



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**“SUELOS Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN
MANGLARES EN EL SUR DE QUINTANA ROO”**

T E S I S

Para obtener el grado de
Licenciado en Manejo de Recursos Naturales

PRESENTA

CARMELINA GUADALUPE ONGAY RAMOS

DIRECTOR

M.C. VICTOR EDUARDO CASANOVA VILLAREAL

ASESORES

DR. RICARDO TORRES LARA

DR. GUSTAVO ALVAREZ ARTEAGA

DR. VICTOR MANUEL INTERIAN KU

DRA. ESMERALDA CAZÁRES SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD DE
QUINTANA ROO
**SERVICIOS ESCOLARES
TITULACIONES**



Chetumal, Quintana Roo, México, diciembre de 2016.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo de tesis bajo la supervisión del comité del programa de licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:
LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TESIS

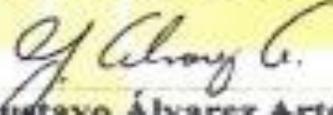
DIRECTOR:


M.C. Víctor Eduardo Casanova Villarreal

ASESