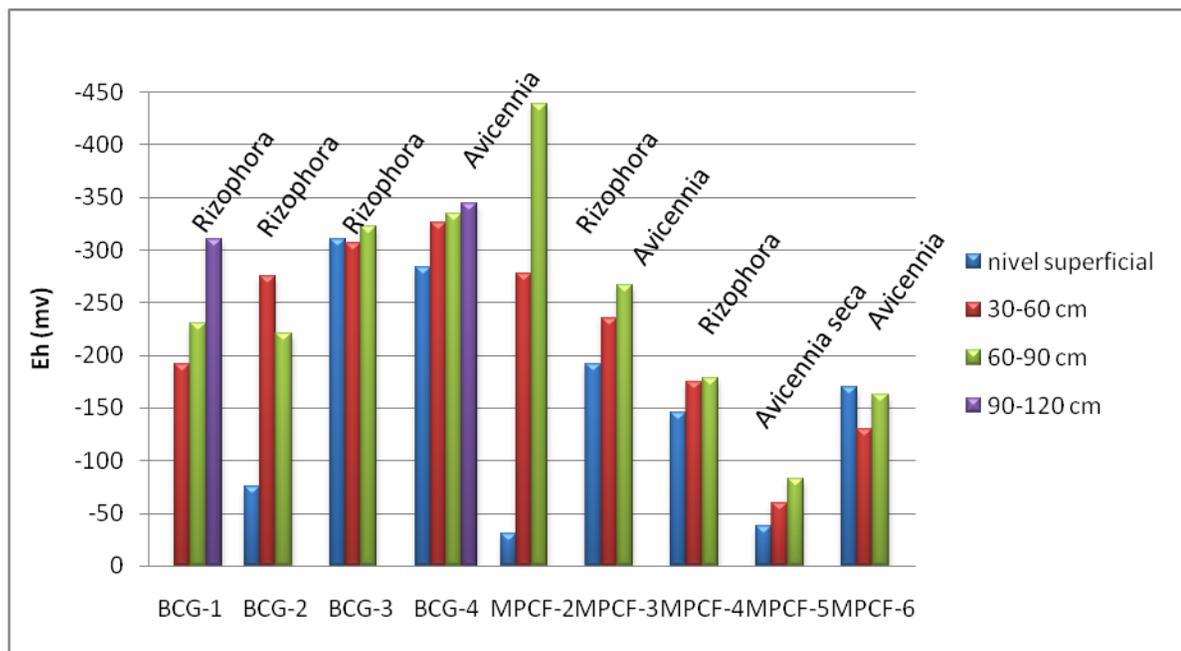
### **Parámetros Físicoquímicos**

En esta sección se discutirán los resultados obtenidos de los parámetros físicoquímicos determinados en campo (Eh y pH) así como la salinidad determinada en laboratorio, haciéndose énfasis en las diferencias entre las especies de mangle (*Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*) y entre las distintas zonas estudiadas (Punta Caimán y la Laguna Boca de Caño).

#### Eh

A partir de los resultados obtenidos en Punta Caimán y en la Laguna Boca de Caño (Tabla 24 del Apéndice B), los valores de Eh para los suelos de Punta Caimán varían entre -31 mv a -439 mv y en los suelos de Boca de Caño varían entre -75 mv a -344 mv,

similar a los resultados obtenidos por Clark et al. (1998) donde reporta valores de Eh entre 100 mv a -350 mv. En la Figura 9 puede observarse una tendencia del Eh a disminuir con la profundidad, haciéndose más negativo a mayores profundidades (Figura 9). Esto es debido a que son favorecidas las condiciones reductoras por la acumulación de materia orgánica. Los valores de Eh son negativos ya que el oxígeno puede consumirse casi totalmente en los primeros 2 mm de profundidad por la actividad de microorganismos aeróbicos (Kristensen et al., 2008). Las medidas de Eh no se realizaron en los puntos de muestreo BCG-5, BCG-6, BCG-7 y BCG-8, debido a inconvenientes con el instrumento.



**Figura 9.** Eh en los suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y Boca de Caño (BCG), y variación con la profundidad.

El punto MPCF-5 posee un Eh mayor que los otros puntos, esto es debido a que la vegetación en este punto está seca, y no existe una alta acumulación de materia orgánica. Realizando una prueba de hipótesis entre las muestras superficiales de la zona de Punta Caimán y la de la Laguna de Boca de Caño, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para una probabilidad de 0,05 entre estas dos poblaciones. Donde la t calculada en esta prueba de hipótesis es 1,52, la misma es menor que 2,45 que es la representada en la tabla de probabilidad de t-student para

unos grados de libertad de 6 y una probabilidad de 0,05. Sin embargo, es evidente que los valores de Eh en las muestras de Punta Caimán (MPCF) son relativamente mayores que los determinados en Boca de Caño (BCG), posiblemente debido a que en la zona de Punta Caimán hay un oleaje constante debido a la intensidad del viento, lo que genera una aireación constante y aumentando el nivel de oxígeno en el suelo.

En cuanto a las especies de mangle pareciera que no existe una clara relación entre el Eh y la especie de mangle, en cambio, en cuanto al desarrollo del mangle pareciera que los mangles más altos se asocian a zonas con Eh más reductores.

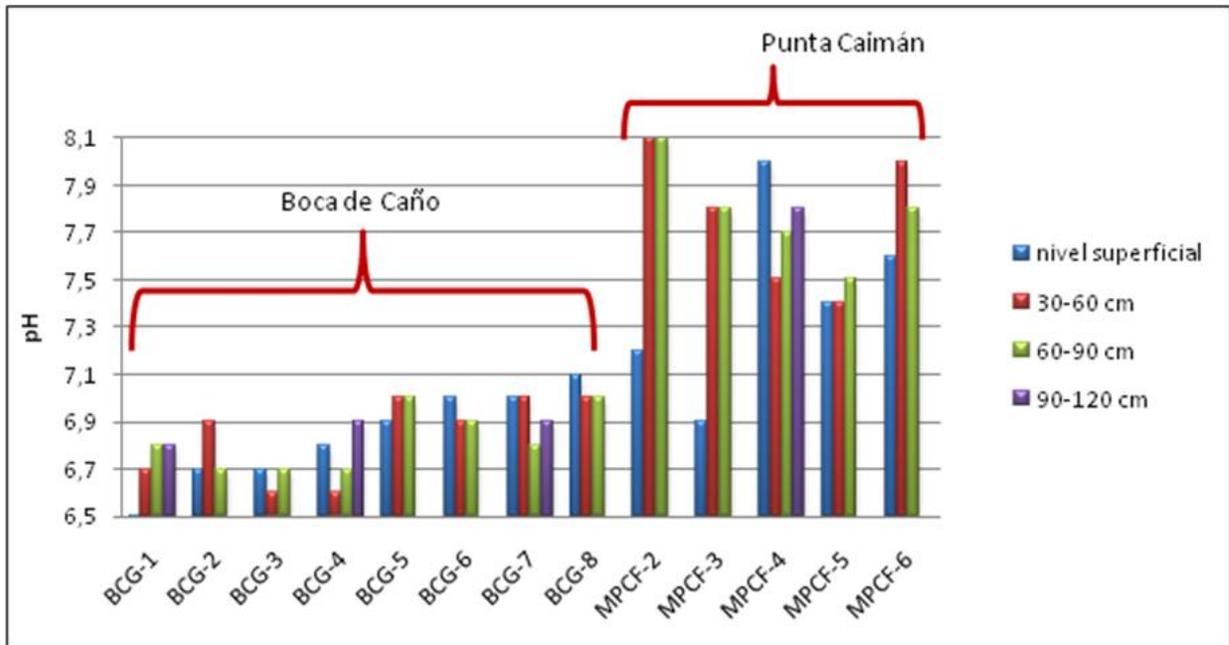
### pH

En la Tabla 24 del apéndice B, están presentados los resultados de pH para cada punto de muestreo. Los valores de pH en los suelos de la Laguna de Boca de Caño varían entre 6,6 a 7,1, mientras que en los suelos de Punta Caimán el pH varía entre 6,9 a 8,1.

Los manglares asociados a la zona de Boca de Caño presentan en los suelos pH menores a 7,1, mientras que en los suelos de Punta Caimán presentan pH promedio de 7,6 (Figura 10), esto es debido a que en Boca de Caño hay mayor acumulación de materia orgánica, tal como se desprende del estudio de Eh y de los núcleos de suelo, por lo que hay mayor cantidad de grupos ácidos asociado a la materia orgánica. De igual forma puede indicarse que hay mayor acumulación de nutrientes y agua retenidos por la materia orgánica, lo que puede generar un mayor crecimiento de los mangles en Boca de Caño (Bohn et al., 2001). Por otra parte, en el punto MPCF-3 (*Avicennia germinans*) de Punta Caimán, el pH es más ácido que otros puntos de la misma zona, y puede deberse a la mayor acumulación de materia orgánica debido a que este mangle se encuentra hacia el centro de una isla de vegetación.

En la prueba de hipótesis realizada para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las especies de mangle (*Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*), entre el mangle desarrollado y poco desarrollado, y entre las

zonas de Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño (Tabla 9). Se determinaron diferencias significativas en el pH para una probabilidad de 0,05 entre los suelos de Punta Caimán y los suelos de la Laguna de Boca de Caño. Donde los suelos de Boca de Caño tienden a ser más ácidos que los de Punta Caimán, y puede ser debido posiblemente a que en el primero exista una mayor acumulación de materia orgánica.



**Figura 10.** pH y variaciones a profundidad en cada punto de muestreo de Boca de Caño (BCG) y Punta Caimán (MPCF).

### Salinidad

En la Tabla 25 del apéndice B, se presentan los resultados de salinidad de las muestras de agua intersticial de la Laguna de Boca de Caño y en Punta Caimán, donde en la primera varía entre 40,9 ‰ a 59,5 ‰, y en la última varía entre 46,4 ‰ a 70,4 ‰. Es importante indicar que no se lograron determinar directamente las concentraciones de cloruro. Sin embargo, se calculó la concentración del mismo a partir de la concentración de sodio. Considerando que la relación de  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  en mg/L es 0,56, y que no existe un aporte litológico de  $\text{Na}^+$  (Drever, 1997).

La salinidad del agua intersticial de los suelos de Punta Caimán es mayor que la salinidad del agua de mar de esta misma zona (Figura 13). Esto puede deberse a que el agua intersticial está mayor tiempo en contacto con el sustrato, logrando disolver más minerales; además existe una evaporación de estas aguas intersticiales, aumentando la concentración de los diferentes iones (Alongi, 2009).

**Tabla 9.** Prueba de hipótesis para la variable pH en los suelos de manglar.

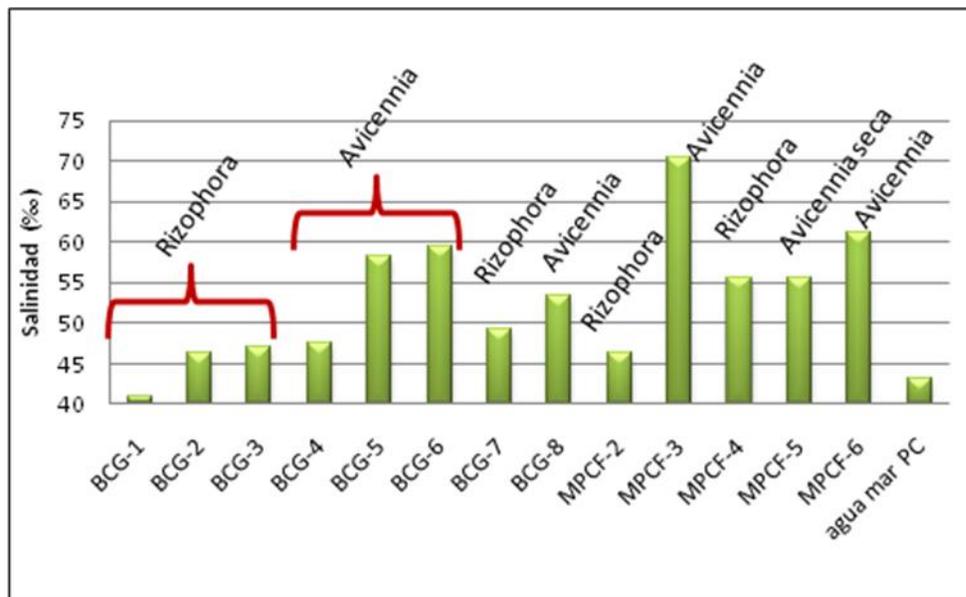
<b>Poblaciones a comparar</b>	<b>t calculada</b>	<b>t tabla a p= 0,05</b>
Especies de mangle (BCG-2 y BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	2,68	3,18
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-2 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	2,30	2,57
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	3,47	2,23

En la Figura 13 se aprecia que los suelos dominados por *Avicennia germinans* (BCG-4, BCG-5, BCG-6, BCG-8, MPCF-3 y MPCF-6) presenta, relativamente, una mayor salinidad que los suelos dominados por *Rizophora mangle* (BCG-1, BCG-2, BCG-3, BCG-7 y MPCF-4). Sin embargo, al realizar la prueba de hipótesis de t de student (Tabla 10), se tiene que no existen diferencias significativas a una probabilidad de 0,05 entre las especies de mangle. No obstante, esto se debe a que la salinidad del suelo en el punto BCG-4 (*Avicennia germinans*) es baja, y se debe, principalmente, a que este suelo estaba anegado. Al excluir este punto en la prueba de hipótesis se encuentran diferencias significativas para las especies de mangle, donde los suelos dominados por *Avicennia germinans* presentan mayor salinidad que los dominados por *Rizophora mangle*. Lo cual concuerda con otros estudios realizados, donde la *Avicennia germinans* domina sobre la *Rizophora mangle* en suelos con mayor salinidad (Barreto, 2008).

El punto MPCF-3 presenta una salinidad de 70,4 ‰ la cual representa la mayor salinidad que se calculó (Figura 11). Este suelo está dominado por *Avicennia germinans* y se encuentra hacia el centro de una isla, donde puede existir un mayor efecto de la evaporación, y como consecuencia un aumento en la concentración de los iones. En esta isla de vegetación se encuentra una zonación entre las especies de mangle bien

marcada, donde la *Avicennia germinans* va dominando hacia el centro de la isla, debido a un aumento en la salinidad del suelo.

En la prueba de hipótesis realizada (Tabla 10), con la finalidad de comparar entre el mangle desarrollado y poco desarrollado dentro de la Laguna Boca de Caño, no se encontraron diferencias significativas, por lo que la diferencia en el desarrollo del mangle dentro de la Laguna de Boca de Caño, no está influenciado por la salinidad.



**Figura 11.** Salinidad en el agua intersticial de los suelos de Boca de Caño (BCG) y Punta Caimán (MPCF), y resultado de salinidad del agua de mar en Punta Caimán.

**Tabla 10.** Prueba de hipótesis para la variable salinidad en los suelos de manglar.

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	2,44	2,78
Especies de mangle (sin BCG-4)	5,53	3,18
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,25	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	1,79	2,20

Se realizó una prueba de hipótesis similar a la anterior, con la finalidad de comparar entre los manglares de Punta Caimán y los de la Laguna de Boca de Caño (Tabla 10), donde no se encontraron diferencias significativas para una probabilidad de 0,05. Por lo cual, puede concluirse que la diferencia entre el desarrollo estructural de estos mangles no está relacionado directamente con la salinidad de los suelos.

### **Carbono, Nitrógeno y Fósforo**

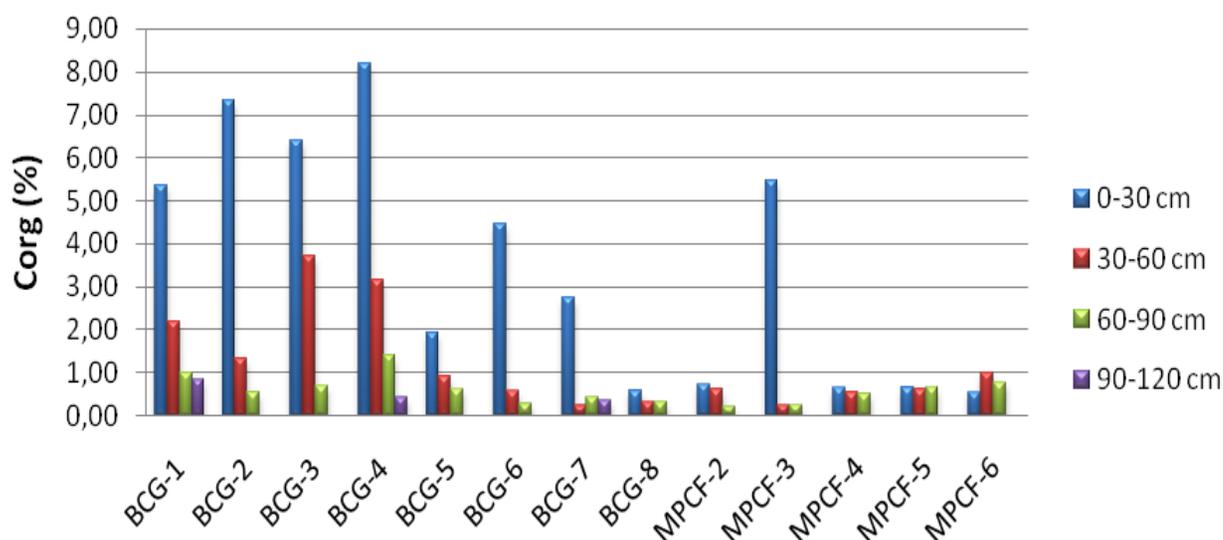
En esta sección se discutirán los resultados de carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno y fósforo, con el fin de establecer diferencias en concentración de estos elementos en los suelos asociados a distintas especies de mangle, y entre las zonas de Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño, ya que, el N y el P son elementos esenciales para las plantas, y los mismos pueden controlar el crecimiento de las mismas.

#### Carbono

En la Tabla 26 del apéndice C se presentan los resultados relacionados al carbono total, orgánico e inorgánico de los suelos de manglar de la zona de Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño. En general puede apreciarse que el carbono orgánico disminuye con la profundidad, debido a que en la parte superficial existe una acumulación de materia orgánica por el aporte de la vegetación (Figura 12).

Los valores de Carbono orgánico en el suelo superficial (0 cm -25 cm) de Punta Caimán varía entre 0,53 % y 5,46 %, sin embargo este último valor el cual representa a la muestra MPCF-3 20, se encuentra hacia el centro de una isla de vegetación, por lo que pudiese ser que se acumule más materia orgánica que en otros puntos (Figura 12). En los otros sitios de muestreo de Punta Caimán el carbono orgánico es menor que 0,72 %, y no existe tanta acumulación de materia orgánica en la superficie, debido a que las mareas remueven la materia orgánica que cae al suelo (Kristensen et al., 2008).

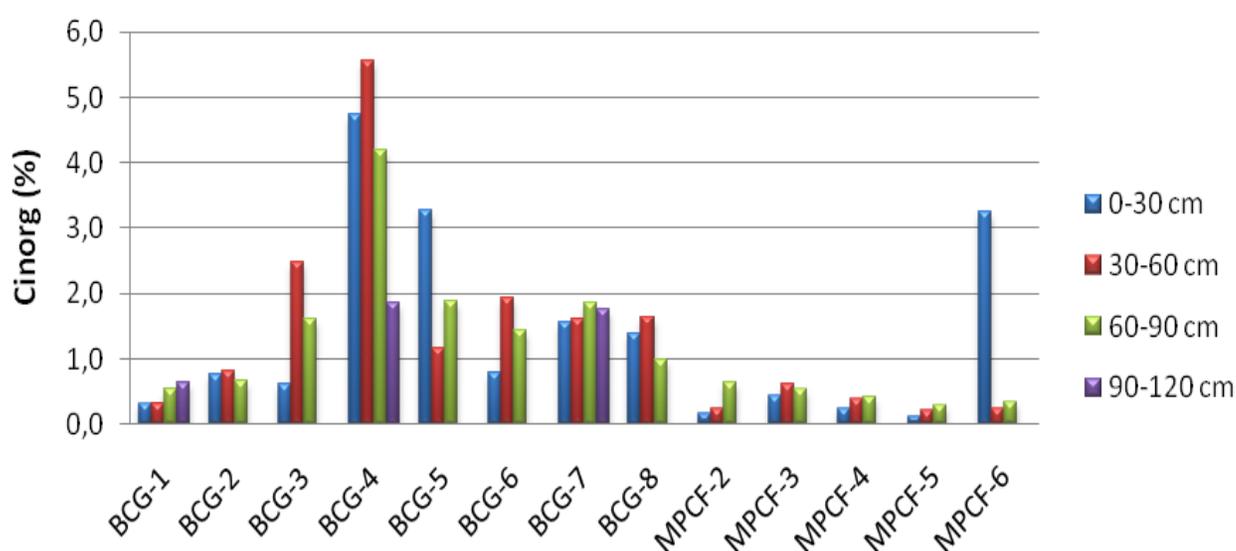
Por su parte, en la Laguna Boca de Caño, el carbono orgánico varía entre 5,34 % a 7,34 % en la zona de *Rizophora* mangle desarrollada, y de 1,92 % a 8,20 % en la zona de *Avicennia germinans* desarrollada, mientras que cambia de 0,59 % a 2,75 % en la zona de mangle poco desarrollado. Al realizar las pruebas de hipótesis para determinar si existen diferencias de carbono orgánico entre las especies de mangle, a una probabilidad de 0,05 no se obtuvieron diferencias significativas (Tabla 11), resultando que la concentración de carbono orgánico no está relacionada con la zonación entre las especies de mangle. Sin embargo, Díaz (2008) reportó que los suelos dominados por *Rizophora* presentan mayor concentración de carbono orgánico que los dominados por *Avicennia*. Por otra parte, al comparar entre la zona de mangle desarrollado y mangle poco desarrollado en la Laguna de Boca de Caño, no se encontraron diferencias significativas para una probabilidad de 0,05. Sin embargo, los suelos dominados por *Rizophora* mangle desarrollada, presentan mayor concentración de carbono orgánico que los suelos de mangle poco desarrollado (Figura 12).



**Figura 12.** Carbono orgánico en función de la profundidad en suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Al realizar la prueba de hipótesis para determinar si existen diferencias entre Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño, a una probabilidad de 0,05 los resultados de la *t* calculada son menores que la *t* reportada en las tablas (Tabla 11). Sin embargo, al

comparar entre la zona de mangle desarrollado de la Laguna de Boca de Caño (sin los puntos BCG-7 y BCG-8), con la zona de Punta Caimán, se encontró que los suelos de manglar de Boca de Caño presentan mayor concentración de carbono orgánico que los de Punta Caimán. Posiblemente sea debido a la removilización de materia orgánica, en el suelo de manglar de Punta Caimán, por la actividad de las mareas (Robertson y Alongi, 1992). Por lo tanto, la concentración de carbono orgánico puede estar relacionada con desarrollo estructural de los mangles, donde a mayor concentración es mayor el desarrollo estructural.



**Figura 13.** Carbono inorgánico en función de la profundidad en muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).

**Tabla 11.** Prueba de hipótesis para carbono orgánico.

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	0,78	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	2,25	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	2,11	2,20
Entre Punta Caimán y Boca de Caño (sin BCG-7 y 8)	2,99	2,26

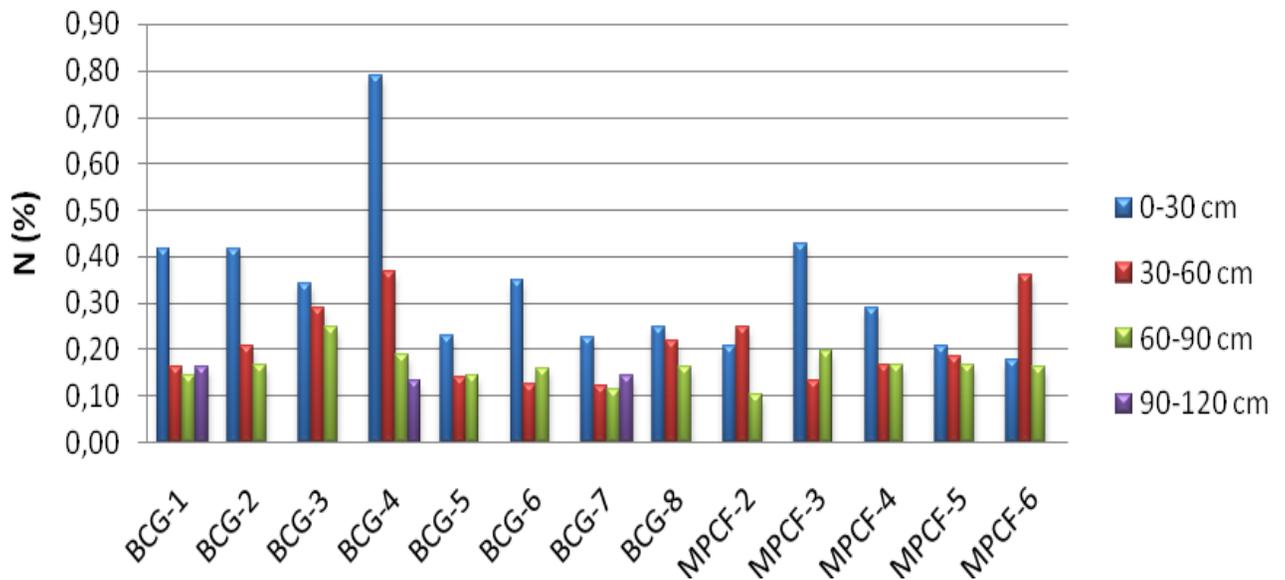
Ahora bien, en cuanto a los resultados obtenidos de carbono inorgánico, se determinó que en la mayoría de los puntos de muestreo tiende a aumentar con la profundidad (Figura 13). De igual forma, no se determinaron diferencias significativas de carbono inorgánico entre las especies de mangle y entre las dos zonas estudiadas, para una probabilidad de 0,05. Por lo que la concentración de carbonatos es muy similar en todos los suelos estudiados, y no presenta una relación con el desarrollo estructural de los mangles, ni con la zonación entre las especies de mangle.

En resumen, puede concluirse que el desarrollo estructural de los mangles está relacionado con la concentración de carbono orgánico en los suelos, ya que, los suelos de Punta Caimán (manglares enanos) presentan menor concentración de carbono orgánico, lo cual puede ser debido al efecto de las mareas y al oleaje, generando un ambiente menos reductor que el de Boca de Caño. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en la concentración de carbono orgánico entre los suelos dominados por *Rizophora* y los suelos dominados por *Avicennia*, por lo que puede indicarse que la concentración de carbono orgánico no influye en la zonación entre especies de mangle.

### Nitrógeno

En la Tabla 26 del apéndice C, se muestra la concentración de nitrógeno en los suelos de manglar de la zona de Punta Caimán y de la Laguna de Boca de Caño, donde los valores de concentración de N para los suelos de Punta Caimán varían entre 0,10 % y 0,43 %, mientras que en Boca de Caño los valores de concentración de N varían entre 0,11 % y 0,79 %, siendo similares a los reportados por Prasad y Ramanathan (2008), los cuales varían entre 0,4 % y 0,8 %. Es importante la determinación de la concentración de nitrógeno para establecer diferencias entre las distintas zonas, ya que este elemento es considerado esencial para las plantas. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas a una probabilidad de 0,05, entre las especies de mangle y entre los mangles desarrollados y poco desarrollados. Por lo que la diferencia en el desarrollo del mangle no está directamente influenciado por la concentración de

nitrógeno en el suelo. En la Figura 14 se observa el comportamiento general del nitrógeno en función de la profundidad, observándose un comportamiento similar que el carbono orgánico, disminuyendo con la profundidad. La alta concentración en la parte superficial de los suelos (primeros 25 cm) es debido a la reciente acumulación de materia orgánica, disminuyendo con la profundidad por una degradación del nitrógeno orgánico por los microorganismos, ya que el nitrógeno en la materia orgánica es fácilmente mineralizado formando amoníaco, del cual, una parte se pierde por volatilización y otra parte puede disolverse en el agua intersticial, formando amonio. El mismo, puede adsorberse en los minerales de arcilla (Prasad y Ramanathan, 2008; Lallier-Verges et al., 1998; Foth, 1990).

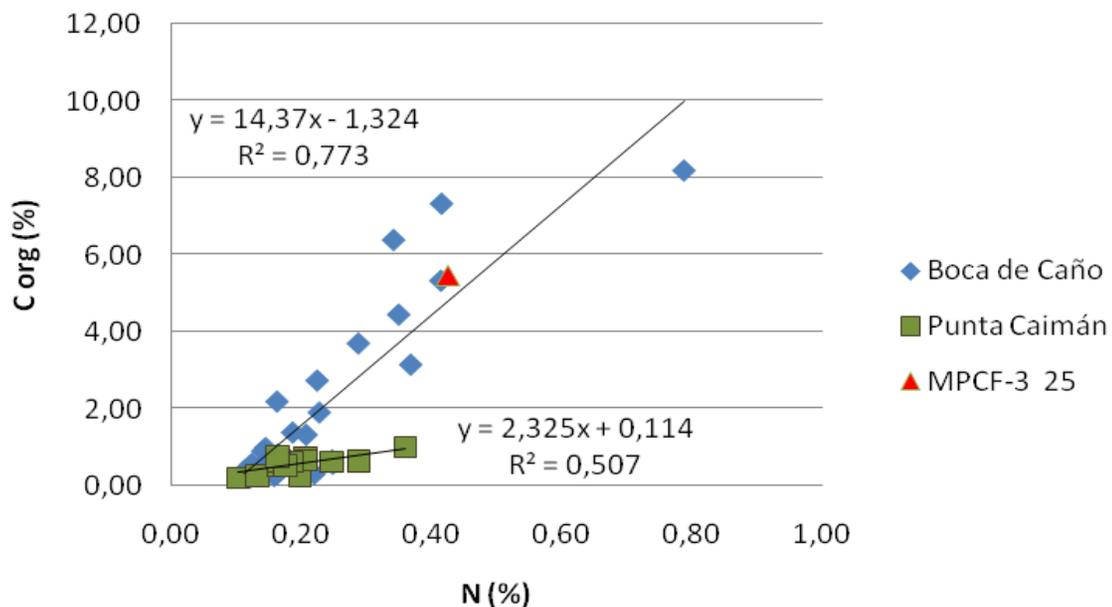


**Figura 14.** Nitrógeno en función de la profundidad, muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).

### Relación C/N

Por otra parte es importante determinar la relación C/N, ya que da información sobre el tipo de materia orgánica presente en el suelo y sobre procesos de descomposición de la materia orgánica (Lallier-Verges et al., 1998; Stevenson y Cole, 1999). Los resultados de la relación C/N para cada muestra de suelo de manglar, están reportados en la Tabla

27 del apéndice C. En la Figura 15 se observa el gráfico de correlación del porcentaje de carbono orgánico en función del porcentaje de nitrógeno en los suelos de Punta Caimán (MPCF) y los suelos de Boca de Caño (BCG). Allí puede destacarse dos importantes grupos, uno que no presenta correlación con el carbono orgánico, los cuales corresponden a los suelos de Punta Caimán exceptuando el punto MPCF-3 20. Y el otro grupo con una buena correlación con el carbono orgánico, para los suelos de Boca de Caño y para el punto MPCF-3 20. El grupo que presenta una alta correlación del nitrógeno con el carbono, indica que el nitrógeno proviene de la materia orgánica (Millán, 2008). Por otra parte, según Prasad y Ramanathan (2008) para los suelos donde el nitrógeno no presenta una buena correlación con el carbono orgánico, indica que este nitrógeno puede provenir de otra fuente, o que existe una adsorción de amonio en los minerales de arcilla (Lallier-Verges et al., 1998).

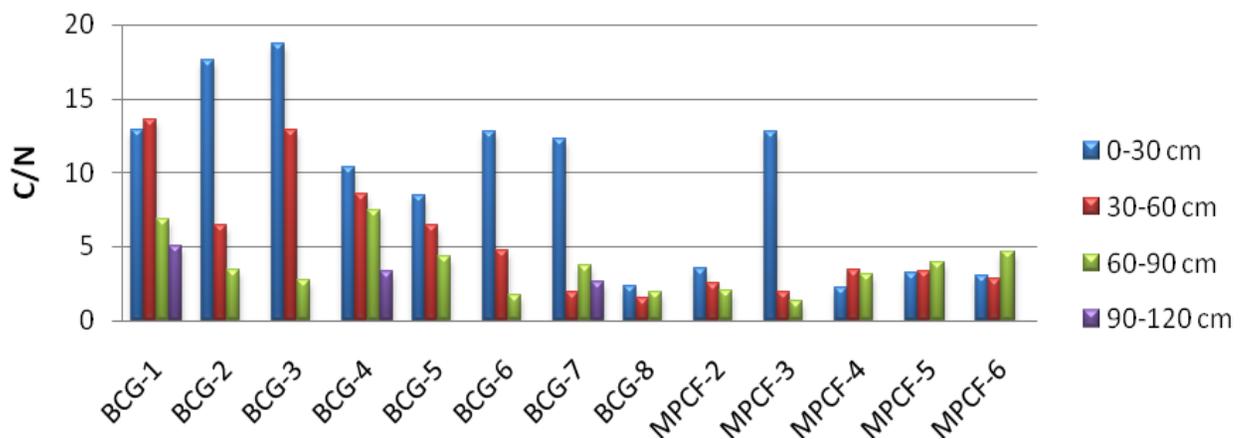


**Figura 15.** Correlación entre el porcentaje de carbono orgánico y el porcentaje de nitrógeno en las muestras de suelo de Punta Caimán y Boca de Caño.

Por otra parte, al observar los cambios de la relación de C/N en función de la profundidad, se aprecia que la misma disminuye (Figura 16). Esto concuerda con un estudio realizado por Lallier-Verges et al. (1998), donde atribuyeron la disminución de la relación C/N debido a la degradación de la materia orgánica, perdiéndose el carbono, y

donde el nitrógeno es fijado, por adsorción de amonio en la superficie de algunos minerales. De igual forma, encontraron que la retención de nitrógeno puede ser explicada por la formación compuestos donde el nitrógeno se encuentra fuertemente enlazado en la estructura de las sustancias húmicas o adsorbido en las arcillas (Lallier-Verges et al., 1998).

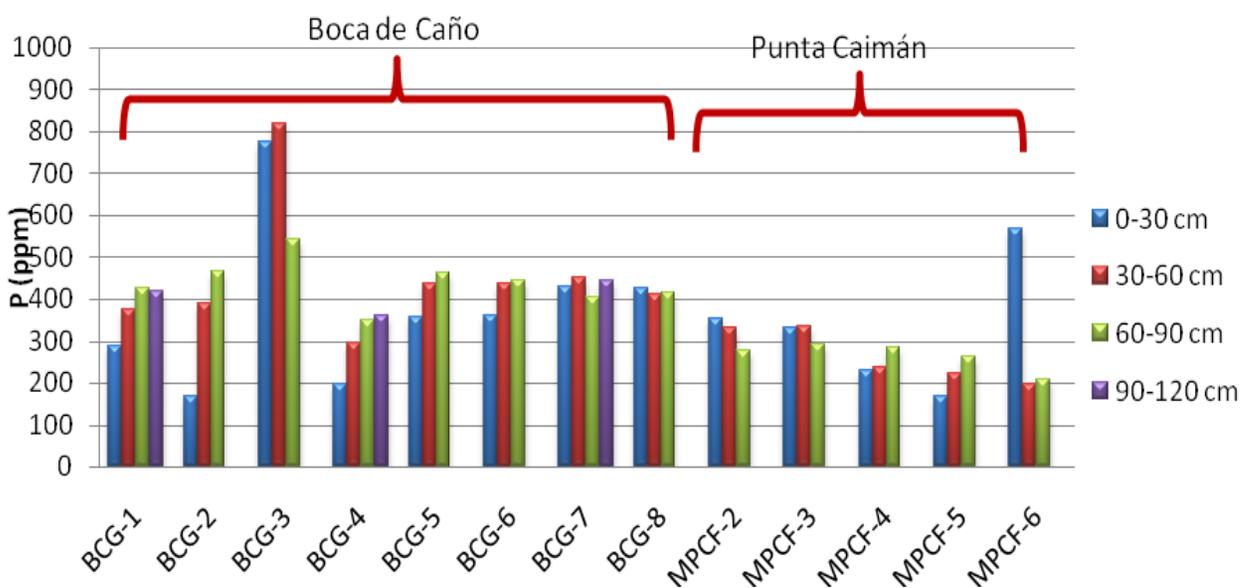
En la Figura 16 se aprecia que las relaciones de C/N en las muestras superficiales de Boca de Caño son mayores que las encontradas en Punta Caimán. Se realizó una prueba de hipótesis para determinar si existen diferencias entre Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño, a una probabilidad de 0,05. Los resultados indican que la  $t$  calculada (2,49) es mayor que la presentada en la tabla de  $t$  de student (2,20), por lo que sí existen diferencias significativas entre estas dos poblaciones, donde los suelos de la Laguna de Boca de Caño presentan una relación C/N mayor que en Punta Caimán. Esto puede ser explicado debido a que, en Punta Caimán, puede existir una mayor mineralización del carbono orgánico por microorganismos, obteniendo un residuo donde el nitrógeno se encuentra fuertemente enlazado a la estructura de la sustancia húmica, pudiendo afectar el crecimiento del mangle por una deficiencia en N (Lallier-Verges et al, 1998; Prasad y Ramanathan, 2008). Y la materia orgánica de los suelos de manglar de Boca de Caño puede que esté compuesta principalmente por humus (Stevenson y Cole, 1999).



**Figura 16.** Relación C/N en función de la profundidad, en muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y la Laguna de Boca de Caño (BCG).

## Fósforo

El estudio de P fue realizado como se explicó en la metodología, a través de la extracción ácida en dos pasos. En primer lugar el fósforo fue extraído con el ácido clorhídrico 1 M (HCl) el cual está relacionado con las fases de oxihidróxidos amorfos, carbonatos y adsorbidos en los coloides. Luego el residuo remanente fue extraído con el ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>), donde están las fases de oxihidróxidos cristalinos, sulfuros, materia orgánica, y disolución parcial de arcillas (Moreno, 2009; USEPA 3050B, 1996).

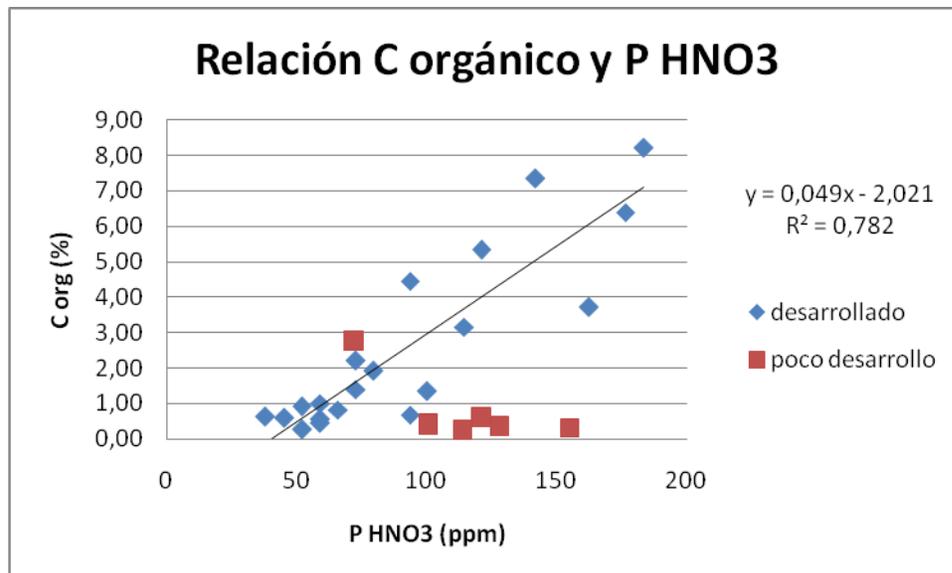


**Figura 17.** Concentración de P del extracto HCl 1M con la profundidad, para los suelos de la Laguna de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).

En la Tabla 26 del apéndice C, se muestran los resultados obtenidos de fósforo (P) en los diferentes extractos de ácido clorhídrico y ácido nítrico para los suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG). Las concentraciones de P relacionadas al extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 169 ppm y 818 ppm, mientras que en Punta Caimán varían entre 169 ppm y 569 ppm. En cambio, la concentración de P del extracto HNO<sub>3(c)</sub> para los suelos de Boca de Caño varía entre 38 ppm y 183 ppm, mientras que en Punta Caimán varían entre 181 ppm y 374 ppm. Los resultados de P total en todas las muestras varían entre 311 ppm y 981

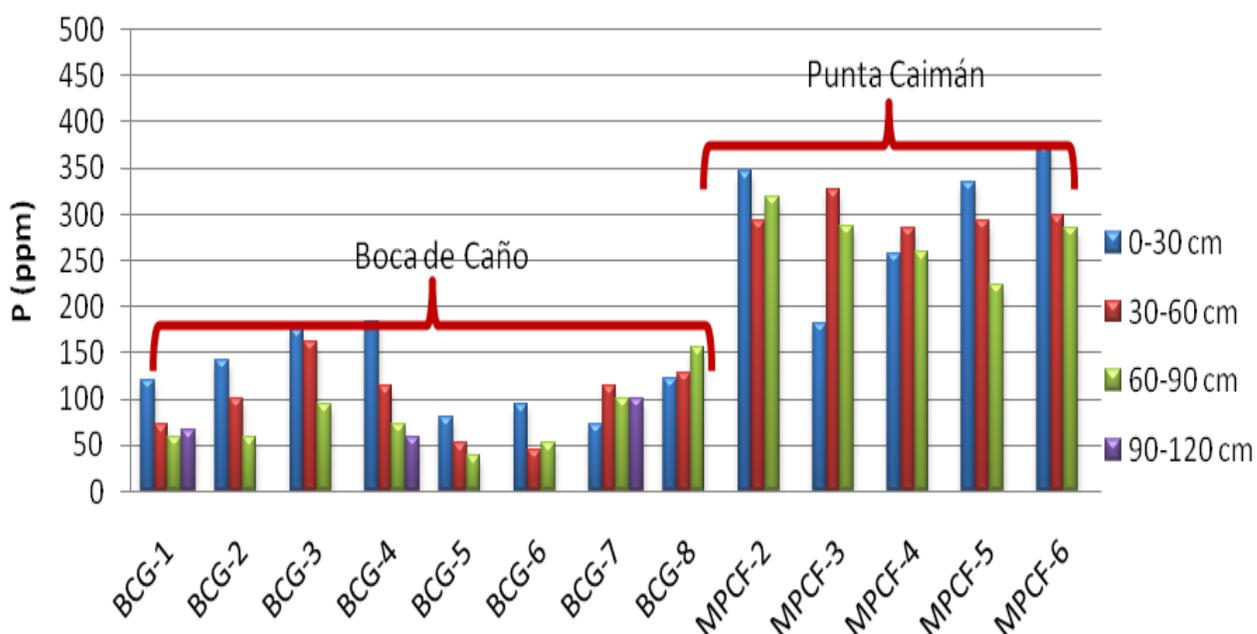
ppm. Estos valores son similares a los reportados por Prasad y Ramanathan (2008), obteniendo que la concentración de P total varía entre 300 ppm y 500 ppm en suelos de manglar de India.

Los resultados de la concentración de P en el extracto de HCl 1M (Figura 17), indican que tanto en los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño como en los de Punta Caimán no presentan una tendencia definida en función de la profundidad, y no existen diferencias en la concentración de P entre las dos zonas. Por su parte, en la Figura 19 resalta que la concentración de P en el extracto  $\text{HNO}_3(c)$  en los suelos de Punta Caimán son relativamente mayores que los de Boca de Caño.



**Figura 18.** Relación entre carbono orgánico y fósforo del extracto  $\text{HNO}_3(c)$  en los suelos asociados a mangle desarrollado y con poco desarrollo de la Laguna de Boca de Caño.

Ahora bien, en la prueba de hipótesis realizada, solo fueron encontradas diferencias significativas ( $p= 0,05$ ) para la variable P del extracto de  $\text{HNO}_3(c)$ , entre los suelos de manglar de Punta Caimán y los de la Laguna de Boca de Caño, donde el estadístico t calculado fue de 5,30, y el representado en la tabla de t de student es de 2,20. Por lo tanto, en los suelos de manglar de Punta Caimán el P del extracto  $\text{HNO}_3$  es mayor que en el suelo de manglar de Boca de Caño, pudiendo indicar que en la zona de Punta Caimán existe un aporte importante, pudiendo ser litológico.



**Figura 19.** Concentración de P del extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$  en suelos asociados a mangle desarrollado y mangle con poco desarrollo de la Laguna de Boca de Caño, y en suelos de Punta Caimán (MPCF).

Ahora bien, en cada zona se determinó la relación existente del fósforo con los demás elementos estudiados en el presente trabajo (C, N, Al, Fe, Mn, Ca, Ni, Cr, Pb, Cd, Hg, Cu y Zn), obteniendo que el P del extracto HCl 1M de los suelos de mangle de Boca de Caño no presenta una relación con ningún elemento, por lo que puede indicar que este elemento se encuentra en la fase adsorbida a los coloides, en una forma disponible para las plantas. En cambio el P del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  para la misma zona, presenta una buena correlación con el carbono orgánico para las muestras de suelo asociados al mangle desarrollado (Figura 18). Sin embargo, los suelos asociados a mangle con poco desarrollo no presentan una buena correlación con el carbono orgánico, a excepción del punto BCG-7, ya que en este punto existe un valor alto de carbono orgánico. Según Robertson y Alongi (1992) se espera que el fósforo en los suelos de manglar se encuentre asociado a la materia orgánica, sin embargo, no todo el fósforo asociado a la materia orgánica se encuentra en una forma disponible para las plantas, ya que parte del mismo puede estar fuertemente enlazado a las sustancias húmicas del suelo, perjudicando el crecimiento de las plantas.

## Metales en Suelo de Manglar

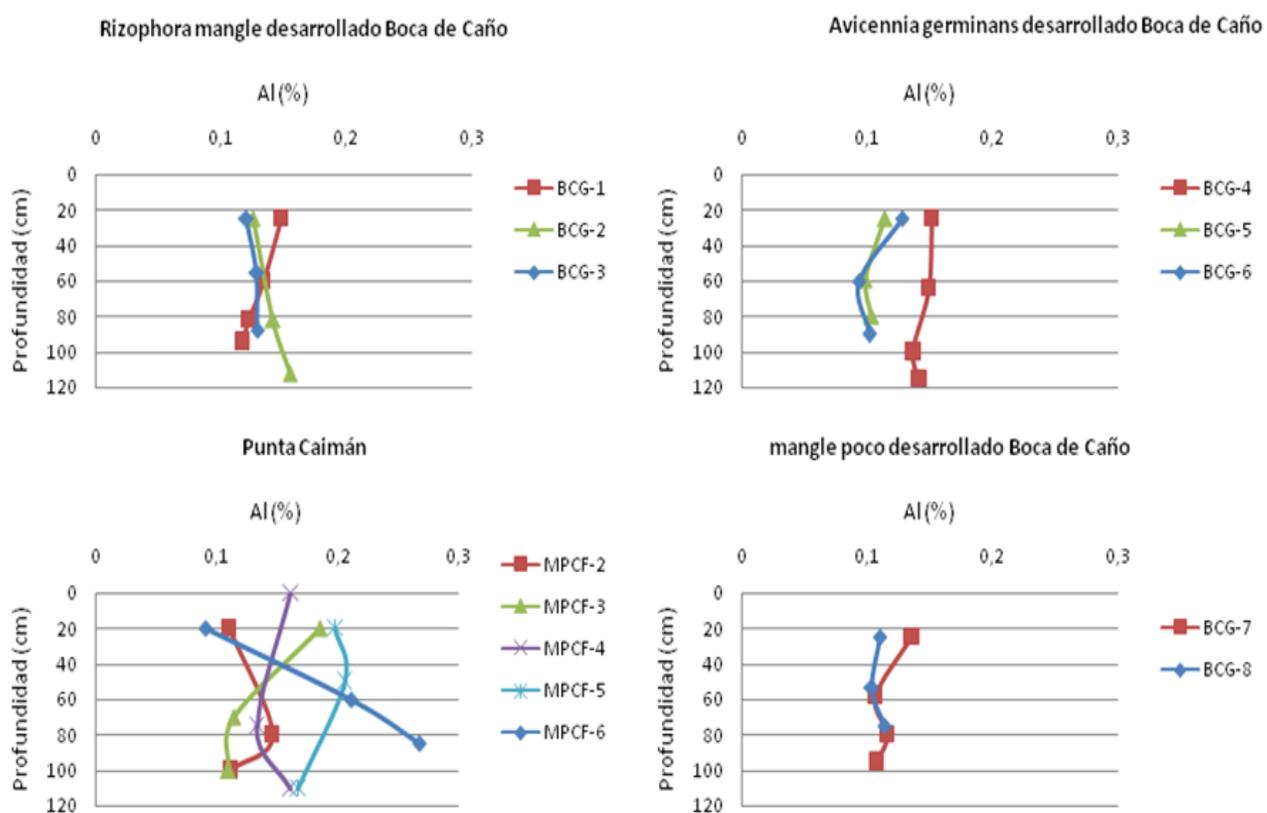
En esta sección se discutirán los resultados relacionados con las concentraciones de los metales obtenidos en los extractos de HCl 1 M y  $\text{HNO}_{3(c)}$ . En primer lugar se explicará los resultados obtenidos de Al, luego los resultados de los metales considerados micronutrientes (Fe, Ni, Mn, Cu, Cr, Ca, Zn), y por último los metales que no son esenciales para las plantas (Pb, Cd y Hg). Con la finalidad de determinar cambios con la profundidad y las posibles diferencias entre los suelos asociados a distintas especies de mangle, y entre las zonas de Punta Caimán y Boca de Caño. Cumpliendo así, los objetivos planteados en el presente trabajo.

### Aluminio

En la Tabla 28 del apéndice D se muestran los resultados obtenidos de Al en las soluciones de HCl 1 M y  $\text{HNO}_{3(c)}$ , las concentraciones de Al en el extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 0,094 % y 0,155 %, y en Punta Caimán varían entre 0,091 % y 0,268 %. Por otra parte, la concentración de Al en el extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$  en los suelos de Boca de Caño varía entre 0,15 % y 0,47, mientras que en los suelos de Punta Caimán varían entre 0,47 % y 1,49 %. También puede apreciarse que los valores de concentración de Al en el extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$  son un poco mayores que los valores obtenidos en el extracto de HCl 1 M, esto puede indicar que la mayor parte del Al se encuentra en la forma de oxihidróxidos cristalinos. Estos resultados son menores que a los determinados por Millán (2008) en suelos de manglar al Norte del Golfete de Cuare, reportando valores de Al en el extracto HCl entre 1,2 % y 2,3 %, mientras que en el extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  varían entre 0,6 % y 2,3 %.

Las concentraciones de Al en el extracto de HCl 1 M podrían estar relacionadas con la presencia de oxihidróxidos de aluminio amorfos. En la Figura 20 y 21 se presentan la variación de Al de este extracto con la profundidad para cada suelo de manglar. Allí se observa que para los suelos dominados por *Rizophora mangle* bien desarrollada, los puntos BCG-2 y BCG-3 son muy similares, y se diferencian del punto BCG-1 en que

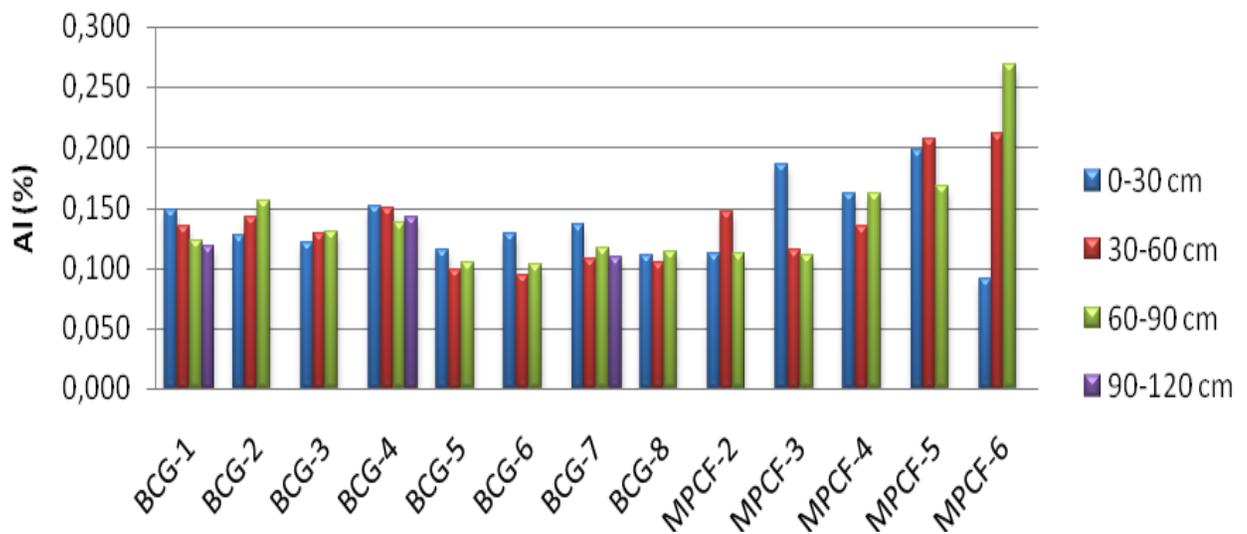
este último presenta una mayor concentración de Al en este extracto, indicando que existe mayor cantidad de oxihidróxidos amorfos de Al en el punto BCG-1. En el caso de los suelos dominados por *Avicennia germinans* desarrollada, los puntos BCG-5 y BCG-6 son muy similares, sin embargo, en el punto BCG-4 la concentración de Al del extracto HCl 1 M es mucho mayor que las anteriores, indicando que existe una mayor concentración de oxihidróxidos amorfos en este punto (Figura 20 y 21). Por otra parte, la diferencia resaltante entre el suelo dominado por *Rizophora mangle* (BCG-7) y el dominado por *Avicennia germinans* poco desarrollado (BCG-8), es que en el primero la concentración de Al del extracto HCl 1 M en la parte superficial del suelo es mayor que la dominada por *Avicennia*. En el caso de los suelos de Punta Caimán el Al en el extracto HCl 1 M presenta varios comportamientos en función de la profundidad.



**Figura 20.** Concentraciones de Al del extracto HCl 1 M en función de la profundidad en las muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

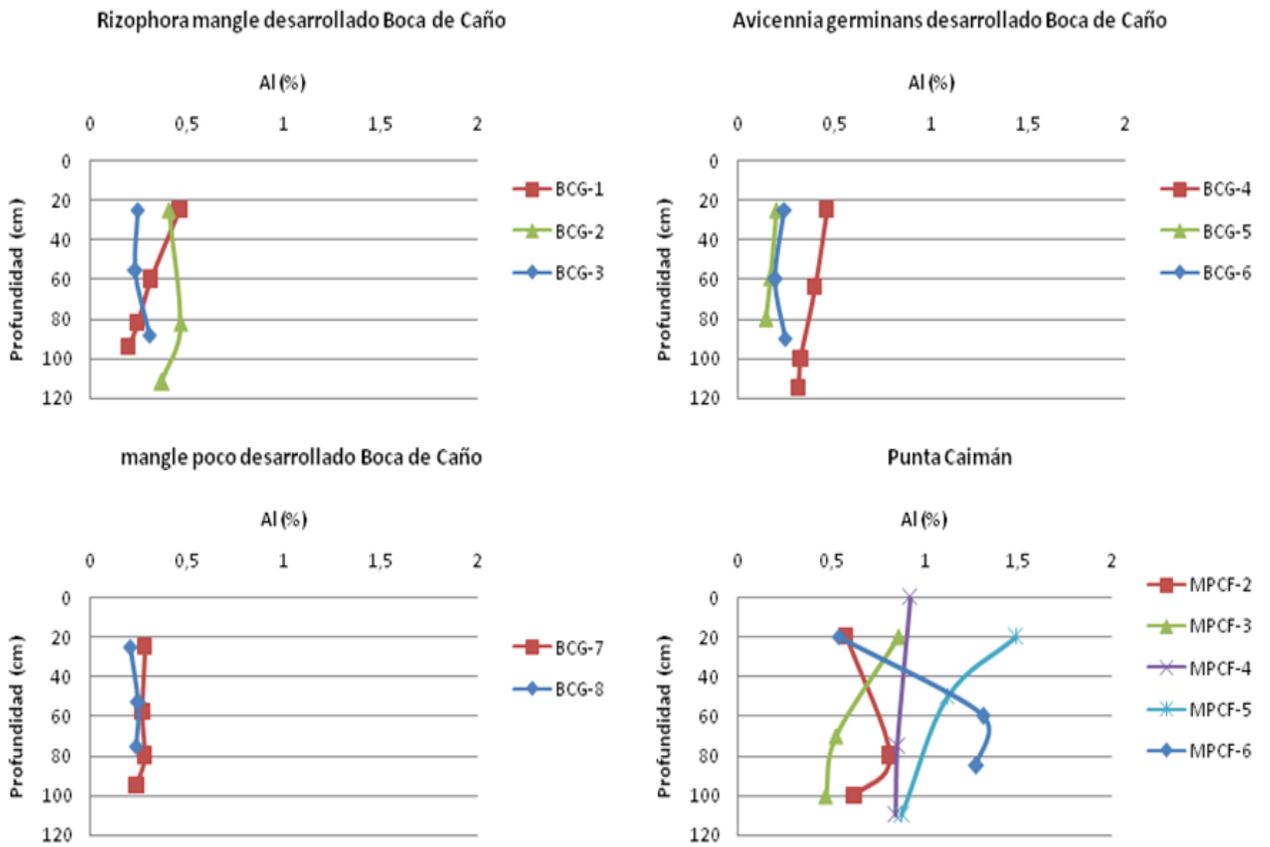
Ahora bien, el Al extraído con  $\text{HNO}_3(\text{c})$ , representa la fase de oxihidróxidos cristalinos de Al, y en las Figuras 22 y 23 puede observarse el comportamiento de este elemento en

el extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  para los suelos de manglar. En Boca de Caño no presenta mucha variación este elemento en función de la profundidad. Sin embargo, los suelos de Punta Caimán presenta mayor variación en función de la profundidad, y las concentraciones son mayores que en los suelos de Boca de Caño.

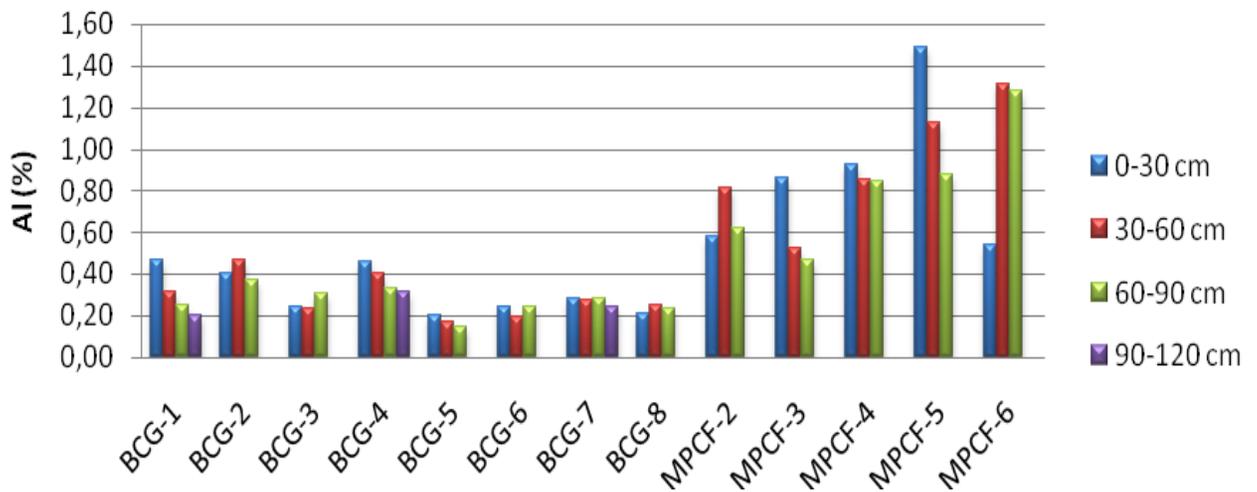


**Figura 21.** Concentración de Al en el extracto HCl de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).

Al realizar una prueba de hipótesis (Tabla 12) para determinar si existen diferencias significativas a una probabilidad de 0,05, se obtuvo que no existen diferencias entre especies, por lo que no está relacionado con la zonación de las especies de mangle. En cambio, al comparar la variable Al del extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$ , se encontraron diferencias significativas, a una probabilidad de 0,05, entre los suelos de manglar de Punta Caimán y los suelos de manglar de Boca de Caño (Tabla12). Donde la concentración de Al del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  es mayor en los suelos de Punta Caimán, esto puede indicar que en esta zona es mayor la concentración de oxihidróxidos cristalinos de aluminio (USEPA 3050B, 1996), porque el aluminio es un metal que se encuentra asociado principalmente a aluminosilicatos y a óxidos.



**Figura 22.** Concentraciones a profundidad de Al del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  en las muestras de suelo de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).



**Figura 23.** Concentración de Al en el extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).

**Tabla 12.** Prueba de hipótesis para Al del extracto HCl 1 M y HNO<sub>3(c)</sub>.

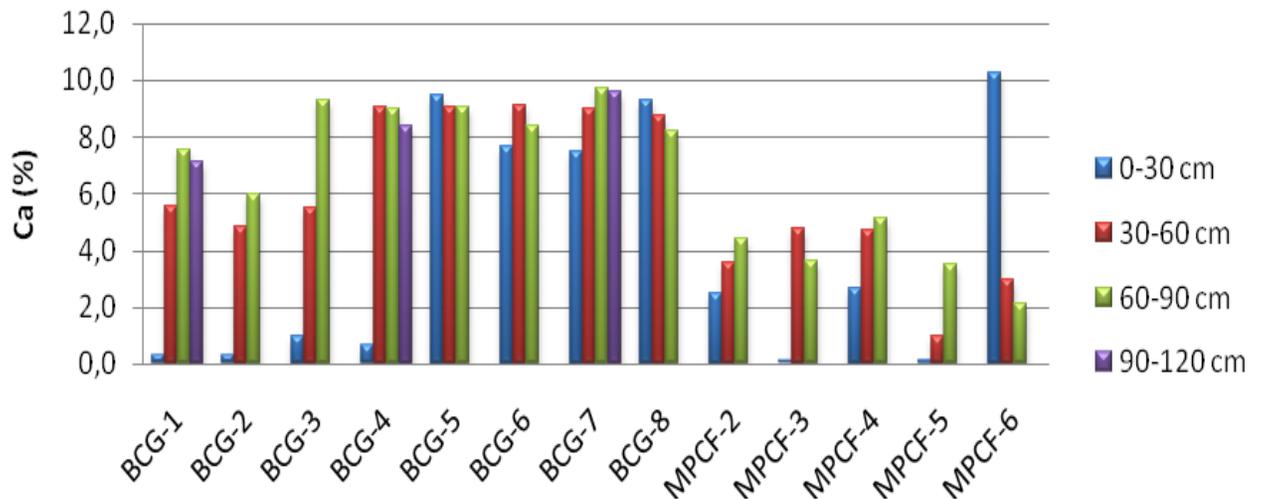
Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	0,67 (HNO <sub>3(c)</sub> ) y 0,02 (HCl 1 M)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,99 (HNO <sub>3(c)</sub> ) y 0,66 (HCl 1 M)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	4,03 (HNO <sub>3(c)</sub> ) y 1,16 (HCl 1 M)	2,20

### Calcio

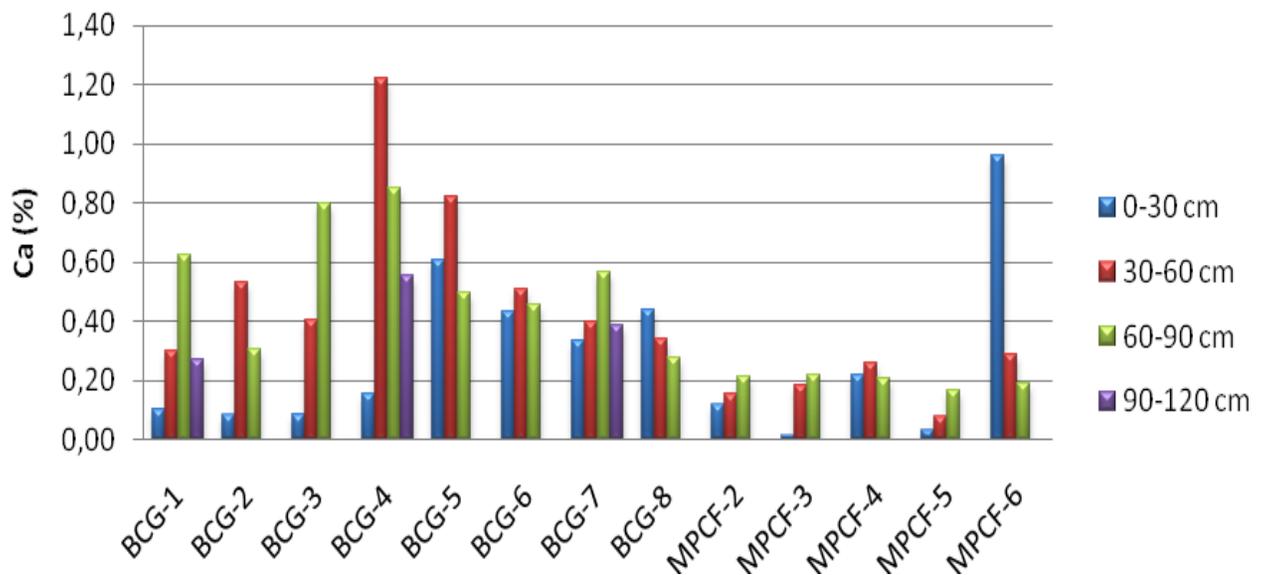
En la Tabla 28 del apéndice D se muestran los resultados obtenidos de Ca en las soluciones de HCl 1 M y HNO<sub>3(c)</sub>. Las concentraciones de Ca en el extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 0,3 % a 9,7 %, y en Punta Caimán varían entre 0,1 % y 10,3 %. Por otra parte, la concentración de Ca en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varía entre 0,08 % y 1,22 %, mientras que en los suelos de Punta Caimán varían entre 0,01 % y 0,96 %. Estos valores son mayores que a los obtenidos por Millán (2008), quien reporta valores de concentración de Ca en el extracto HCl 1 M entre 0,1 % y 0,5 %, y en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> de 0,007 % a 0,02 %. También puede apreciarse que los valores de concentración de Ca en el extracto de HCl 1 M son mayores que los valores obtenidos en el extracto de HNO<sub>3(c)</sub>, esto quiere decir que la mayor parte del Ca se encuentra en la forma de carbonatos (USEPA 3050B, 1996). El Ca del extracto HCl 1 M tiende en general a aumentar con la profundidad (Figura 24), indicando que existe menor concentración de carbonatos en la superficie, posiblemente debido a la disolución de carbonatos por la oxidación de sulfuros (Marchand et al., 2006). Sin embargo, en los puntos, BCG-8 y MPCF-6 el Ca tiende a disminuir con la profundidad para los dos extractos.

Ahora bien, en la Figura 25 se muestra el comportamiento del Ca del extracto de HNO<sub>3(c)</sub> en función de la profundidad. Allí se observa que para los suelos dominados por *Rizophora mangle* en Boca de Caño existe un incremento de Ca de este extracto a los 60 cm de profundidad, y para los suelos dominados por *Avicennia germinans* hay un

incremento a los 30 cm de profundidad. Por otra parte, en los suelos de Punta Caimán el comportamiento de Ca del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  es similar al del extracto de HCl 1 M.



**Figura 24.** Variación de Ca del extracto HCl 1 M con la profundidad para las muestras de suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).



**Figura 25.** Variación de Ca del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  con la profundidad para las muestras de suelos de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

En la prueba de hipótesis realizada para determinar si existen diferencias significativas entre cada población (Tabla 13), a una probabilidad de 0,05, no se encontraron

diferencias entre suelos dominados por diferentes especies de mangle, ni en los suelos de las diferentes zonas de estudio. Sin embargo, en la Figura 24 puede observarse que existen dos grupos diferentes, el primero con una concentración promedio de 7,0 %, y otra con 3,4 %, y siendo el Ca un macronutriente, es posible inferir que este elemento pueda estar limitando el crecimiento de los mangles en Punta Caimán.

**Tabla 13.** Prueba de hipótesis para Ca del extracto HCl 1 M y HNO<sub>3(c)</sub>.

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	2,34 (HNO <sub>3(c)</sub> ) y 2,00 (HCl 1 M)	<b>2,78</b>
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,86 (HNO <sub>3(c)</sub> ) y 1,64 (HCl 1 M)	<b>2,45</b>
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	0,07 (HNO <sub>3(c)</sub> ) y 0,57 (HCl 1 M)	<b>2,20</b>

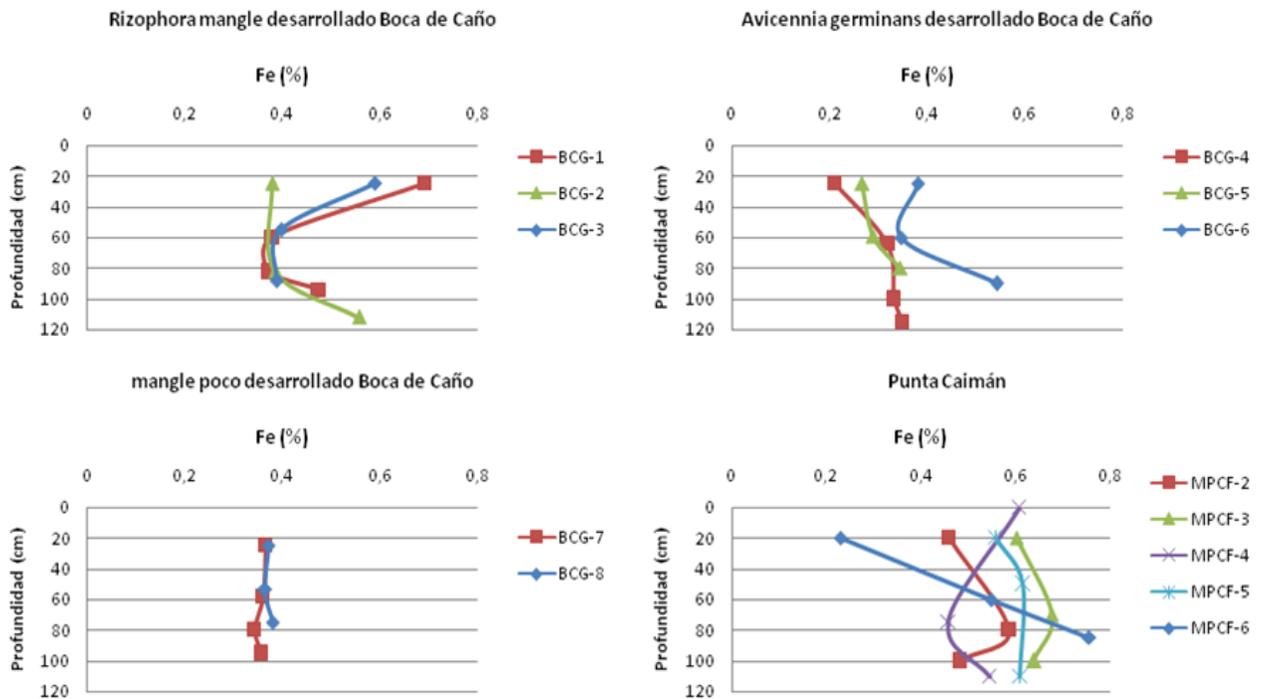
### Hierro

Las concentraciones de Fe en el extracto HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 0,2 % y 0,7 %, y en Punta Caimán varían entre 0,2 % y 0,8 %. Por otra parte, la concentración de Fe en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varían entre 0,4 % y 1,0 %, mientras que en Punta Caimán varía entre 1,7 % y 4,8 % (Tabla 30 del apéndice D). También puede apreciarse que la fracción extraída con HNO<sub>3</sub> concentrado presenta una mayor concentración de Fe que la fracción extraída con HCl 1 M, pudiéndose inferir que la cantidad de Fe asociado a oxihidróxidos cristalinos, pirita, y a la materia orgánica es mayor que la cantidad de Fe adsorbida, formando oxihidróxidos amorfos y en carbonatos. Ahora bien, la Tabla 14 muestra los valores de t calculados en la prueba de hipótesis, la cual determinó que existen diferencias significativas para Fe del extracto HNO<sub>3</sub> a una probabilidad de 0,05, entre los suelos de manglar de Punta Caimán y los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño. Los primeros presentan mayor concentración de Fe del extracto HNO<sub>3</sub>, y posiblemente puede estar influenciando el desarrollo del mangle, ya que, a pesar de que el Fe es un micronutriente, a altas concentraciones puede ser tóxico. Por otra parte, la alta concentración en Punta Caimán puede deberse a que en esta zona existe un

mayor aporte de oxihidróxidos cristalinos de hierro por la litología, ya que en la Península de Paraguaná, el mayor aporte de hierro es en silicatos (González et al., 1980). Por otra parte, no se determinaron diferencias entre suelos dominados por distintas especies de mangle, por lo que la concentración de hierro no está relacionada con la zonación entre las especies de mangle.

**Tabla 14.** Prueba de hipótesis para Fe del extracto HCl y HNO<sub>3</sub>.

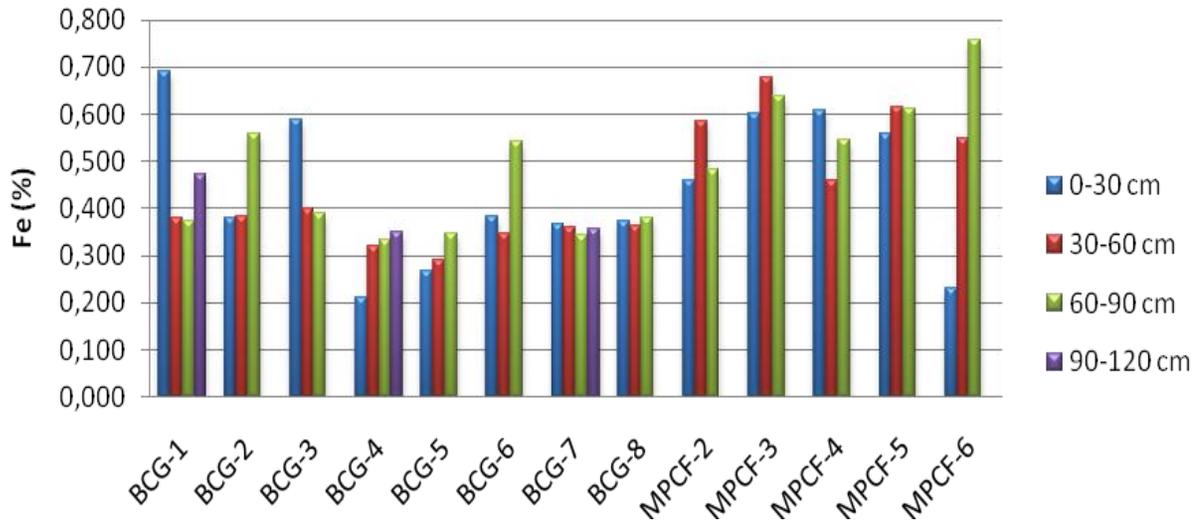
Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	2,45 (HNO <sub>3</sub> ) y 2,53 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	1,23 (HNO <sub>3</sub> ) y 0,37 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	5,97 (HNO <sub>3</sub> ) y 0,94 (HCl)	2,20



**Figura 26.** Variación de Fe con la profundidad para el extracto de HCl 1 M de las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Los cambios de concentración del hierro en los diferentes extractos dependen de procesos pedogenéticos que ocurren en los suelos de manglar, y de procesos

diagenéticos que ocurren a mayor profundidad en el material parental (Ferreira et al., 2007). Sin embargo, los comportamientos se pueden separar en zonas, donde en una misma zona el aporte de hierro debe ser similar.

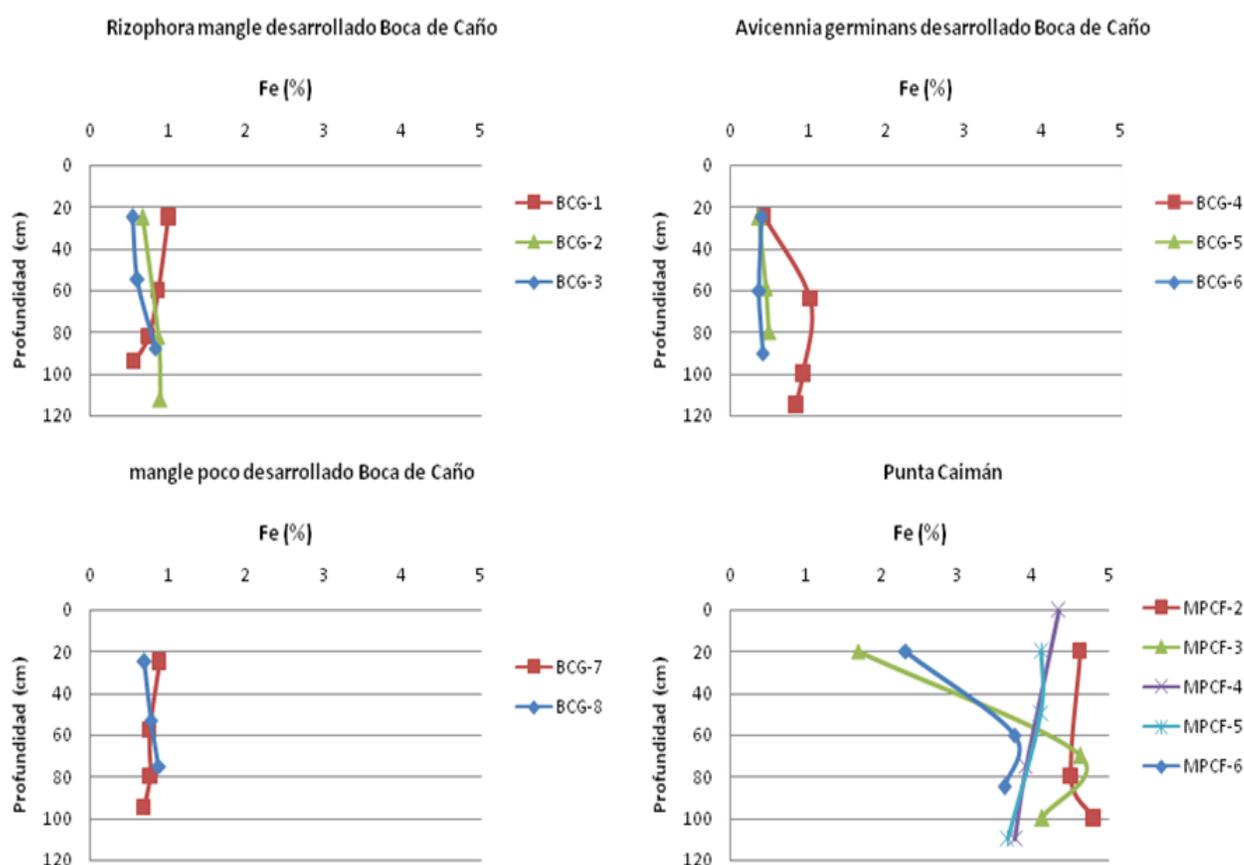


**Figura 27.** Concentración de Fe en el extracto HCl de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).

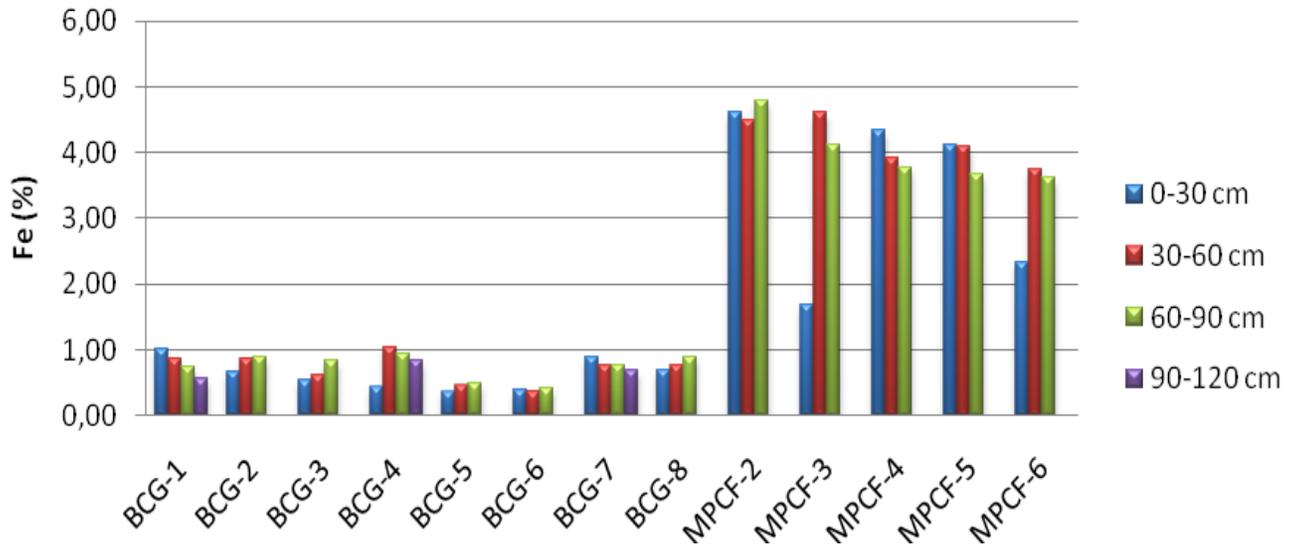
En los suelos dominados por *Rizophora mangle* en Boca de Caño se aprecia que existe una disminución en la concentración de Fe del extracto de HCl (oxihidróxidos amorfos) entre 60 cm y 80 cm (Figuras 26 y 27), y un aumento en la concentración de Fe del extracto HNO<sub>3</sub> (oxihidróxidos cristalinos y sulfuros) a mayor profundidad (Figuras 28 y 29), por lo que se puede inferir que existe reducción de Fe a profundidad por actividad de bacterias sulfato reductoras, formándose sulfuros (Otero et al., 2009). En el caso de los suelos dominados por *Avicennia germinans* en Boca de Caño, se puede observar que a mayor profundidad existe un aumento en la concentración de Fe en los dos extractos. Sin embargo, la muestra superficial del punto BCG-4 presenta menor concentración de Fe en el extracto HCl, posiblemente debido a que existe reducción de Fe, ya que el suelo estaba anegado, reduciendo la aireación del mismo (Ferreira et al., 2007).

En los suelos de Punta Caimán existen varias tendencias de concentración de Fe en función de la profundidad (Figuras de 26 a 29). Apreciándose que en los puntos MPCF-

2 (transición entre *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*) y MPCF-3 (*Avicennia germinans*) la concentración de Fe del extracto HCl tiende a aumentar a los 80 cm de profundidad, sin embargo, la principal diferencia entre estos dos puntos es que en el primero la concentración de hierro del extracto HNO<sub>3</sub> en la parte superficial es mayor, posiblemente indicando que en el punto MPCF-3 existe oxidación de sulfuros en la superficie debido a que el nivel freático se encuentra a mayor profundidad (Otero et al., 2009). En el punto MPCF-4 (*Rizophora mangle*) la concentración de hierro del extracto HCl es similar al encontrado en la Laguna de Boca de Caño para el suelo dominado por *Rizophora mangle*. En el suelo relacionado a *Avicennia* seca (MPCF-5) el hierro no varía significativamente con la profundidad. Sin embargo, para el punto MPCF-6 (*Avicennia germinans*) la concentración de hierro tiende a aumentar con la profundidad.



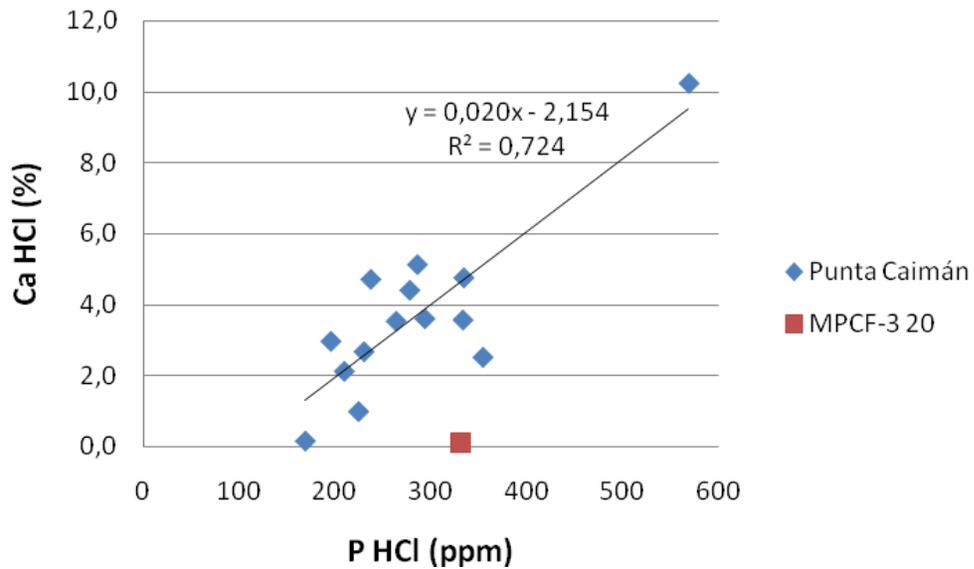
**Figura 28.** Variación de Fe con la profundidad para el extracto de HNO<sub>3(c)</sub> de las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).



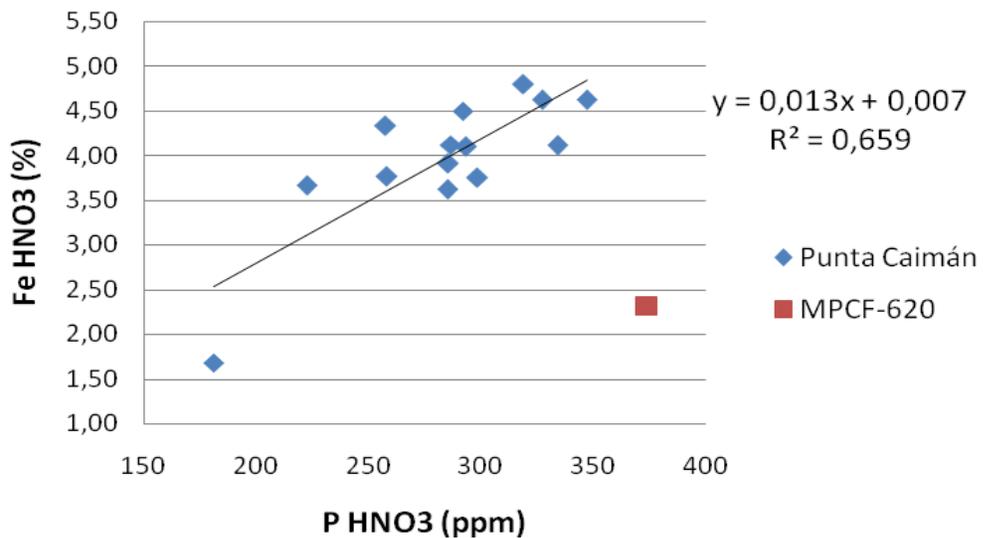
**Figura 29.** Concentración de Fe en el extracto  $\text{HNO}_3(c)$  de las muestras de suelo de Boca de Caño (BCG) y de Punta Caimán (MPCF).

Ahora bien, al realizarse una correlación entre las concentraciones de Fe y Ca con las concentraciones de P, se obtuvo que en la zona de Punta Caimán el P del extracto de HCl se correlaciona con el Ca del extracto de HCl (Figura 30), y el P del extracto de  $\text{HNO}_3$  presenta una buena correlación con el Fe del extracto de  $\text{HNO}_3$  (Figura 31), eliminando un valor anómalo (MPCF-6 20). Según Robertson y Alongi (1992) los minerales de fosfatos (fosfato de Ca, Fe) son insolubles y proveen una fuente limitante de fósforo para las plantas. 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 la diferencia entre el desarrollo estructural de los mangles de Punta Caimán y los mangles de la Laguna de Boca de Caño.

Para concluir, la principal diferencia entre los resultados químicos de fósforo de los suelos de manglar de Boca de Caño con el fósforo de los suelos de manglar de Punta Caimán, se encuentra en la fase a la cual está asociado. En Punta Caimán este nutriente puede encontrarse en una fase no biodisponible. Por otro lado, 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.



**Figura 30.** Relación entre P del extracto HCl 1 M y Ca del extracto HCl 1 M en los suelos de manglar de Punta Caimán.

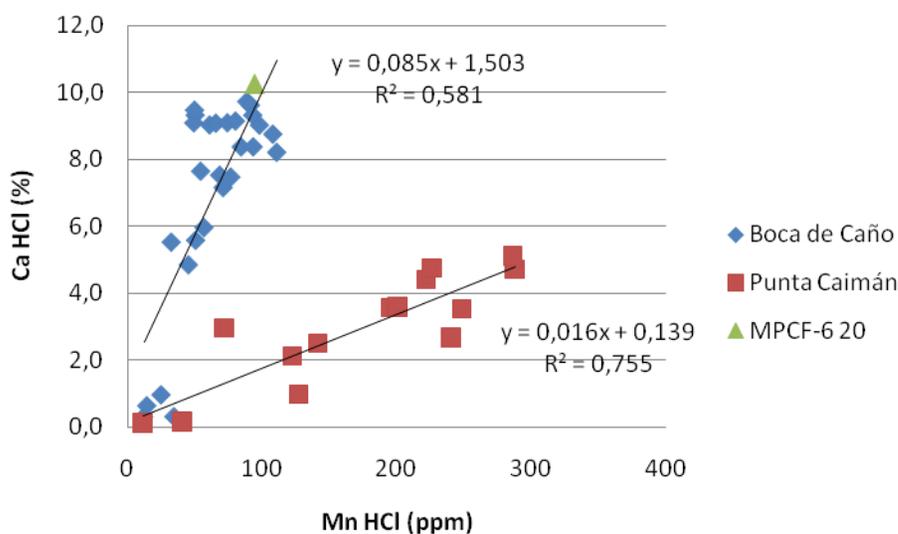


**Figura 31.** Relación entre P del extracto HNO<sub>3(c)</sub> y Fe del extracto HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de manglar de Punta Caimán.

### Manganeso

Las concentraciones de Mn en el extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 12,1 ppm y 110,7 ppm, y en Punta Caimán varían entre 11,2 pm y 288,3

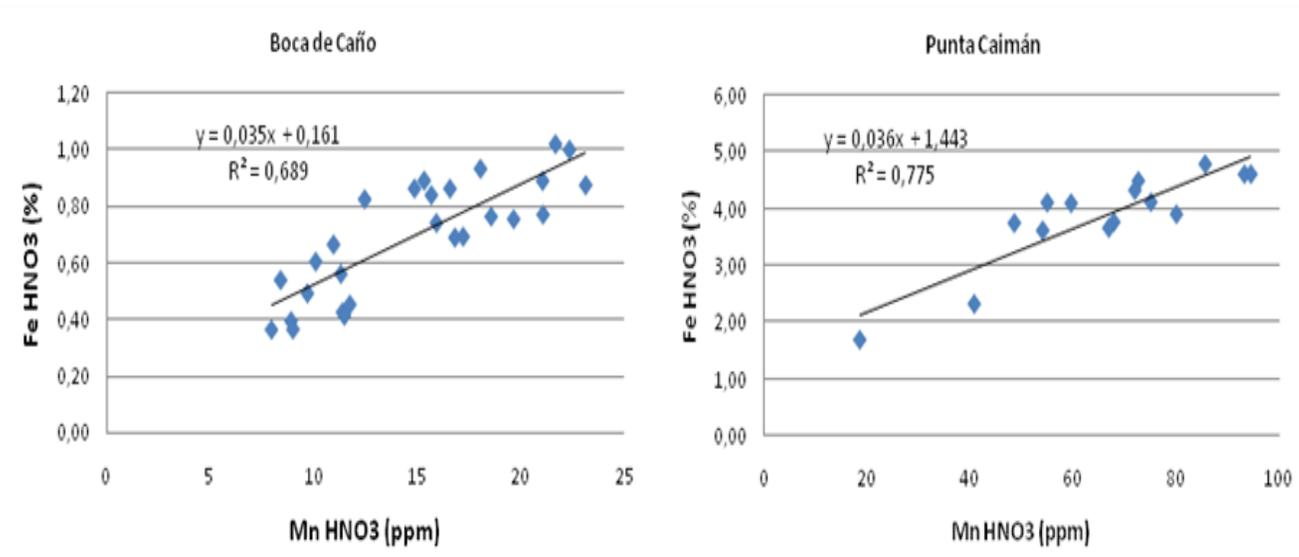
ppm. Por otra parte, la concentración de Mn en el extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$  en los suelos de Boca de Caño varía entre 8,0 ppm y 23,1 ppm, mientras que en Punta Caimán varían entre 18,7 ppm y 94,5 ppm (Tabla 30 del apéndice D). Estos valores son menores a los reportados por Marchand et al. (2009) en suelos de manglar de Brasil. También puede apreciarse que los valores de concentración de Mn en el extracto de HCl 1 M son mayores que los reportados para el extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$ , indicando que existe una mayor concentración de Mn asociado a las fases de carbonatos, oxihidróxidos amorfos y los adsorbidos a los coloides. Ahora bien, correlacionando el Mn con los demás elementos determinados, se encontró una buena correlación de Mn del extracto de HCl con el Ca del extracto de HCl (Figura 32). Por lo cual, puede deducirse que el Mn se encuentra asociado, principalmente, a la fase de los carbonatos (Marchand et al., 2006). En la Figura 32 pueden diferenciarse dos poblaciones, la primera relacionada con los suelos de Boca de Caño, y la segunda con los suelos de Punta Caimán, representado este último por manglares enanos. Por otra parte, el Mn del extracto  $\text{HNO}_3$  presenta una buena correlación con el Fe del extracto  $\text{HNO}_3$  (Figura 33). Por lo tanto, se encuentra asociado a los oxihidróxidos cristalinos de hierro (Otero et al., 2009).



**Figura 32.** Relación entre Ca del extracto HCl 1 M y Mn del extracto HCl 1 M para las diferentes zonas de estudio.

En la prueba de hipótesis realizada para determinar si existen diferencias significativas entre las diferentes poblaciones, a una probabilidad de 0,05 (Tabla 15), se obtuvo que en la zona de mangle poco desarrollado la concentración de Mn en el extracto de HCl es mayor que en la zona de mangle desarrollado. Por otra parte, puede apreciarse que la concentración de Mn del extracto de HNO<sub>3</sub> es mayor en los suelos superficiales de Punta Caimán que en los suelos superficiales de la Laguna de Boca de Caño (Tabla 15). Además, puede inferirse que la concentración de Mn no está relacionada con la zonación entre las especies de mangle, sin embargo, existen diferencias entre las zona de mangle desarrollado y con poco desarrollo, y entre los mangles enanos de Punta Caimán y los manglares de la Laguna de Boca de Caño.

El Mn es considerado micronutriente para las plantas, y en las soluciones de HCl se encuentra la fase que puede ser asimilada por las plantas, sin embargo, este elemento presenta una alta correlación con el Ca del extracto HCl, lo que puede indicar que no todo el Mn está en una fase que puede ser fácilmente asimilado por las plantas. Además, en los suelos de Punta Caimán la mayor concentración de Mn del extracto de HNO<sub>3</sub> puede deberse a que existe un mayor aporte de este elemento en oxihidróxidos cristalinos de hierro, ya que presenta una buena correlación con el hierro.



**Figura 33.** Relación entre Fe del extracto HNO<sub>3</sub> y Mn del extracto HNO<sub>3</sub> en las diferentes zonas de estudio.

**Tabla 15.** Prueba de hipótesis para Mn del extracto HCl y HNO<sub>3</sub>.

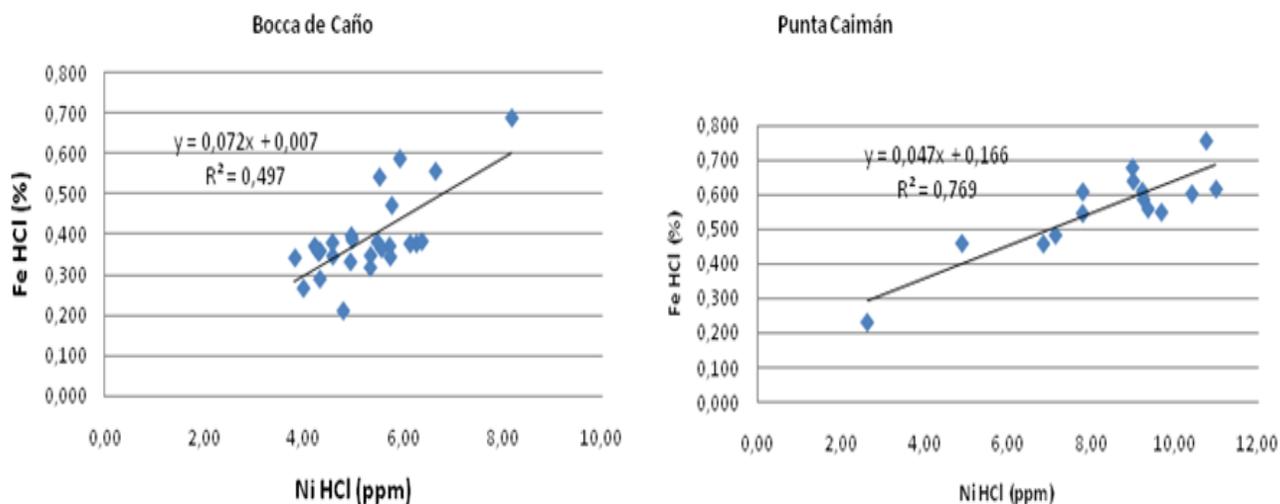
Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	1,02 (HNO <sub>3</sub> ) y 1,10 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	1,81 (HNO <sub>3</sub> ) y 3,85 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	4,17 (HNO <sub>3</sub> ) y 1,80 (HCl)	2,20

### Níquel

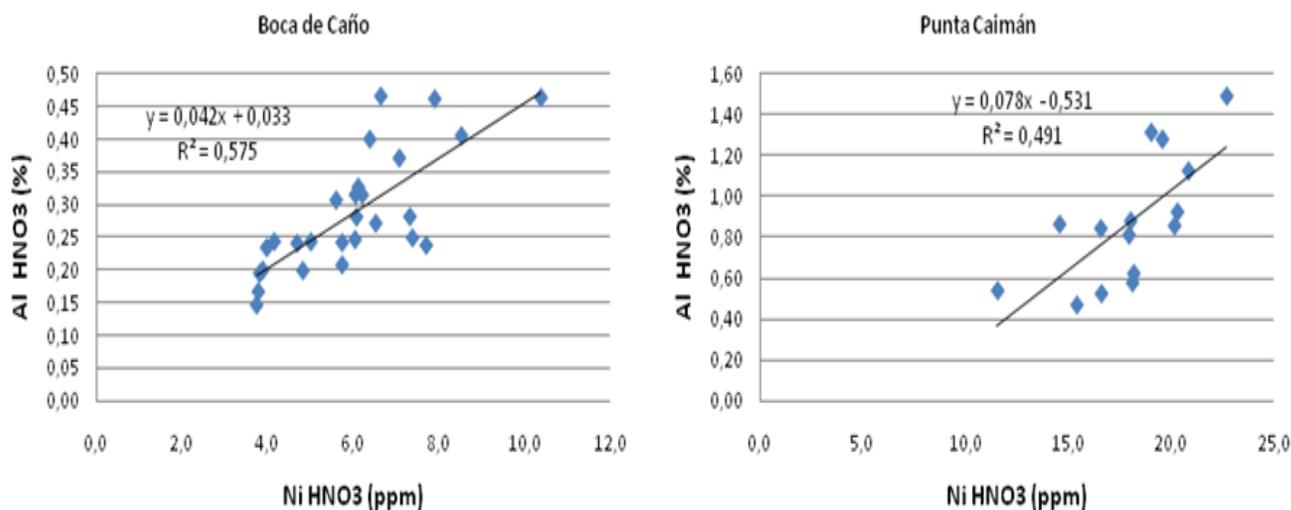
Las concentraciones de Ni en el extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 3,8 ppm y 8,2 ppm, y para Punta Caimán varían entre 2,6 ppm y 11,0 ppm. Por otra parte, la concentración de Ni en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varía entre 3,7 ppm y 10,4 ppm, mientras que en Punta Caimán varía entre 11,5 ppm y 22,7 ppm (Tabla 31 del apéndice D). La concentración de níquel total varía entre 7,9 ppm y 32,1 ppm, siendo un poco menor que a la reportada por Marchand et al. (2006), obteniendo una concentración de Ni promedio de 31,7 ppm para suelos de manglar en Brasil. Los valores de Ni del extracto de HNO<sub>3</sub> son ligeramente mayores que los reportados para el extracto de HCl. Por otro lado, la concentración de Ni del extracto HCl presenta una buena correlación con el Fe del extracto de HCl, para las dos zonas (Figura 34), por lo que puede asociarse principalmente a oxihidróxidos de hierro amorfos. Además, la concentración de Ni del extracto HNO<sub>3</sub> presenta una buena correlación con la concentración de Al del extracto de HNO<sub>3</sub> (Figura 35), esto puede inferir que el Ni extraído con HNO<sub>3</sub> se encuentra principalmente asociado a oxihidróxidos de aluminio cristalinos.

Se realizó una prueba de hipótesis con la finalidad de comparar entre las medias de las distintas poblaciones (Tabla 16), obteniendo que los suelos de manglar de Punta Caimán presentan mayores concentraciones de Ni del extracto HNO<sub>3</sub> que los suelos de manglar de Boca de Caño, pudiéndose deber a una mayor contribución de este elemento en la zona de Punta Caimán, posiblemente debido a la litología, ya que se

encontró que este elemento presenta una alta correlación con el Al del extracto de  $\text{HNO}_3$ . Asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre los suelos dominados por distintas especies de mangle, por lo que la concentración de níquel no está relacionada con la zonación de especies de mangle.



**Figura 34.** Relación entre Fe del extracto HCl 1 M y Ni del extracto HCl 1 M en suelos de manglar de Punta Caimán y en la Laguna de Boca de Caño.



**Figura 35.** Relación entre Al del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  y Ni del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  en suelos de manglar de Punta Caimán y en la Laguna de Boca de Caño.

**Tabla 16.** Prueba de hipótesis para Ni del extracto HCl y HNO<sub>3</sub>.

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	0,99 (HNO <sub>3</sub> ) y 2,39 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,03 (HNO <sub>3</sub> ) y 0,78 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	5,84 (HNO <sub>3</sub> ) y 1,18 (HCl)	2,20

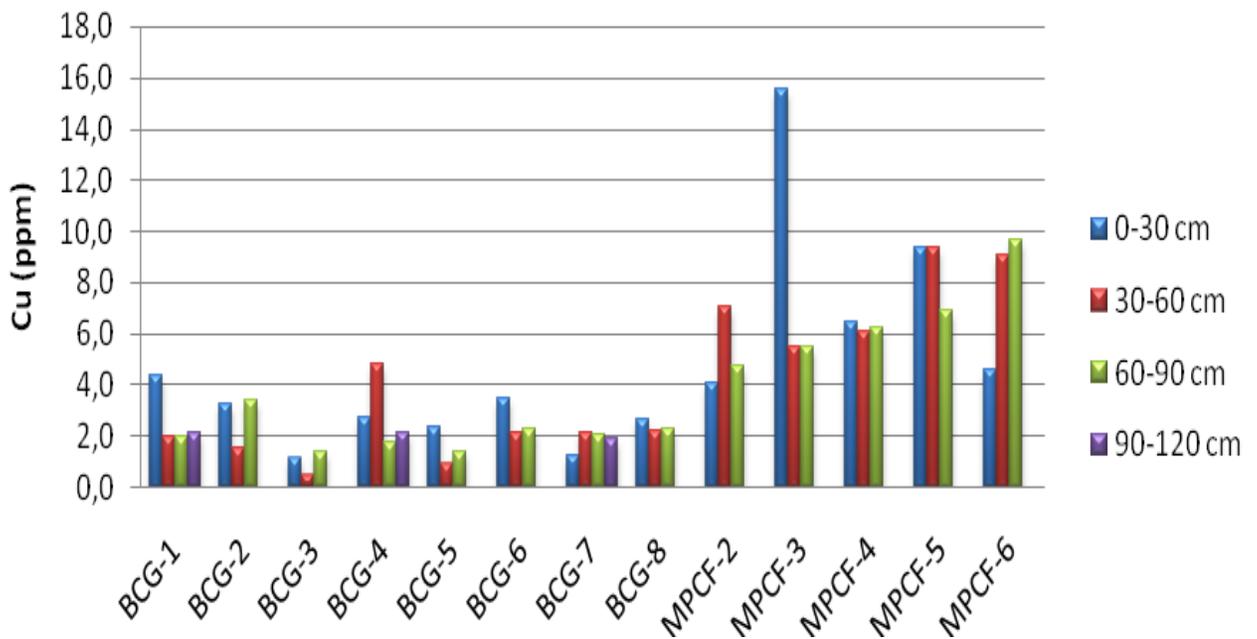
### Cobre

Las concentraciones de Cu en el extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 0,5 ppm y 4,8 ppm, y en Punta Caimán varían entre 4,1 ppm y 15,5 ppm. Por otra parte, la concentración de Cu en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varía entre 1,0 ppm y 6,5 ppm, mientras que en Punta Caimán varía entre 4,5 ppm y 10,2 ppm (Tabla 29 del apéndice D). Estos resultados son menores que los obtenidos por Clark et al. (1998), quienes encuentran concentraciones de Cu entre 10 ppm y 200 ppm en suelos de manglar de Australia. También puede apreciarse que las concentraciones de Cu del extracto HNO<sub>3(c)</sub> son mayores que las reportadas para el extracto de HCl 1 M, por lo que el Cu se encuentra principalmente asociado a fases de oxihidróxidos cristalino, sulfuros y a materia orgánica (USEPA 3050B, 1996).

Por otro lado, en la prueba de hipótesis realizada (Tabla 17) se encontró que existen diferencias significativas entre los suelos dominados por *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans*, donde los suelos dominados por *Rizophora mangle* presentan una mayor concentración de Cu en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> que los suelos dominados por *Avicennia germinans*, lo que puede indicar una mayor acumulación de Cu asociado a la materia orgánica, oxihidróxidos cristalinos o sulfuros. En cambio, no se encontraron diferencias significativas entre los suelos asociados a mangle desarrollado y a mangle poco desarrollado. Además, fue encontrado que los suelos de manglar de Punta Caimán presentan una mayor concentración de Cu tanto del extracto HNO<sub>3(c)</sub> como del extracto HCl, que los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño, por lo que en esta zona puede existir una mayor contribución de este elemento por una fuente natural (litológica)

o antrópica. Es importante resaltar que la fracción de HCl representa las fases adsorbidas, los carbonatos y los oxihidróxidos amorfos (USEPA 3050B, 1996), y resulta que en los suelos de manglar de Punta Caimán puede existir una mayor concentración de este elemento que puede ser asimilado por las plantas.

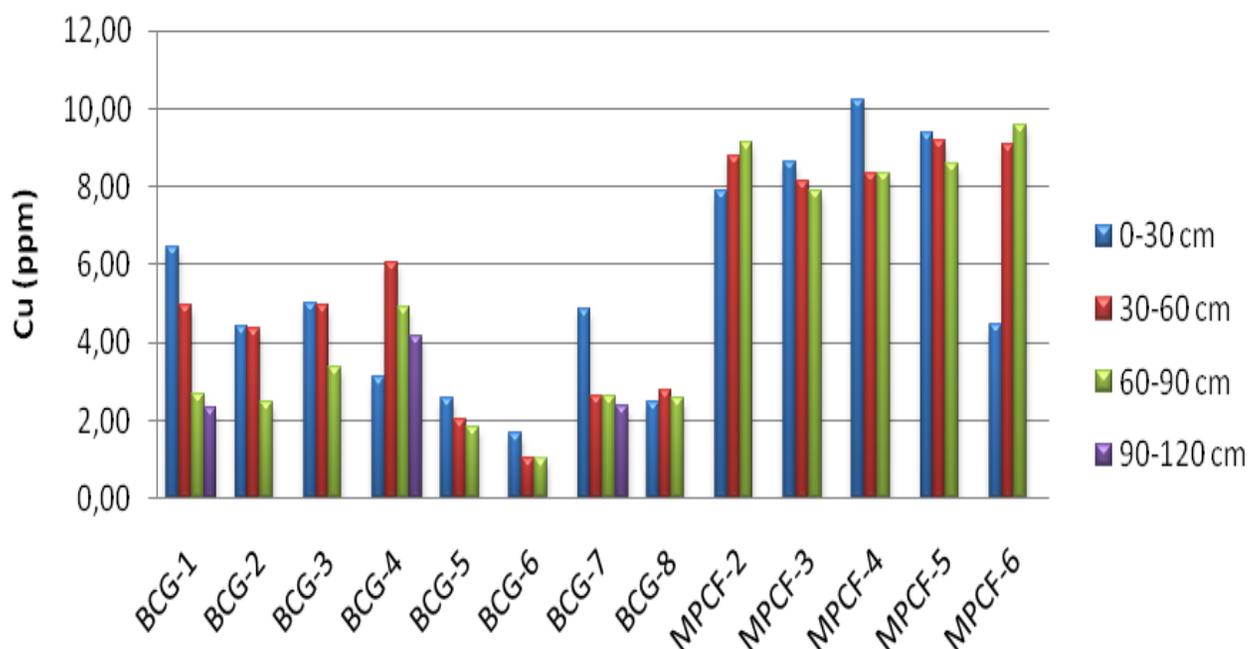
En las Figuras 36 y 37 se observa el comportamiento del Cu tanto en el extracto de HCl 1 M como en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> con la profundidad. Allí puede apreciarse que el suelo asociado a *Rizophora mangle* desarrollado (BCG-1, BCG-2 y BCG-3) presenta una disminución de Cu con la profundidad y un aumento a los 60 cm de profundidad para los puntos BCG-2 y BCG-3.



**Figura 36.** Concentración de Cu del extracto de HCl en función de la profundidad, en diferentes muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Para los suelos dominados por *Avicennia germinans* desarrollado, los puntos BCG-5 y BCG-6 presentan un comportamiento similar en relación a la concentración de Cu con la profundidad, sin embargo, el punto BCG-4 presenta un aumento en la concentración de Cu en los dos extractos a los 60 cm de profundidad. Por otra parte, la principal diferencia en los suelos de manglar poco desarrollado, es que para la parte superficial

del suelo dominado por *Rizophora mangle* (BCG-7), presenta una mayor concentración de Cu del extracto  $\text{HNO}_3$  que el suelo dominado por *Avicennia germinans* (BCG-8), pudiendo estar relacionado a un mayor aporte de materia orgánica, ya que en este último la concentración de materia orgánica es mucho menor. Por otra parte, en los suelos de Punta Caimán no hay una tendencia definida para la concentración de Cu del extracto HCl, sin embargo, la concentración de Cu del extracto  $\text{HNO}_3$  presenta un comportamiento similar a permanecer constante con la profundidad.



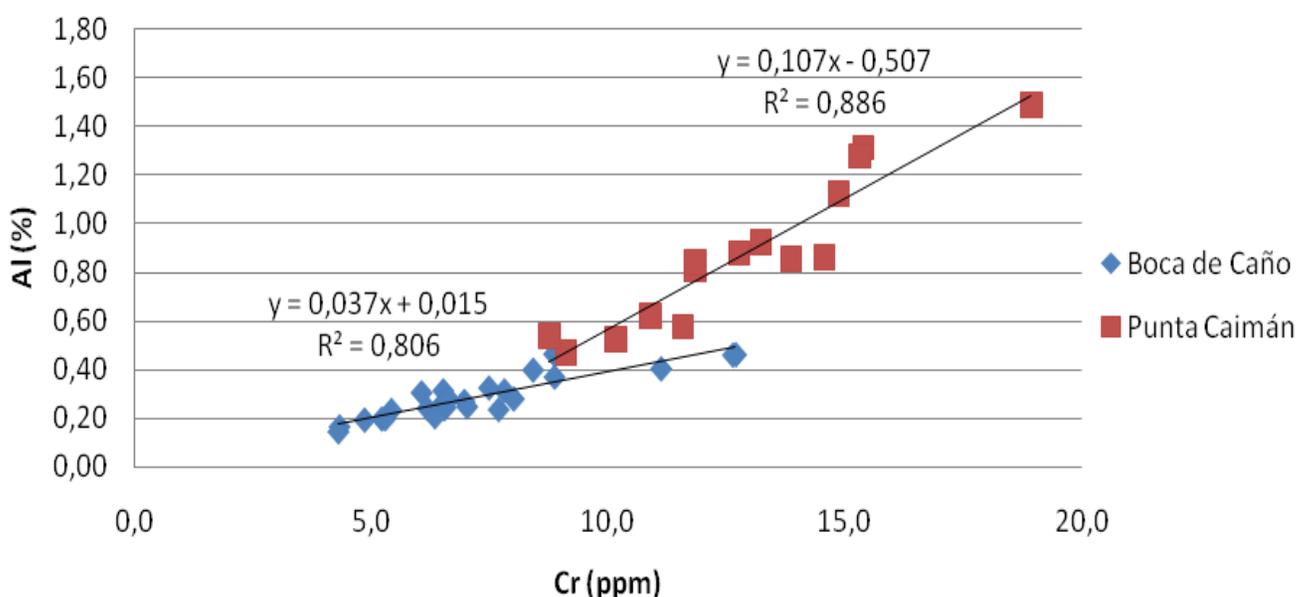
**Figura 37.** Concentración de Cu del extracto de  $\text{HNO}_3$  en función de la profundidad, en diferentes muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

**Tabla 17.** Prueba de hipótesis para Cu del extracto HCl y  $\text{HNO}_3$ .

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla $p=0,05$
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	3,88 ( $\text{HNO}_3$ ) y 0,10 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,15 ( $\text{HNO}_3$ ) y 1,06 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	4,06 ( $\text{HNO}_3$ ) y 3,18 (HCl)	2,20

## Cromo

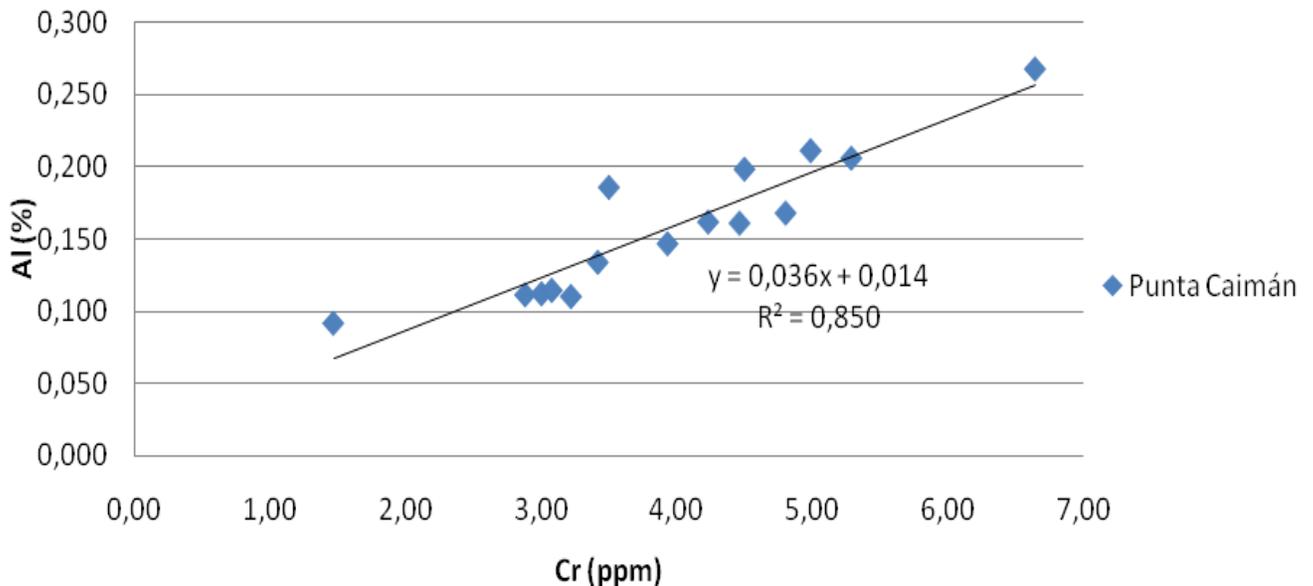
Las concentraciones de Cr en el extracto de HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 3,71 ppm y 8,12 ppm, y en Punta Caimán varían entre 1,47 ppm y 6,64 ppm. Por otra parte, la concentración de Cr en el extracto de HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varían entre 4,3 ppm y 12,7 ppm, mientras que en Punta Caimán varían entre 8,7 y 18,9 ppm (Tabla 29 del apéndice D). Estos valores son similares a los presentados por Clark et al. (1998), reportando valores de concentración de Cr entre 1 ppm y 15 ppm. También puede apreciarse que las concentraciones de Cr del extracto HNO<sub>3</sub> son mayores que las reportadas para el extracto de HCl, indicando que está relacionado principalmente a los oxihidróxidos cristalinos o a la materia orgánica (USEPA 3050B, 1996; Moreno, 2009).



**Figura 38.** Relación entre Al del extracto HNO<sub>3(c)</sub> con Cr del extracto HNO<sub>3(c)</sub> en las muestras de suelo de manglar de Boca de Caño y de Punta Caimán.

Ahora bien, en cada zona se determinó la relación existente entre el Cr con los demás elementos estudiados en el presente trabajo (C, N, Al, Fe, Mn, Ca, Ni, Cr, Pb, Cd, Hg, Cu y Zn), obteniendo que el Cr del extracto HCl 1M de los suelos de mangle de Boca de Caño no presenta una relación con ningún elemento. En cambio, el Cr del extracto

$\text{HNO}_{3(c)}$  presenta una buena correlación con el Al del extracto  $\text{HNO}_{3(c)}$  en las dos zonas, por lo que este elemento se encuentra asociado a los oxihidróxidos cristalinos de Al (Figura 38). Por otra parte, el Cr del extracto HCl en los suelos de Punta Caimán presenta una buena correlación con el Al del extracto HCl, por lo que se encuentra asociado a oxihidróxidos amorfos de Al (Figura 39).



**Figura 39.** Relación entre Al del extracto HCl con Cr del extracto HCl en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán.

Por otro lado, en la prueba de hipótesis realizada (Tabla 18) no se encontraron diferencias significativas entre los suelos dominados por diferentes especies de mangle. Sin embargo, si se encontraron diferencias entre los suelos de manglar de Punta Caimán y los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño, donde los suelos del primero presentan una mayor concentración de este elemento en el extracto de  $\text{HNO}_3$ . Por lo que en esta zona puede existir una mayor contribución de este elemento por una fuente natural (principalmente litológica) o antrópica. Ray et al. (2006) indican que el Cr proviene principalmente de una fuente litológica. Es importante resaltar que el Cr no es un micronutriente para las plantas, sin embargo, es considerado esencial para los animales, y un metal de alta importancia en el estudio ambiental (Stevenson y Cole, 1999). Sin embargo, en los suelos estudiados la concentración de Cr está por debajo de las reportadas para suelos contaminados (Araujo et al., 2010). La concentración de este

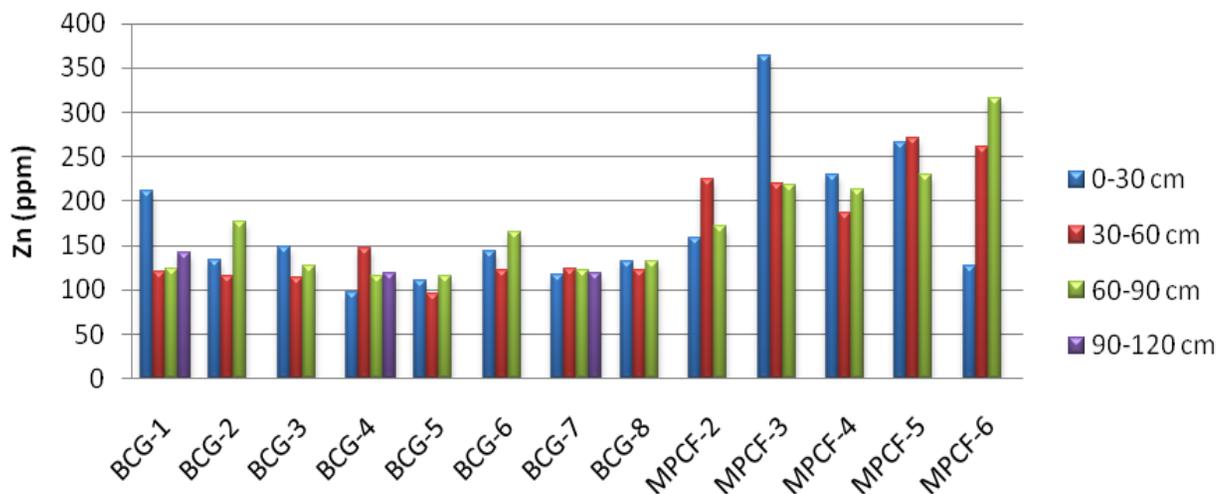
elemento no está relacionada con la zonación entre las especies de mangle, y no guarda una relación directa con el desarrollo estructural de los mangles.

**Tabla 18.** Prueba de hipótesis para Cr del extracto HCl y HNO<sub>3</sub>.

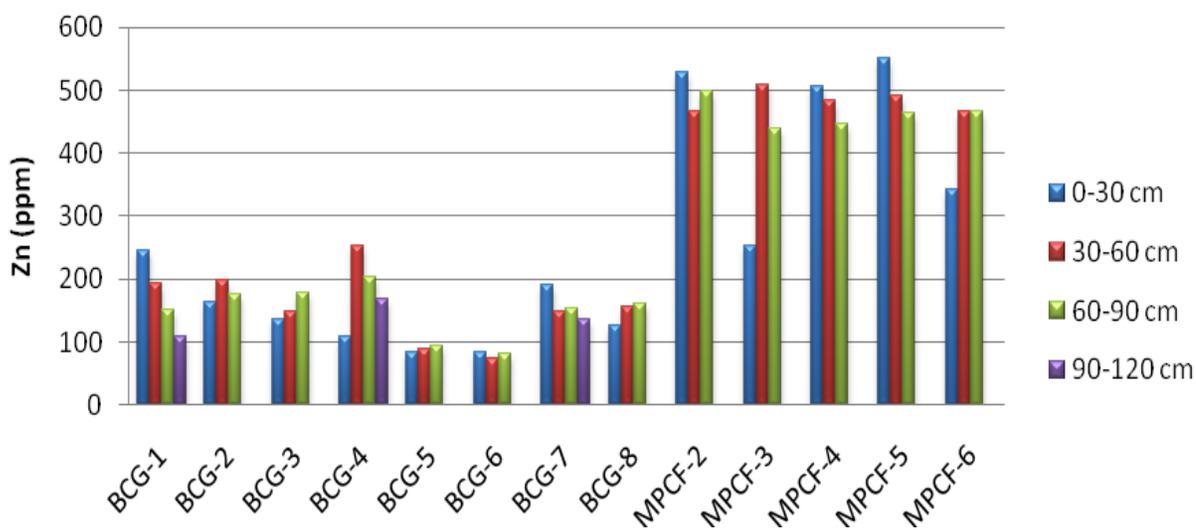
Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	0,65 (HNO <sub>3</sub> ) y 0,30 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,76 (HNO <sub>3</sub> ) y 1,20 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	2,52 (HNO <sub>3</sub> ) y 2,05 (HCl)	2,20

### Zinc

Las concentraciones de Zn en el extracto HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 94,8 ppm y 211,8 ppm, y para Punta Caimán varían entre 127,1 ppm y 364,2 ppm. Por otra parte, la concentración de Zn en el extracto de HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varía entre 73,3 ppm y 252,5 ppm, mientras que para la zona de Punta Caimán varía entre 252,8 ppm y 550,3 ppm (Tabla 32 del apéndice D). Estos valores de concentración son mayores que los obtenidos por Millán (2008) para los suelos de manglar del Norte del Golfete de Cuare, donde reporta concentraciones de Zn asociado al extracto HCl entre 84 ppm y 186 ppm, mientras que para el extracto HNO<sub>3(c)</sub> varían entre 27 ppm y 65 ppm. Por lo que en estas zonas podría existir un aporte de Zn de una fuente antrópica. De manera general, la concentración de Zn del extracto HNO<sub>3(c)</sub> es mayor que en el extracto HCl, indicando que el Zn está mayormente asociado a una fase que no es aprovechable para los organismos (oxihidróxidos cristalinos, materia orgánica y sulfuros). En la Figura 40 se muestra el comportamiento de este elemento en el extracto HCl con la profundidad, y en la Figura 41 se observa la variación de Zn del extracto HNO<sub>3</sub> con la profundidad. Allí puede observarse que este elemento presenta un comportamiento similar al explicado para el cobre, por lo que deben estar asociados a la misma fase del suelo.



**Figura 40.** Concentración de Zn en el extracto de HCl en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).



**Figura 41.** Concentración de Zn en el extracto de HNO<sub>3</sub> en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Por otra parte, en la prueba de hipótesis realizada (Tabla 19) no se encontraron diferencias significativas entre las especies de mangle y entre el desarrollo estructural de estos en Boca de Caño. Sin embargo, se encontró que la concentración de Zn del extracto de HCl y HNO<sub>3</sub> es mayor en los suelos de manglar de Punta Caimán que en los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño. Por lo tanto, los suelos de

mangles enanos de Punta Caimán presentan una alta concentración de Zn, la cual puede estar relacionada con el desarrollo del mangle.

**Tabla 19.** Prueba de hipótesis para Zn del extracto HCl y HNO<sub>3</sub>.

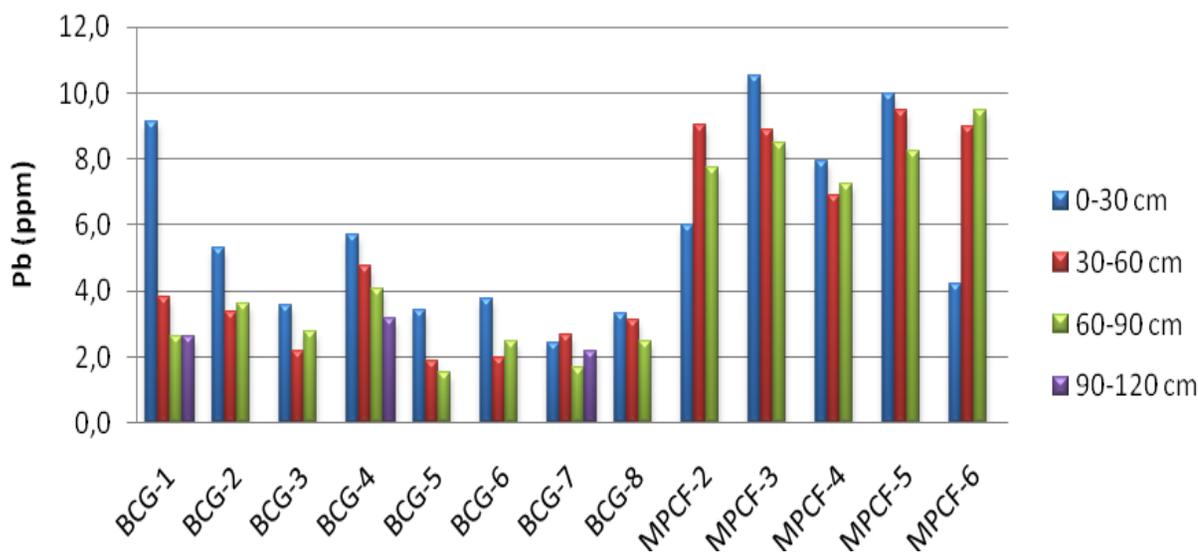
Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	2,60 (HNO <sub>3</sub> ) y 1,73 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,48 (HNO <sub>3</sub> ) y 0,57 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	5,70 (HNO <sub>3</sub> ) y 2,57 (HCl)	2,20

### Plomo

Las concentraciones de Pb en el extracto HCl 1 M en los suelos de Boca de Caño varían entre 1,5 ppm y 9,1 ppm, y para la zona de Punta Caimán varían entre 4,2 ppm y 10,3 ppm. Por otra parte, la concentración de Pb en el extracto HNO<sub>3(c)</sub> en los suelos de Boca de Caño varía entre 0,5 ppm y 3,3 ppm, mientras que para los suelos de Punta Caimán varía entre 3,6 ppm y 8,0 ppm (Tabla 31 del apéndice D). Estos valores son menores que los reportados por Clark et al. (1998) y por Marchand et al. (2006), obteniendo valores entre 10 ppm y 125 ppm y 26,9 ppm respectivamente. Por lo que en estas zonas el Pb puede provenir de una fuente natural. De manera general se observa que la concentración de Pb del extracto HCl es mayor que la del extracto HNO<sub>3</sub>, lo que indica que el Pb está asociado principalmente a la fase adsorbida, los carbonatos y los oxihidróxidos amorfos (Moreno, 2009; USEPA 3050B, 1996). Es posible que este elemento esté asociado a la fase adsorbida a minerales de arcillas y materia orgánica (Clark et al., 1998), lo que resulta de gran interés ambiental ya que está en una fase disponible para las plantas (Sparks, 2003).

En los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño se observa que el Pb asociado al extracto de HCl disminuye con la profundidad (Figura 42), pudiéndose deber a que existe un aporte de este elemento a nivel superficial. En cambio, la concentración de Pb del extracto HNO<sub>3</sub> en esta misma zona no varía significativamente

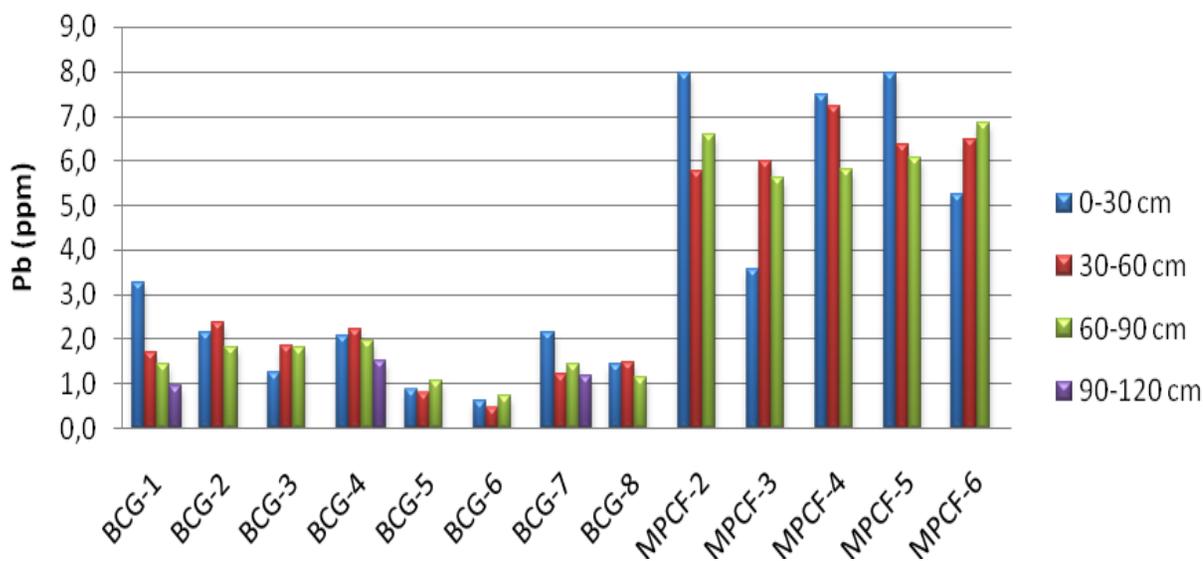
con la profundidad (Figura 43). Ahora bien, en los suelos de Punta Caimán la concentración de Pb del extracto HCl presenta dos tendencias generales (Figura 42), donde en los puntos MPCF-2 (zona de transición *Rizophora* y *Avicennia*) y MPCF-6 (*Avicennia germinans*) tiende a aumentar con la profundidad, el caso contrario ocurre para los puntos MPCF-3 (*Avicennia germinans*), MPCF-4 (*Rizophora mangle*) y MPCF-5 (*Avicennia seca*). Por otra parte, en la Figura 43 puede observarse que en los suelos de Punta Caimán se presentan dos tendencias generales de la concentración de Pb del extracto HNO<sub>3</sub> en función de la profundidad. Destacándose que para los puntos MPCF-3 y MPCF-6 la concentración de Pb tiende a aumentar con la profundidad, y para los puntos MPCF-2, MPCF-4 y MPCF-5, tiende a disminuir. Es importante resaltar que para el punto MPCF-3 la concentración de Pb del extracto HNO<sub>3</sub> a nivel superficial es menor que en otros puntos de la misma zona, posiblemente debido a que existe una oxidación de sulfuros, debido a que el suelo se encuentra hacia el centro de la isla y existe mayor drenaje (Otero et al., 2009).



**Figura 42.** Concentración de Pb del extracto de HCl en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

En la prueba de hipótesis realizada (Tabla 20) para determinar diferencias en las muestras de suelo en función de las concentraciones de Pb de los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub> no se obtuvieron diferencias en los suelos dominados por distintas especies de

mangle, ni en los suelos asociados a mangle desarrollado y mangle poco desarrollado. En general, los suelos de manglar de Punta Caimán presentan una mayor concentración de Pb en los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub> que los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño. Por lo que, en la zona de Punta Caimán existe una fuente importante que aporta plomo a los suelos, pudiéndose deber principalmente a un aporte litológico, ya que en esta zona se presentan algunos carbones (González et al., 1980), y los mismos pueden presentar sulfuros de Pb (Holland y Turekian, 2003). Sin embargo, es importante resaltar que en la zona de Punta Caimán existe además una actividad antrópica que puede ser una fuente importante de Pb, como son las lanchas a motor así como la refinería de Cardón. Debido a esto, es importante conocer la fase a la cual está asociado este elemento, ya que si está adsorbido a la superficie de minerales (extracto HCl) puede ser peligroso para las plantas y animales (Stevenson y Cole 1999).



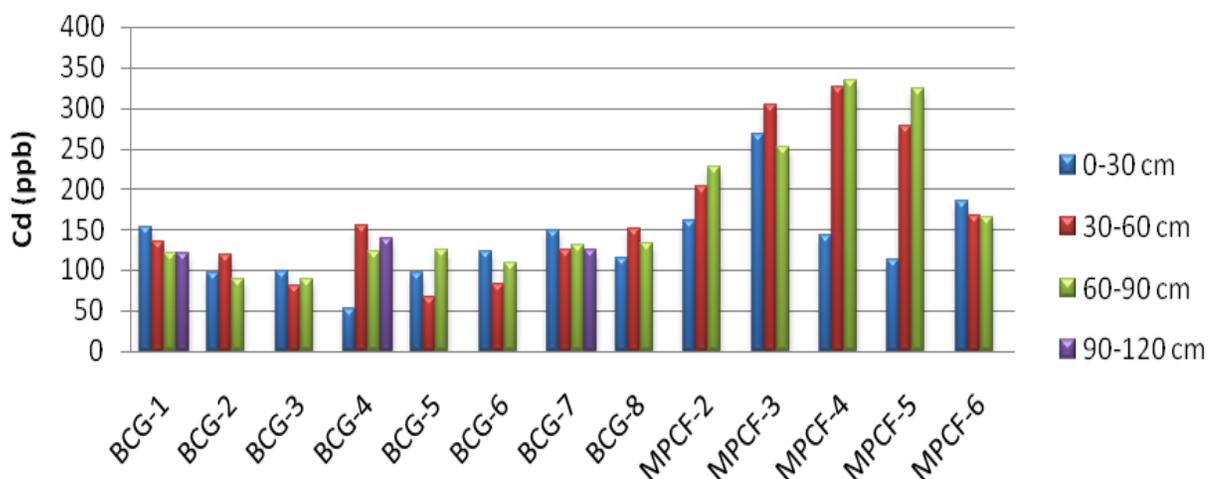
**Figura 43.** Concentración de Pb del extracto de HNO<sub>3</sub> en función de la profundidad, en las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

**Tabla 20.** Prueba de hipótesis para Pb del extracto HCl y HNO<sub>3</sub>.

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	1,39 (HNO <sub>3</sub> ) y 0,95 (HCl)	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	0,12 (HNO <sub>3</sub> ) y 1,40 (HCl)	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	6,09 (HNO <sub>3</sub> ) y 2,38 (HCl)	2,20

### Cadmio

En la Tabla 28 del apéndice D se presentan los resultados de Cd del extracto de HCl, ya que no se determinó para el extracto de HNO<sub>3</sub>, porque la concentración en este extracto se encontraba por debajo del límite de detección del equipo. Debido a que la desviación es alta (20 ppb), en muchos puntos de muestreo no se puede definir un comportamiento con la profundidad, ya que, los valores de concentración se asemejan. Sin embargo, para los puntos BCG-4, MPCF-2, MPCF-4 y MPCF-5 las concentraciones de Cd del extracto de HCl aumentan con la profundidad (Figura 44).



**Figura 44.** Concentración de Cd en función de la profundidad para muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la laguna de Boca de Caño (BCG).

En la prueba de hipótesis realizada para determinar si existen diferencias entre poblaciones con respecto al Cd del extracto HCl (Tabla 21), no se encontraron diferencias entre los suelos dominados por distintas especies de mangle, ni por los suelos asociados a mangle desarrollado y mangle poco desarrollado de Boca de Caño. No obstante, se determinó que los suelos de manglar de Punta Caimán son ligeramente mayores en concentración de Cd en el extracto de HCl que los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño. Por lo que debe existir un aporte importante de este elemento a la zona de Punta Caimán, posiblemente una fuente litológica, ya que en esta zona se presentan carbones (González et al., 1980) y los mismo pueden presentar sulfuros de Cd (Holland y Turekian, 2003). Por otra parte, Stevenson y Cole (1999) reportan que los suelos no contaminados presentan una concentración de Cd por debajo de los 2 ppm, iguales resultados reporta Clark et al. (1998), y en el presente estudio la concentración máxima de Cd determinada fue de 323 ppb, lo que puede indicar que el aporte de Cd es principalmente litológico.

**Tabla 21.** Prueba de hipótesis para Cd del extracto HCl.

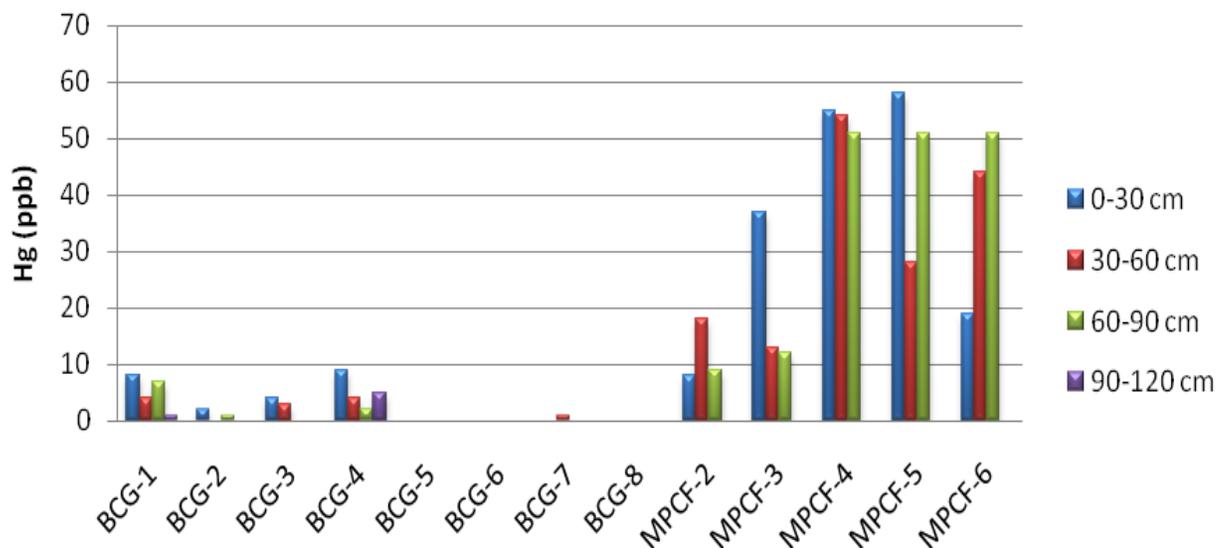
Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Especies de mangle (BCG-1 a BCG-3 con BCG-4 a BCG-6)	0,90	2,78
Mangle desarrollado y poco desarrollado (BCG-1 a BCG-6 con BCG-7 a BCG-8)	1,10	2,45
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	2,53	2,20

### Mercurio

En la Tabla 32 del apéndice D están reportados los resultados de concentración de Hg en los suelos de manglar. Allí puede observarse que en muchas muestras de suelo de manglar de la Laguna de Boca de Caño no es detectado este elemento, por lo cual está presente en una concentración menor al límite de detección del instrumento. Además, la desviación determinada experimentalmente fue  $\pm 5$  ppb, y los resultados obtenidos en los suelos de Boca de Caño varían entre 1 ppb y 9 ppb, por lo cual no existen

diferencias entre cada muestra de suelo de manglar de Boca de Caño. Por su parte, en los suelos de manglar de Punta Caimán los valores varían entre 8 ppb y 58 ppb.

En la Figura 45 puede observarse que para los puntos MPCF-2 y MPCF-4 la concentración de Hg no varía significativamente, ya que la desviación es muy alta. Por otra parte, los suelos de MPCF-3, MPCF-5 y MPCF-6 presentan diferentes tendencias en función de la profundidad. Los resultados de concentración de mercurio en el presente trabajo resultan menores que los reportados por Clark et al. (1998) y que los reportados por Marchand et al. (2006), el primero reporta valores entre 100 ppb a 68.000 ppb, mientras que el segundo reporta concentración promedio de 82.000 ppb. Por lo que este elemento puede estar asociado a una fuente natural, principalmente litológica.



**Figura 45.** Concentración de Hg en función de la profundidad en muestras de suelo de manglar.

Al realizar la prueba de hipótesis (Tabla 22), se obtuvo que existen diferencias significativas entre los suelos de la Laguna de Boca de Caño y los suelos de Punta Caimán, donde los suelos en Punta Caimán presentan mayor concentración de Hg. Por lo que se puede inferir que en esta zona el aporte de Hg a los suelos es mayor, posiblemente por una fuente litológica, ya que en esta zona hay carbones (González et

al., 1980) y posiblemente pueden presentar concentraciones importantes de Hg (Holland y Turekian, 2003).

**Tabla 22.** Prueba de hipótesis para Hg.

Poblaciones a comparar	t calculada	t tabla p=0,05
Entre Punta Caimán y Boca de Caño	4,21	2,20

Las concentración de Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn y Pb asociados al extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$ , las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd asociados al 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.

Los suelos de manglar de Punta Caimán se diferencian principalmente de los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño por poseer una alta concentración de Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn y Pb asociados al extracto de  $\text{HNO}_{3(c)}$ , de Cu, Zn, Pb y Cd asociado al extracto HCl 1M, y de Hg. Lo cual puede estar influenciado por la litología presente en la cuenca hidrográfica del río Mitare, ya que en esta cuenca se encuentran carbones y lutitas carbonosas pertenecientes a las formaciones de Agua Clara, Codore, Socorro y Urumaco (González et al., 1980). Los carbones pueden presentar alto contenido de sulfuros de metales, ya que, en la génesis de los carbones, se favorecen las condiciones fisicoquímicas para la reducción de los metales y del sulfato (Holland y Turekian, 2003). Según Holland y Turekian (2003), algunos de los minerales que pueden estar presentes en los carbones son la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), galena  $\text{PbS}$ , esfalerita ( $(\text{Zn,Cd})\text{S}$ ) y calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ). Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos por difracción de rayos X (DRX), no se detectaron sulfuros. En el apéndice E se presentan los resultados de DRX, donde para la Laguna de Boca de Caño, los principales minerales detectados fueron cuarzo, halita, plagioclasa, calcita y caolinita. En cambio, para el punto de MPCF-3 de Punta Caimán, se detectaron cuarzo, halita, caolinita, calcita y oxihidróxidos de hierro. Las diferencias con la profundidad encontradas en el punto BCG-2 fue que a medida que aumentaba la profundidad se detectaron minerales de calcita y caolinita. Por otra parte, los cambios encontrados en el punto de muestreo MPCF-3, indica que a medida que aumenta la profundidad se detectaron oxihidróxidos

de hierro y calcita. La principal diferencia entre MPCF-3 y BCG-2, es que en este último punto se encontraron plagioclasas, posiblemente porque en la Península de Paraguaná existe mayor aporte de plagioclasas, debido al Granito de Paraguaná y por el Complejo Ultramáfico de Paraguaná (González et al., 1980).

## CONCLUSIONES

De manera general el Eh disminuye con la profundidad en los suelos de manglar, y los suelos de Punta Caimán presentan Eh relativamente mayores que los encontrados en la Laguna de Boca de Caño. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas de valores de Eh en función de la especie de mangle.

Los suelos de manglar de la Laguna de Boca de Caño presentan pH relativamente más ácidos que los suelos de manglar de Punta Caimán. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los suelos dominados por distintas especies de mangle.

Los suelos dominados por *Avicennia germinans* presentan mayor salinidad que los suelos dominados por *Rizophora mangle*. Por otro lado, no se encontraron diferencias en la salinidad entre los suelos de Boca de Caño y los suelos de Punta Caimán.

En los suelos asociados a los manglares de las zonas de la Laguna de Boca de Caño existe mayor acumulación de materia orgánica en comparación con los suelos de manglar de Punta Caimán, debido a que en este último existe una removilización de materia orgánica por efecto de las mareas y por un menor aporte.

La concentración de nitrógeno en los suelos de Boca de Caño y los suelos de Punta Caimán es similar. Sin embargo, la relación C/N es mayor en los suelos de Boca de Caño que en los suelos de Punta Caimán, indicando que existe una mineralización de la materia orgánica por actividad de microorganismos, y una fijación del nitrógeno.

En los suelos de manglar de Punta Caimán el fósforo se encuentra asociado a los oxihidróxidos de hierro y 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 de manglar de Boca de Caño el P se encuentra asociado al carbono orgánico, indicando que no existe deficiencia del mismo.

Las concentración de Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn y Pb asociados al extracto de  $\text{HNO}_3(c)$ , las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd asociados al 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.

## RECOMENDACIONES

Determinar la composición química cada 5 cm de profundidad en los núcleos recolectados, con la finalidad de comprender la variación en función de la profundidad con mayor detalle.

Determinar la concentración de azufre en las muestras de suelo, con la finalidad de conocer la variación en función de la profundidad, y las diferencias entre los suelos asociados a diferentes especies de mangle.

Realizar un análisis por medio de la técnica de microscopía electrónica de barrido acoplado a un detector de energía dispersiva de rayos X (MEB con EDX), con la finalidad de determinar la composición elemental de los granos que componen el suelo.

Aplicar estadística multivariada con la finalidad de agrupar variables y determinar posibles procesos que estén involucrados en los suelos de manglar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allaby, M. y Garratt, R. 2006. Tropical forests. Chelsea House. Hong Kong. 272 pp.
- Alongi, D. 2009. The energetics of mangrove forests. Springer. New York, USA. 216 pp.
- Araujo, Q.; Krause, R.; Santana, S.; Araujo, T.; Mendonça, J. y Trindade, A. 2010. Evaluation of heavy metals in mangrove soil of the Graciosa River in Bahia Brazil. ASA, CSSA Y SSSA International Annual Meetings.
- Barreto, M. 2008. Diagnostics about the state of mangroves in Venezuela: case studies from the National Park Morrocoy and Wildlife Refuge Cuare. Task for Vegetation Science. 51-64.
- Bisbal, F. 2001. Estudio preliminar de los vertebrados del refugio laguna Boca de Caño, península de Paraguaná, estado Falcón. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Dirección de Fauna. 17 pp.
- Bohn, H.; Mcneal, B. y O'Connor, G. 2001. Soil Chemistry. 3era Edición. John Wiley and Sons. New York, USA. 307 pp.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. 2da Edición. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas. 482 pp.
- Clark, M.; McConchie, D.; Lewis, D. y Saenger, P. 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in Avicennia-dominated mangrove sediment: a geochemical model. Chemical Geology 149, 147-171.
- Díaz, R. 2008. Estudio de la composición química y mineralógica de suelos de manglares del Parque Nacional Morrocoy. Trabajo Especial de Grado. Universidad

Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Departamento de Geoquímica. 92 pp.

Drever, J. 1997. The Geochemistry of Natural Waters Surface and Groundwater Environments. 3era Edición. Prentice Hall. USA. 436 pp.

Ferreira, T.; Vidal-Torrado, P.; Otero, X. y Macias, F. 2007. Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil. *Catena* 70, 79-91.

Foth, H. 1990. Fundamentals of Soil Science. 8va Edición. John Wiley and Sons. New York, USA. 360 pp.

González, C.; Iturralde, J. y Picard, X. 1980. Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves. Caracas. 1031 pp.

Holland, H. y Turekian, K. 2003. Treatise on Geochemistry. Vol. 7, Ch. 7.08. Elsevier Science Ltd. New York, USA. 7800 pp.

Jackson, M. 1976. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 662 pp.

Janaki-Raman, D.; Jonathan, M.; Srinivasalu, S.; Armstrong-Altrin, J.; Mohan, S. y Ram-Mohan, V. 2007. Trace metal enrichments in core sediments in Muthupet mangroves, SE coast of India: Application of acid leachable technique. *Environmental Pollution*. 145. 245-257.

Kamaruzzaman, B.; Antotina, A.; Airiza, Z.; Syalindran, S. y Ong, M. 2007. The geochemical profile of Mn, Co, Cu and Fe in Kerteh mangrove forest, Terengganu. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. Vol 11. No 2. 336-339.

- Kathiresan, K. y Brigham, L. 2001. Biology of mangrove and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40, 81-251.
- Kristensen, E.; Bouillon S.; Dittmar, T. y Marchand, C. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* 89. 201-219.
- Lallier-Verges, E.; Perrussel, B.; Disnar, J. y Baltzer, F. 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*. Vol 29. No 5-7. 1663-1686 pp.
- MacFarlane, G.; Pulkownik, A. y Burchett, M. 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potencial. *Environmental Pollution* 123. 139-151.
- Marchand, C.; Lallier-Verges, E.; Baltzer, F.; Albéric, P.; Cossa, D. y Baillif, P. 2006. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Marine Chemistry*. 98. 1-17.
- Méndez, J. 2006. Petrología. PDVSA-INTEVEP. Caracas. 363 pp.
- Moreno, R. 2009. Caracterización geoquímica de los sedimentos de fondo de la zona este del Golfo de Cuare y su zona próxima costera, estado Falcón. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Departamento de Geoquímica. 73 pp.
- Millán, A. 2008. Estudio geoquímica de los suelos asociados a diferentes unidades de vegetación en un bosque de manglar, ubicado al Norte del Golfo de Cuare, Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. 193 pp.

- Miller, J. y Miller, J. 2002. Estadística y quimiometría para química analítica. 4ta Edición. Prentice Hall. España. 278 pp.
- 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
- Naidoo, G. 2009. Differential effects of nitrogen and phosphorus enrichment on growth of dwarf *Avicennia marina* mangrove. *Aquatic Botany* 90. 184-190.
- Otero, X.; Ferreira, T.; Huerta-Díaz, M.; Partiti, C.; Souza, V.; Vidal-Torrado, P. y Macías, F. 2009. Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Cananeia – SP, Brazil). *Geoderma* 148. 318-335.
- Prasad, M. y Ramanathan, A. 2008. Sedimentary nutrient dynamics in a tropical estuarine mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80. 60-66.
- Perry, C. y Taylor, K. 2007. *Environmental sedimentology*. Blackwell Publishing. Singapore. 441 pp.
- Pannier, F. y Pannier, R. 1989. *Manglares de Venezuela. Cuadernos Lagoven*. Caracas. 67 pp.
- Progene, M.; Da Costa, M. y Berrêdo, J. 2010. Continental and marine contributions to formation of mangrove sediments in an eastern Amazonian mudplain: the case of the Marapanim Estuary. *Journal of South American Earth Sciences* 29, 427-438.
- Raga, E. 2006. Caracterización de suelos y aguas intersticiales en manglares degradados en el Golfete de Cuare, Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado.

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.  
Departamento de Geoquímica. 87 pp.

Ray, A.; Tripathy, S.; Patra, S. y Sarma, V. 2006. Assessment of Godavari Estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. *Environment International*, vol. 32 (2). 219-223.

Rivera, A. 2008. Optimización de metodología analítica para la determinación de fósforo en sustratos geológicos. Tesis Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Departamento de Geoquímica. 64 pp.

Robertson, A. y Alongi, D. 1992. Tropical mangrove ecosystems. American Geophysical Union. Washington, DC. 330 pp.

Sarkar, B. 2002. Heavy metals in the environment. Marcel Dekker, inc. New York. 725 pp.

Skoog, D.; Holler, F. y Nieman, T. 2001. Principios de análisis instrumental. 5ta edición. McGraw Hill. Madrid, España. 1028 pp.

Soil Survey Staff, 2010. Keys to soil taxonomy. 11. ed. United States Department of Agriculture–Natural Resources Conservation Service. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC. 338 pp.

Sparks, D. 2003. Environmental soil chemistry. 2da Edición. Elsevier Science. New York. 352 pp.

Stevenson, F. y Cole, M. 1999. Cycles of soil. 2da Edición. John Wiley and Sons, INC. New York. 427 pp.

USEPA 3050B, 1996. Acid digestion of sediments, sludges and soils. EPA, revision 2. 12 p.

Walkley, A. y Black, I. 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*. Elsevier Science. Amsterdam, Nederland. 239 pp.

Zhang, F.; Wang, Y.; Lou, Z. y Dong, J. 2007. Effect of heavy metal stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of two mangrove plant seedlings (*Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*). *Chemosphere* 67. 44-50.

## APÉNDICES

### Apéndice A

**Tabla 23.** Descripción física de los núcleos de suelo.

Muestra	Vegetación	Color	Textura	Observaciones	Profundidad
<b>MPCF-1</b>	Rizophora mangle, norte de Punta Caimán	Primeros 5 cm color marrón, de 5-15 cm marrón oscuro	Lodosa	Presenta mayor cantidad de M.O. entre 5 y 15 cm. Conchas menores a los 5 mm.	20 cm
<b>MPCF-2</b>	Rizophora mangle y Avicennia germinans, norte de Punta Caimán	5 a 6 cm y de 12 a 13 cm una franja de óxido de hierro. A partir de los 14 cm marrón oscuro.	Lodosa, con una franja arenosa de 2 a 5 cm de profundidad.	Mayor cantidad de M.O. a 28 cm de prof y a los primeros 2 cm de profundidad. Raíces a lo largo del núcleo.	30 cm
<b>MPCF-3</b>	Avicennia germinans, norte de Punta Caimán.	2-5 cm color negro. Resto del núcleo marrón grisáceo.	Lodosa.	Raíces a lo largo del núcleo. M.O. hasta los 5 cm de profundidad.	30 cm
<b>MPCF-4</b>	Rizophora mangle, Punta Caimán.	De 2-4 cm de profundidad el color es negro, a los 5 cm una franja de óxido de hierro.	Lodosa	Raíces a lo largo del núcleo. Numerosas conchas	30 cm
<b>MPCF-5</b>	Avicennia germinans seca. Punta Caimán.	0-3 cm Color gris. 3-9 cm color marrón.	Lodosa	Raíces a lo largo del perfil.	9 cm
<b>MPCF-6</b>	Avicennia germinans. Sur de Punta Caimán	0-5 cm Color gris. 6 cm color rojo. 8-13 cm color marrón.	Arenoso los primeros 5 cm, a mayor profundidad más lodosa.	No se observa presencia de M.O. numerosas conchas.	13 cm
<b>BCG-1</b>	Rizophora mangle, Norte la laguna Boca de Caño.	Color negro los primeros 5 cm, a mayor profundidad color marrón oscuro.	Lodosa	Raíces grandes de 10-17 cm de profundidad. Presenta Raíces pequeñas a lo largo del núcleo. Presenta M.O. a lo largo del núcleo.	35 cm
<b>BCG-2</b>	Rizophora mangle, Norte la laguna Boca de Caño.	Color negro hasta los 4 cm, resto marrón oscuro.	Lodosa	Raíces a lo largo del núcleo. Presenta M.O. en todo el núcleo.	20 cm
<b>BCG-3</b>	Rizophora mangle, Norte la laguna Boca de Caño.	Color negro hasta los 4 cm, resto marrón oscuro.	Lodosa	Raíces a lo largo del núcleo. Presenta M.O. en todo el núcleo.	15 cm.
<b>BCG-4</b>	Avicennia germinans. Norte de la laguna Boca de Caño	Color marrón oscuro hasta los 4 cm, el resto del núcleo es marrón.	Lodosa	Pocas conchas, raíces a lo largo del núcleo. Presenta M.O. a lo largo del núcleo	20 cm
<b>BCG-5</b>	Avicennia germinans. Norte de la laguna Boca de Caño	Color marrón oscuro hasta los 4 cm, el resto del núcleo es marrón.	Lodosa	Pocas conchas, raíces a lo largo del núcleo. Presenta M.O. a lo largo del núcleo	26 cm
<b>BCG-6</b>	Avicennia germinans. Norte de la laguna Boca de Caño	Color marrón oscuro hasta los 4 cm, el resto del núcleo es marrón.	Lodosa	Pocas conchas, raíces a lo largo del núcleo. Presenta M.O. a lo largo del núcleo	15 cm
<b>BCG-7</b>	Rizophora mangle. Este de la laguna Boca de Caño.	Color Verde grisáceo en todo el núcleo, menos entre los 14 y 15 cm que presenta un color rojo.	Arenosa	Raíces a lo largo del núcleo. Presenta pocas conchas.	20 cm
<b>BCG-8</b>	Avicennia germinans. Este de la laguna Boca de Caño.	Marrón grisáceo	Arenosa	No presenta mucha M.O. en todo el núcleo, solo los primeros 2 cm. Pocas raíces.	20 cm

## Apéndice B

**Tabla 24.** Eh y pH en las muestras de suelo de manglar en Punta Caimán y la Laguna de Boca de Caño.

Muestra	Profundidad (cm)	Eh (mv)	pH ( $\pm 0,1$ )
BCG-1 25	25	nm	nm
BCG-1 60	60	-192	6,7
BCG-1 82	82	-230	6,8
BCG-1 94	94	-310	6,8
BCG-2 25	25	-75	6,7
BCG-2 82	82	-275	6,9
BCG-2 112	112	-220	6,7
BCG-3 25	25	-310	6,7
BCG-3 55	55	-306	6,6
BCG-3 88	88	-322	6,7
BCG-4 25	25	-283	6,8
BCG-4 64	64	-326	6,6
BCG-4 100	100	-334	6,7
BCG-4 115	115	-344	6,9
BCG-5 25	25	nm	6,9
BCG-5 59	59	nm	7,0
BCG-5 80	80	nm	7,0
BCG-6 25	25	nm	7,0
BCG-6 60	60	nm	6,9
BCG-6 90	90	nm	6,9
BCG-7 25	25	nm	7,0
BCG-7 58	58	nm	7,0
BCG-7 80	80	nm	6,8
BCG-7 95	95	nm	6,9
BCG-8 25	25	nm	7,1
BCG-8 53	53	nm	7,0
BCG-8 75	75	nm	7,0
MPCF-2 20	20	-31	7,2
MPCF-2 80	80	-277	8,1
MPCF-2 100	100	-439	8,1
MPCF-3 20	20	-192	6,9
MPCF-3 70	70	-235	7,8
MPCF-3 100	100	-266	7,8
MPCF-4 S	0	-145	7,5
MPCF-4 75	75	-178	7,7
MPCF-4 110	110	-222	7,8
MPCF-5 20	20	-38	7,4
MPCF-5 50	50	-60	7,4
MPCF-5 110	110	-83	7,5
MPCF-6 20	20	-170	7,6
MPCF-6 60	60	-130	8,0
MPCF-6 85	85	-163	7,8

**Tabla 25.** Iones ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ ) y salinidad de las muestras de agua.

<b>Muestra</b>	<b><math>\text{Na}^+</math> (mg/L)</b>	<b><math>\text{Cl}^-</math> (mg/L)</b>	<b><math>\text{Cl}^- *</math> (mg/L)</b>	<b>Salinidad (‰)</b>
<b>BCG-1</b>	12600		22633	40,9
<b>BCG-2</b>	14254		25604	46,2
<b>BCG-3</b>	14514		26071	47,1
<b>BCG-4</b>	14668		26348	47,6
<b>BCG-5</b>	17948		32240	58,2
<b>BCG-6</b>	18330		32926	59,5
<b>BCG-7</b>	15210		27322	49,3
<b>BCG-8</b>	16428		29510	53,3
<b>MPCF-2</b>	14900	25700		46,4
<b>MPCF-3</b>	21100	39000		70,4
<b>MPCF-4</b>	17300	30700		55,4
<b>MPCF-5</b>	17100	30700		55,4
<b>MPCF-6</b>	17600	33800		61,0
<b>agua mar PC</b>	13520	23900		43,2

$\text{Cl}^- *$ : concentración de cloruro calculada por la relación  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  de 0,56.

## Apéndice C

**Tabla 26.** Carbono, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno, fósforo del extracto HCl y fósforo del extracto HNO<sub>3</sub> en muestras de suelo.

Muestra	N ( $\pm 0,05$ %)	C org ( $\pm 0,01\%$ )	C ( $\pm 0,5$ %)	C inorg ( $\pm 0,5$ %)	P HCl ( $\pm 8$ ppm)	P HNO <sub>3</sub> ( $\pm 10$ ppm)
BCG-1 25	0,41	5,34	5,7	0,3	287	121
BCG-1 60	0,16	2,20	2,5	0,3	376	73
BCG-1 82	0,15	1,00	1,5	0,5	425	59
BCG-1 94	0,16	0,83	1,5	0,6	418	66
BCG-2 25	0,42	7,34	8,1	0,8	169	142
BCG-2 82	0,21	1,34	2,1	0,8	390	100
BCG-2 112	0,17	0,56	1,2	0,7	467	59
BCG-3 25	0,34	6,40	7,0	0,6	775	176
BCG-3 55	0,29	3,71	6,2	2,5	818	163
BCG-3 88	0,25	0,68	2,3	1,6	543	94
BCG-4 25	0,79	8,20	12,9	4,7	197	183
BCG-4 64	0,37	3,16	8,7	5,6	294	114
BCG-4 100	0,19	1,40	5,6	4,2	349	73
BCG-4 115	0,13	0,44	2,3	1,8	363	59
BCG-5 25	0,23	1,92	5,2	3,3	356	80
BCG-5 59	0,14	0,91	2,1	1,2	437	52
BCG-5 80	0,14	0,62	2,5	1,9	463	38
BCG-6 25	0,35	4,46	5,2	0,8	363	94
BCG-6 60	0,12	0,59	2,5	1,9	439	45
BCG-6 90	0,16	0,27	1,7	1,4	446	52
BCG-7 25	0,22	2,75	4,3	1,6	428	72
BCG-7 58	0,12	0,23	1,8	1,6	450	114
BCG-7 80	0,11	0,42	2,3	1,8	404	100
BCG-7 95	0,14	0,37	2,1	1,8	446	100
BCG-8 25	0,25	0,59	2,0	1,4	425	121
BCG-8 53	0,22	0,33	2,0	1,6	410	128
BCG-8 75	0,16	0,32	1,3	1,0	416	155
MPCF-2 20	0,21	0,72	0,9	0,2	354	347
MPCF-2 80	0,25	0,63	0,9	0,2	333	292
MPCF-2 100	0,10	0,21	0,8	0,6	278	319
MPCF-3 20	0,43	5,46	5,9	0,4	331	181
MPCF-3 70	0,13	0,26	0,9	0,6	334	327
MPCF-3 100	0,20	0,26	0,8	0,5	294	287
MPCF-4 S	0,29	0,65	0,9	0,2	230	257
MPCF-4 75	0,17	0,56	0,9	0,4	237	285
MPCF-4 110	0,17	0,52	0,9	0,4	286	258
MPCF-5 20	0,21	0,66	0,8	0,1	169	334
MPCF-5 50	0,19	0,63	0,8	0,2	224	293
MPCF-5 110	0,17	0,65	0,9	0,3	264	223
MPCF-6 20	0,18	0,53	3,8	3,2	569	374
MPCF-6 60	0,36	1,00	1,2	0,2	196	298
MPCF-6 85	0,16	0,76	1,1	0,3	210	285

**Tabla 27.** Relación C/N en muestras de suelo de Punta Caimán y de la Laguna Boca de Caño.

<b>Muestra</b>	<b>C/N (<math>\pm 1</math>)</b>
BCG-1 25	13
BCG-1 60	14
BCG-1 82	7
BCG-1 94	5
BCG-2 25	18
BCG-2 82	6
BCG-2 112	3
BCG-3 25	19
BCG-3 55	13
BCG-3 88	3
BCG-4 25	10
BCG-4 64	9
BCG-4 100	7
BCG-4 115	3
BCG-5 25	8
BCG-5 59	6
BCG-5 80	4
BCG-6 25	13
BCG-6 60	5
BCG-6 90	2
BCG-7 25	12
BCG-7 58	2
BCG-7 80	4
BCG-7 95	3
BCG-8 25	2
BCG-8 53	1
BCG-8 75	2
MPCF-2 20	3
MPCF-2 80	3
MPCF-2 100	2
MPCF-3 20	13
MPCF-3 70	2
MPCF-3 100	1
MPCF-4 S	2
MPCF-4 75	3
MPCF-4 110	3
MPCF-5 20	3
MPCF-5 50	3
MPCF-5 110	4
MPCF-6 20	3
MPCF-6 60	3
MPCF-6 85	5

## Apéndice D

**Tabla 28.** Concentración de Al y Ca de los extractos de HCl 1 M y HNO<sub>3(c)</sub> y concentración de Cd del extracto de HCl 1 M, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Muestra	Al HCl ( $\pm 0,002$ %)	Al HNO <sub>3</sub> ( $\pm 0,02$ %)	Ca HCl ( $\pm 0,1$ %)	Ca HNO <sub>3</sub> ( $\pm 0,03$ %)	Cd HCl ( $\pm 20$ ppb)
BCG-1 25	0,148	0,46	0,3	0,10	152
BCG-1 60	0,134	0,31	5,6	0,30	135
BCG-1 82	0,123	0,25	7,5	0,62	121
BCG-1 94	0,118	0,20	7,1	0,27	121
BCG-2 25	0,126	0,41	0,3	0,08	96
BCG-2 82	0,142	0,47	4,8	0,53	119
BCG-2 112	0,155	0,37	6,0	0,30	89
BCG-3 25	0,120	0,24	1,0	0,09	98
BCG-3 55	0,129	0,23	5,5	0,41	81
BCG-3 88	0,129	0,31	9,3	0,80	89
BCG-4 25	0,151	0,46	0,7	0,16	52
BCG-4 64	0,149	0,40	9,1	1,22	155
BCG-4 100	0,137	0,33	9,0	0,85	122
BCG-4 115	0,142	0,31	8,4	0,56	140
BCG-5 25	0,115	0,20	9,5	0,61	96
BCG-5 59	0,099	0,17	9,1	0,82	66
BCG-5 80	0,104	0,15	9,1	0,50	125
BCG-6 25	0,128	0,24	7,6	0,43	124
BCG-6 60	0,094	0,19	9,1	0,51	82
BCG-6 90	0,102	0,24	8,4	0,46	108
BCG-7 25	0,136	0,28	7,5	0,34	149
BCG-7 58	0,107	0,27	9,0	0,40	125
BCG-7 80	0,116	0,28	9,7	0,56	130
BCG-7 95	0,108	0,24	9,6	0,39	126
BCG-8 25	0,110	0,21	9,3	0,44	115
BCG-8 53	0,104	0,25	8,7	0,34	151
BCG-8 75	0,114	0,24	8,2	0,28	133
MPCF-2 20	0,111	0,58	2,5	0,12	160
MPCF-2 80	0,147	0,81	3,6	0,15	203
MPCF-2 100	0,112	0,62	4,4	0,21	227
MPCF-3 20	0,186	0,86	0,1	0,01	267
MPCF-3 70	0,114	0,53	4,8	0,18	305
MPCF-3 100	0,110	0,47	3,6	0,22	252
MPCF-4 S	0,162	0,92	2,7	0,22	142
MPCF-4 75	0,134	0,86	4,7	0,26	326
MPCF-4 110	0,161	0,84	5,1	0,20	334
MPCF-5 20	0,198	1,49	0,1	0,03	113
MPCF-5 50	0,206	1,12	1,0	0,08	278
MPCF-5 110	0,168	0,88	3,5	0,17	323
MPCF-6 20	0,091	0,54	10,3	0,96	184
MPCF-6 60	0,211	1,31	3,0	0,29	168
MPCF-6 85	0,268	1,28	2,1	0,19	165

**Tabla 29.** Concentración de Cr y Cu de los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Muestra	Cr HCl (± 0,06 ppm)	Cr HNO <sub>3</sub> (± 0,7 ppm)	Cu HCl (± 0,2 ppm)	Cu HNO <sub>3</sub> (± 0,04 ppm)
BCG-1 25	5,18	12,7	4,3	6,46
BCG-1 60	5,15	7,8	2,0	4,95
BCG-1 82	5,98	6,6	2,0	2,69
BCG-1 94	5,95	5,2	2,1	2,33
BCG-2 25	3,74	11,1	3,3	4,42
BCG-2 82	6,31	8,8	1,5	4,34
BCG-2 112	8,12	8,9	3,4	2,45
BCG-3 25	4,02	6,4	1,2	5,01
BCG-3 55	4,14	5,4	0,5	4,93
BCG-3 88	6,74	6,0	1,4	3,34
BCG-4 25	3,71	12,6	2,7	3,10
BCG-4 64	4,62	8,4	4,8	6,06
BCG-4 100	5,05	7,5	1,7	4,89
BCG-4 115	6,18	6,5	2,1	4,16
BCG-5 25	3,78	5,3	2,3	2,55
BCG-5 59	5,14	4,3	0,9	2,03
BCG-5 80	5,88	4,3	1,4	1,82
BCG-6 25	4,92	6,5	3,5	1,65
BCG-6 60	5,19	4,8	2,1	1,05
BCG-6 90	6,75	6,4	2,3	1,01
BCG-7 25	5,46	8,0	1,3	4,84
BCG-7 58	4,54	7,0	2,1	2,64
BCG-7 80	4,56	6,6	2,0	2,62
BCG-7 95	4,80	6,2	1,9	2,35
BCG-8 25	4,33	6,3	2,6	2,45
BCG-8 53	4,68	7,0	2,2	2,79
BCG-8 75	4,90	7,7	2,3	2,54
MPCF-2 20	2,88	11,6	4,1	7,86
MPCF-2 80	3,93	11,8	7,1	8,76
MPCF-2 100	3,00	10,9	4,7	9,12
MPCF-3 20	3,50	14,6	15,5	8,63
MPCF-3 70	3,08	10,1	5,5	8,13
MPCF-3 100	3,22	9,1	5,5	7,89
MPCF-4 S	4,23	13,2	6,5	10,21
MPCF-4 75	3,42	13,9	6,1	8,34
MPCF-4 110	4,46	11,8	6,2	8,35
MPCF-5 20	4,50	18,9	9,4	9,40
MPCF-5 50	5,29	14,9	9,3	9,20
MPCF-5 110	4,80	12,8	6,9	8,56
MPCF-6 20	1,47	8,7	4,6	4,47
MPCF-6 60	4,99	15,4	9,0	9,07
MPCF-6 85	6,64	15,3	9,7	9,57

**Tabla 30.** Concentración de Fe y Mn de los extractos de HCl 1 M y HNO<sub>3(c)</sub>, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Muestra	Fe HCl (± 0,007 %)	Fe HNO3 (± 0,07 %)	Mn HCl (± 3 ppm)	Mn HNO3 (± 2 ppm)
BCG-1 25	0,690	1,00	35	22
BCG-1 60	0,379	0,87	51	15
BCG-1 82	0,372	0,74	68	16
BCG-1 94	0,474	0,56	71	11
BCG-2 25	0,378	0,67	12	11
BCG-2 82	0,384	0,87	45	17
BCG-2 112	0,558	0,89	57	15
BCG-3 25	0,589	0,54	25	8
BCG-3 55	0,398	0,61	33	10
BCG-3 88	0,388	0,83	50	12
BCG-4 25	0,212	0,43	14	11
BCG-4 64	0,319	1,02	49	22
BCG-4 100	0,334	0,94	61	18
BCG-4 115	0,349	0,84	84	16
BCG-5 25	0,268	0,37	50	8
BCG-5 59	0,291	0,46	66	12
BCG-5 80	0,346	0,50	74	10
BCG-6 25	0,382	0,40	54	9
BCG-6 60	0,348	0,37	80	9
BCG-6 90	0,543	0,42	93	12
BCG-7 25	0,366	0,89	77	21
BCG-7 58	0,360	0,76	98	20
BCG-7 80	0,343	0,77	89	19
BCG-7 95	0,357	0,69	91	17
BCG-8 25	0,372	0,70	93	17
BCG-8 53	0,364	0,77	108	21
BCG-8 75	0,381	0,88	111	23
MPCF-2 20	0,459	4,62	142	93
MPCF-2 80	0,586	4,50	196	73
MPCF-2 100	0,483	4,80	222	86
MPCF-3 20	0,603	1,68	11	19
MPCF-3 70	0,678	4,62	227	95
MPCF-3 100	0,639	4,12	201	75
MPCF-4 S	0,608	4,33	241	72
MPCF-4 75	0,458	3,91	288	80
MPCF-4 110	0,546	3,77	286	68
MPCF-5 20	0,559	4,11	41	55
MPCF-5 50	0,616	4,10	128	60
MPCF-5 110	0,610	3,66	249	67
MPCF-6 20	0,230	2,32	95	41
MPCF-6 60	0,549	3,75	72	49
MPCF-6 85	0,756	3,62	123	54

**Tabla 31.** Concentración de Ni y Pb de los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub>, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Muestra	Ni HCl (± 0,05 ppm)	Ni HNO3 (± 0,7 ppm)	Pb HCl (± 0,2 ppm)	Pb HNO3 (± 0,2 ppm)
BCG-1 25	8,18	10,4	9,1	3,3
BCG-1 60	6,26	6,1	3,8	1,7
BCG-1 82	5,72	6,0	2,6	1,5
BCG-1 94	5,77	4,8	2,6	1,0
BCG-2 25	6,14	8,5	5,3	2,1
BCG-2 82	6,37	6,6	3,3	2,4
BCG-2 112	6,65	7,1	3,6	1,8
BCG-3 25	5,93	4,2	3,6	1,2
BCG-3 55	4,95	4,0	2,2	1,9
BCG-3 88	4,97	5,6	2,8	1,8
BCG-4 25	4,79	7,9	5,7	2,1
BCG-4 64	5,33	6,4	4,8	2,2
BCG-4 100	4,93	6,1	4,1	2,0
BCG-4 115	5,34	6,2	3,2	1,5
BCG-5 25	3,99	3,9	3,4	0,9
BCG-5 59	4,32	3,8	1,9	0,8
BCG-5 80	5,74	3,7	1,5	1,1
BCG-6 25	5,47	4,7	3,8	0,6
BCG-6 60	4,58	3,8	2,0	0,5
BCG-6 90	5,52	5,0	2,5	0,7
BCG-7 25	5,56	7,3	2,4	2,1
BCG-7 58	4,32	6,5	2,7	1,2
BCG-7 80	3,82	6,1	1,7	1,4
BCG-7 95	4,29	5,7	2,2	1,2
BCG-8 25	4,21	5,7	3,3	1,4
BCG-8 53	4,26	7,4	3,1	1,5
BCG-8 75	4,57	7,7	2,5	1,1
MPCF-2 20	4,91	18,1	6,0	8,0
MPCF-2 80	9,25	18,0	9,0	5,8
MPCF-2 100	7,14	18,2	7,7	6,6
MPCF-3 20	10,40	14,6	10,5	3,6
MPCF-3 70	8,98	16,6	8,9	6,0
MPCF-3 100	9,00	15,4	8,5	5,6
MPCF-4 S	7,79	20,3	7,9	7,5
MPCF-4 75	6,85	20,2	6,9	7,2
MPCF-4 110	7,79	16,6	7,3	5,8
MPCF-5 20	9,35	22,7	10,0	8,0
MPCF-5 50	10,98	20,9	9,5	6,3
MPCF-5 110	9,22	18,0	8,2	6,0
MPCF-6 20	2,64	11,5	4,2	5,3
MPCF-6 60	9,68	19,0	9,0	6,5
MPCF-6 85	10,75	19,6	9,5	6,8

**Tabla 32.** Concentración de Zn de los extractos de HCl y HNO<sub>3</sub> y Hg, para las muestras de suelo de manglar de Punta Caimán (MPCF) y de la Laguna de Boca de Caño (BCG).

Muestra	Zn HCl ( $\pm 2$ ppm)	Zn HNO <sub>3</sub> ( $\pm 20$ ppm)	Hg ( $\pm 5$ ppb)
BCG-1 25	212	244	8
BCG-1 60	120	192	4
BCG-1 82	123	151	7
BCG-1 94	141	109	1
BCG-2 25	134	162	2
BCG-2 82	115	197	nd
BCG-2 112	177	174	1
BCG-3 25	149	135	4
BCG-3 55	113	147	3
BCG-3 88	127	178	nd
BCG-4 25	97	109	9
BCG-4 64	146	253	4
BCG-4 100	115	202	2
BCG-4 115	119	167	5
BCG-5 25	110	83	nd
BCG-5 59	95	88	nd
BCG-5 80	116	95	nd
BCG-6 25	144	84	nd
BCG-6 60	122	73	nd
BCG-6 90	166	81	nd
BCG-7 25	116	191	nd
BCG-7 58	124	148	1
BCG-7 80	122	152	nd
BCG-7 95	119	136	nd
BCG-8 25	131	127	nd
BCG-8 53	122	157	nd
BCG-8 75	131	161	nd
MPCF-2 20	158	528	8
MPCF-2 80	224	466	18
MPCF-2 100	172	499	9
MPCF-3 20	364	253	37
MPCF-3 70	220	509	13
MPCF-3 100	217	439	12
MPCF-4 S	230	506	55
MPCF-4 75	187	484	54
MPCF-4 110	212	447	51
MPCF-5 20	265	550	58
MPCF-5 50	272	492	28
MPCF-5 110	230	464	51
MPCF-6 20	127	343	19
MPCF-6 60	262	466	44
MPCF-6 85	316	465	51

nd: no detectado.

## Apéndice E

### BCG-2 25cm menor a 2mm

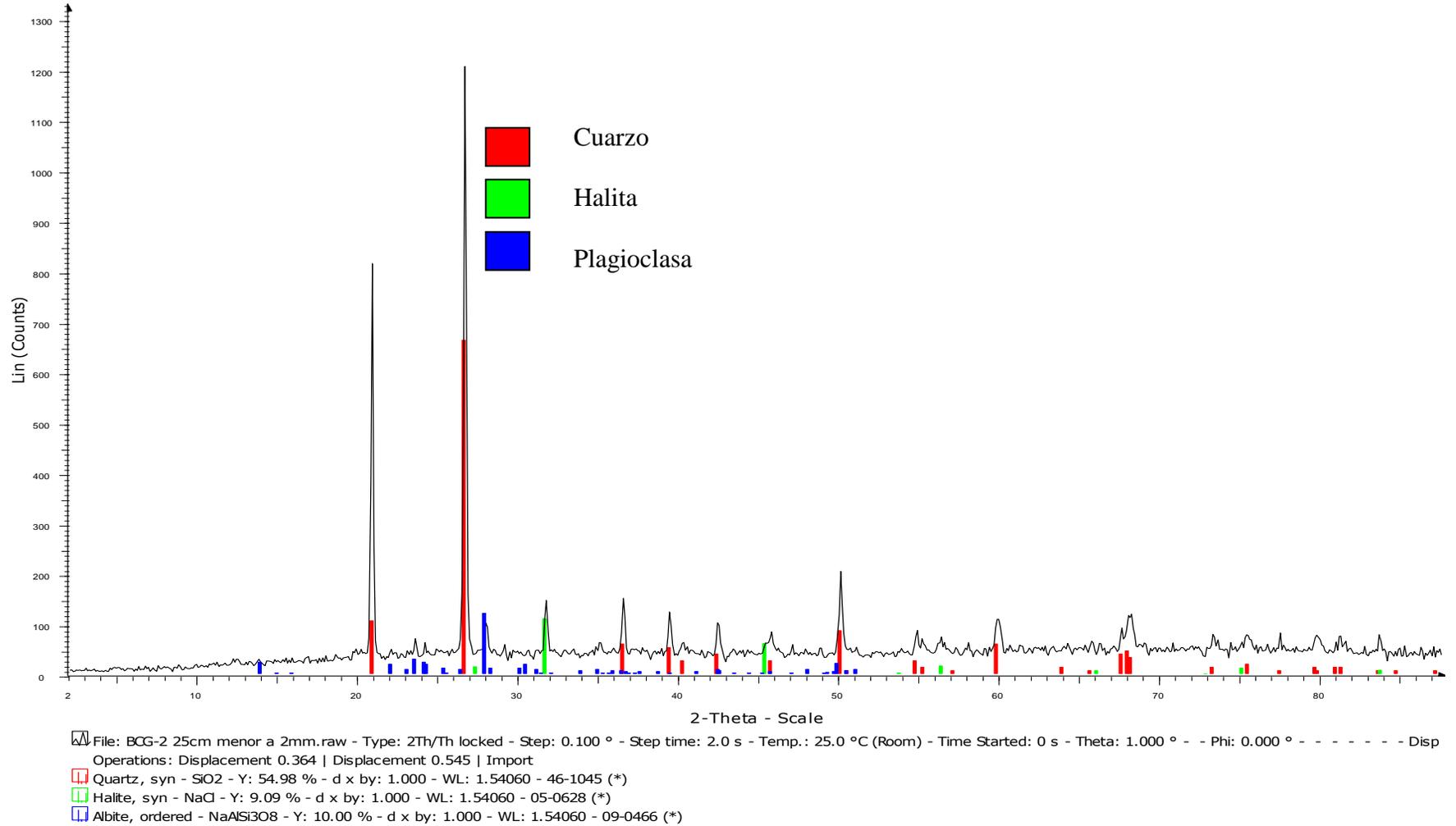


Figura 46. Difractograma de rayos X de la muestra BCG-2 25.

# BCG-2 82cm menor a 2mm

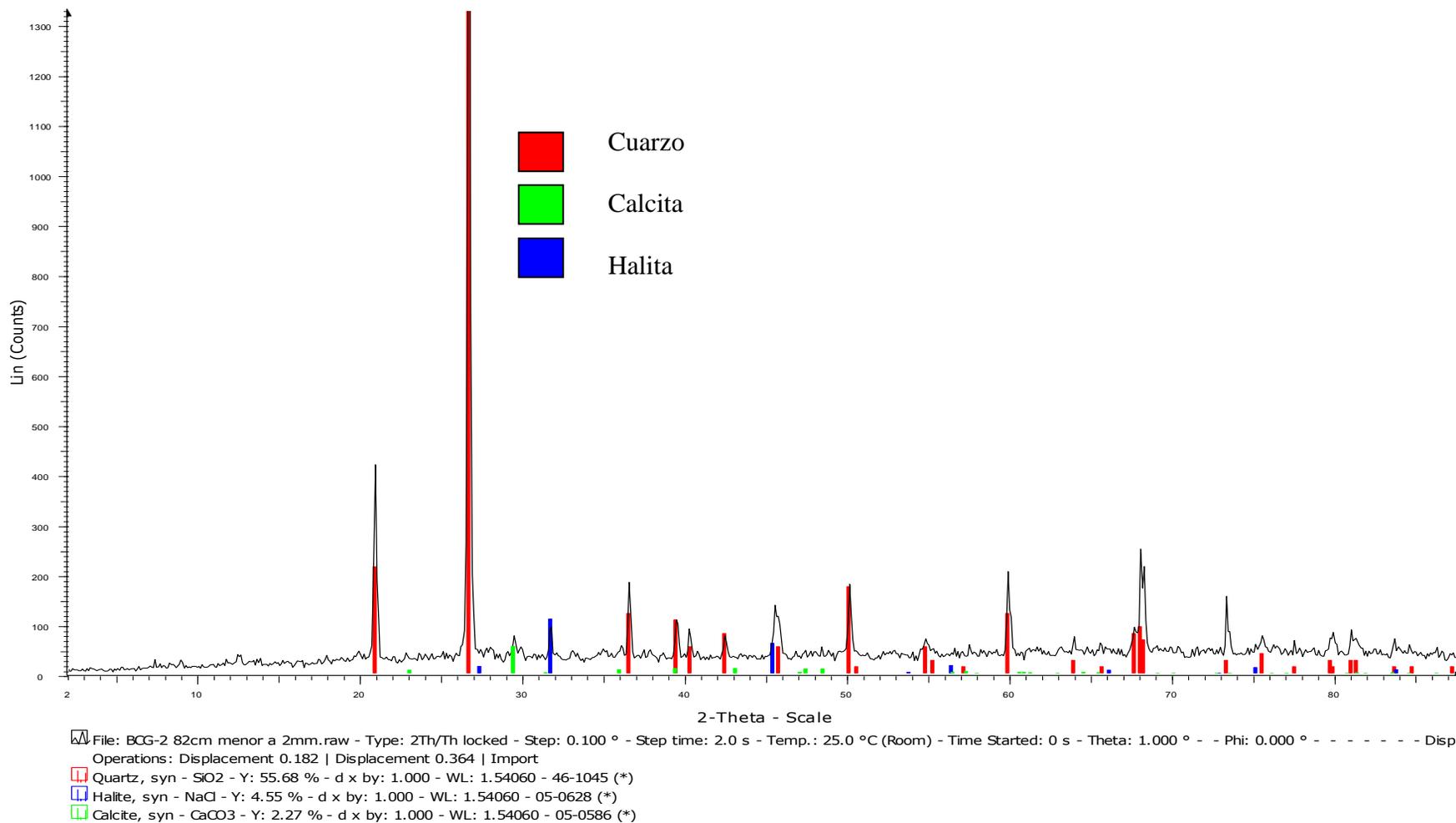


Figura 47. Difractograma de rayos X de la muestra BCG-2 82.

# BC6-2 112cm menor a 2mm

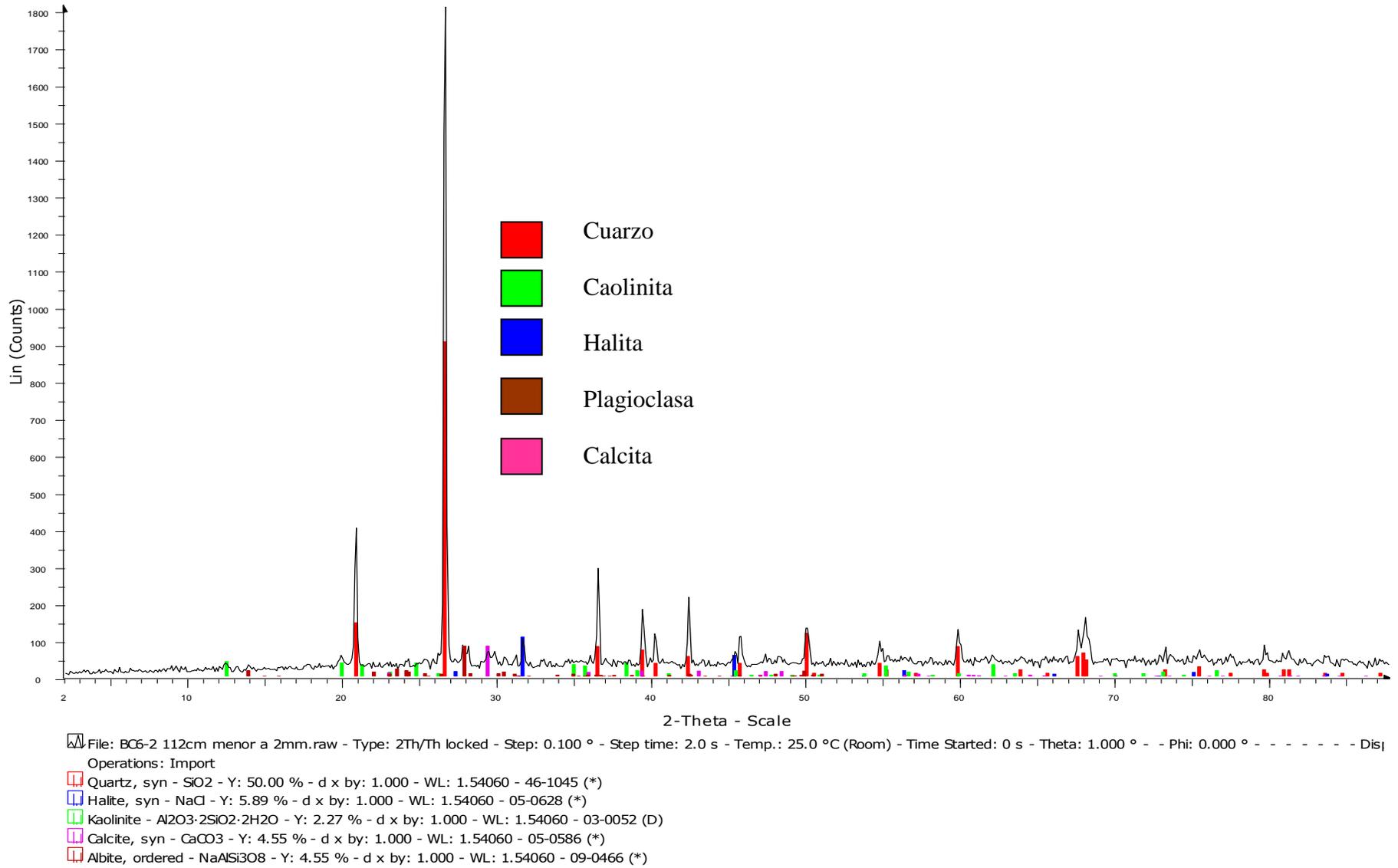


Figura 48. Difractograma de rayos X de la muestra BCG-2 112.

# MPCF-3 20cm menor a 2mm

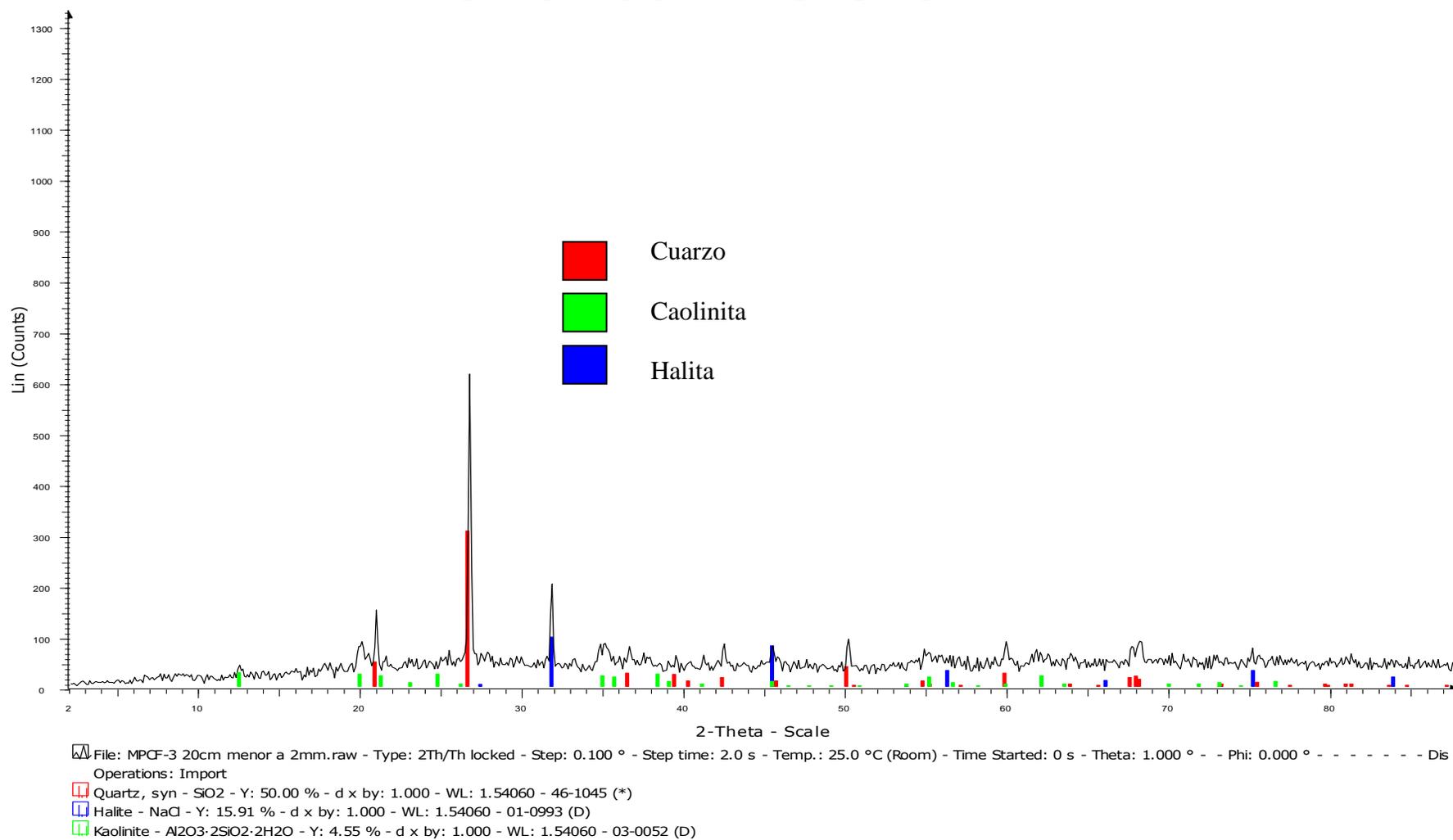


Figura 49. Difractograma de rayos X de la muestra MPCF-3 20.

# MPCF-3 70cm menor a 2mm

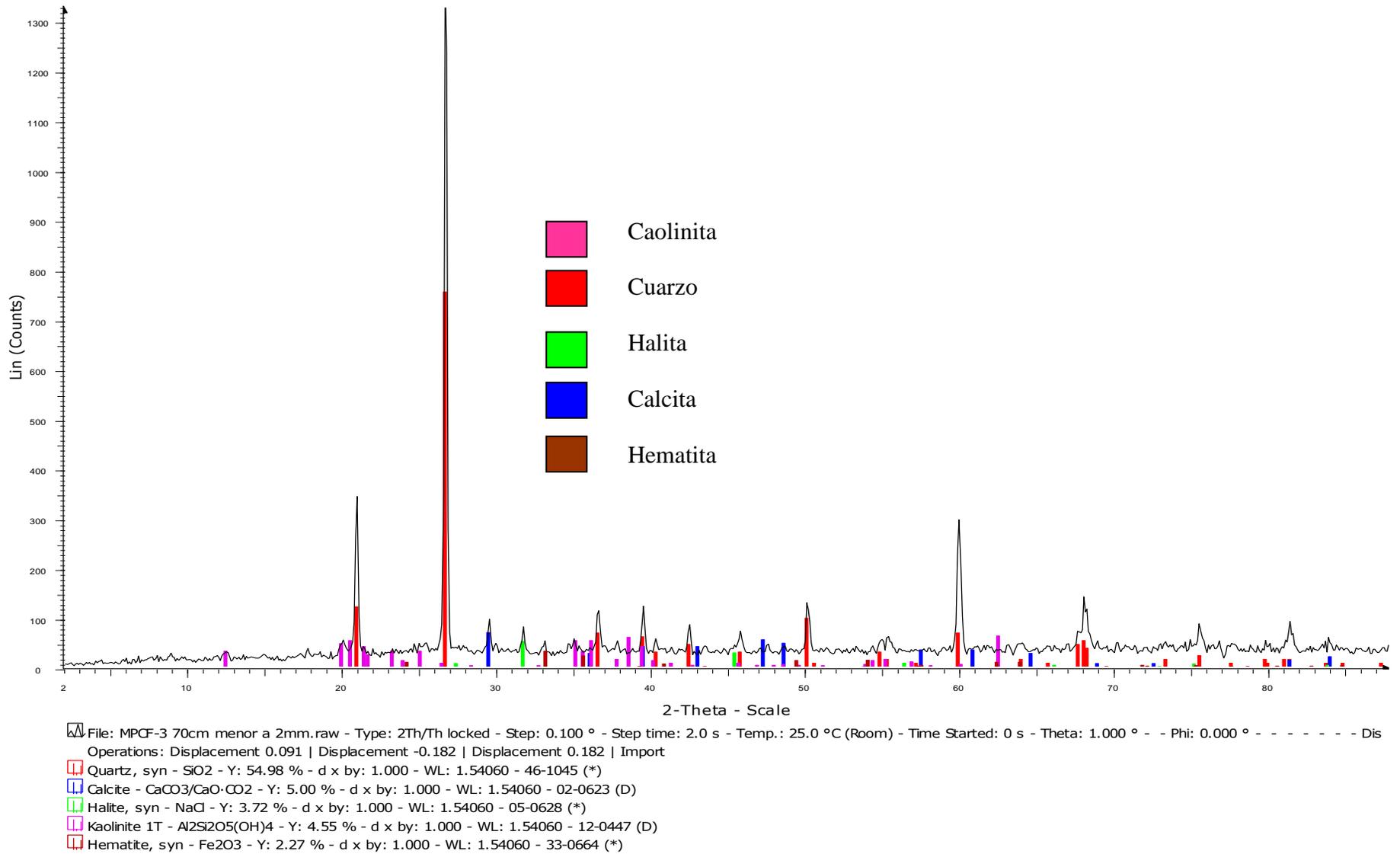


Figura 50. Difractograma de rayos X de la muestra MPCF-3 70.

# MPCF-3 100cm menor a 2mm

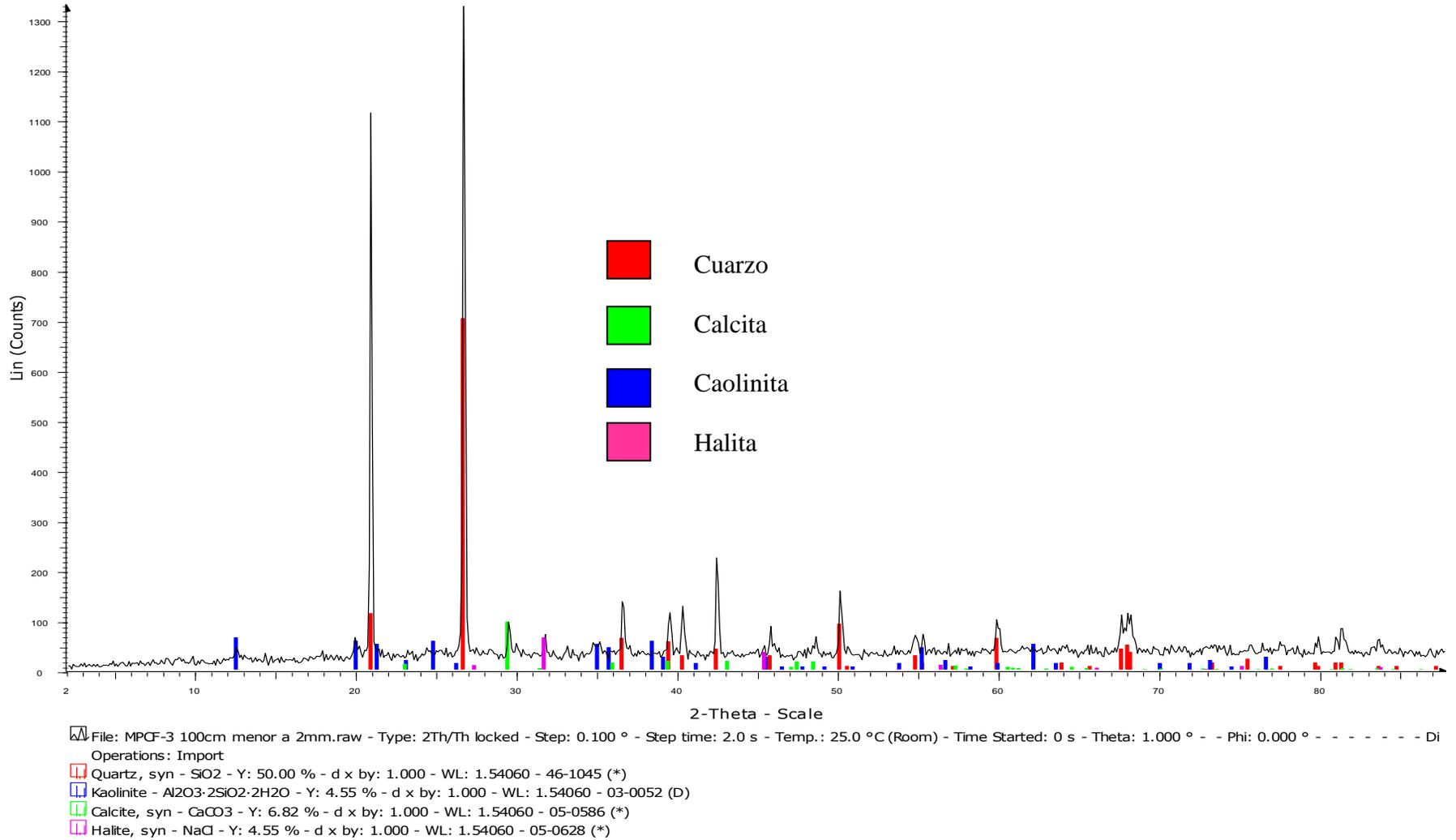


Figura 51. Difractograma de rayos X de la muestra MPCF-3 100.

## Apéndice F

**Tabla 33.** Promedio y desviación de concentración de elementos en los suelos (0 cm - 25cm) asociados a *Rizophora mangle* y *Avicennia germinans* de la Laguna de Boca de Caño.

Elemento	Rizophora mangle		Avicennia germinans	
	Xm	s	Xm	s
N (%)	0,39	0,04	0,5	0,3
C org (%)	6	1	5	3
C inorg (%)	0,6	0,2	3	2
Eh (mv)				
pH	7	0	6,9	0,1
P HCl (ppm)	410	322	305	94
P HNO3 (ppm)	146	28	119	56
Al HCl (%)	0,13	0,01	0,13	0,02
Al HNO3 (%)	0,4	0,1	0,3	0,1
Ca HCl (%)	0,5	0,4	6	5
Ca HNO3 (%)	0,09	0,01	0,4	0,2
Cd HCl (ppb)	115	32	90	36
Cr HCl (ppm)	4,3	0,8	4,1	0,7
Cr HNO3 (ppm)	10	3	8	4
Cu HCl (ppm)	3	2	2,8	0,6
Cu HNO3 (ppm)	5	1	2,4	0,7
Fe HCl (%)	0,6	0,2	0,29	0,09
Fe HNO3 (%)	0,7	0,2	0,40	0,03
Mn HCl (ppm)	24	11	39	22
Mn HNO3 (ppm)	14	7	9	2
Ni HCl (ppm)	7	1	4,7	0,7
Ni HNO3 (ppm)	8	3	5	2
Pb HCl (ppm)	6	3	4	1
Pb HNO3 (ppm)	2	1	1,2	0,8
Zn HCl (ppm)	165	41	117	24
Zn HNO3 (ppm)	180	57	92	15
Salinidad	45	3	55	7
Hg (ppb)				
C/N	16	3	11	2

Xm: Promedio

S: Desviación estándar

**Tabla 34.** Promedio y desviación estándar de concentración de elementos en los suelos (0 cm - 25cm) asociados a la zona de Punta Caimán y Boca de Caño, y de los suelos asociados a mangle desarrollado y con poco desarrollo.

Elemento	Punta Caimán		Boca de Caño		Mangle desarrollado		Mangle poco desarrollo	
	Xm	s	Xm	s	Xm	s	Xm	s
N (%)	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	0,2	0,24	0,02
C org (%)	2	2	5	3	6	2	2	2
C inorg (%)	1	1	2	2	2	2	1,5	0,1
Eh (mv)	-115	76	-223	129				
pH	7,3	0,3	6,9	0,2	6,8	0,1	7,05	0,07
P HCl (ppm)	331	153	375	188	358	219	427	2
P HNO3 (ppm)	299	79	124	42	133	43	97	35
Al HCl (%)	0,15	0,05	0,13	0,01	0,13	0,02	0,12	0,02
Al HNO3 (%)	0,9	0,4	0,3	0,1	0,3	0,1	0,24	0,05
Ca HCl (%)	3	4	5	4	3	4	8	1
Ca HNO3 (%)	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,39	0,07
Cd HCl (ppb)	174	59	110	33	103	33	132	25
Cr HCl (ppm)	3	1	4,4	0,7	4,2	0,7	4,9	0,8
Cr HNO3 (ppm)	13	4	9	3	9	3	7	1
Cu HCl (ppm)	8	5	3	1	3	1	2	1
Cu HNO3 (ppm)	8	2	4	2	4	2	4	2
Fe HCl (%)	0,5	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,369	0,005
Fe HNO3 (%)	3	1	0,6	0,2	0,6	0,2	0,8	0,1
Mn HCl (ppm)	106	91	45	29	32	18	85	12
Mn HNO3 (ppm)	56	29	14	6	12	5	19	3
Ni HCl (ppm)	7	3	6	1	6	1	5	1
Ni HNO3 (ppm)	17	4	7	2	7	3	7	1
Pb HCl (ppm)	8	3	5	2	5	2	2,9	0,6
Pb HNO3 (ppm)	6	2	1,7	0,8	2	1	1,8	0,5
Zn HCl (ppm)	229	94	137	35	141	40	124	10
Zn HNO3 (ppm)	436	131	142	55	136	61	159	45
Salinidad	58	9	50	6	50	7	51	3
Hg (ppb)	35	22	3	4				
C/N	5	4	12	5	13	4	7	7

Xm: Promedio

S: Desviación estándar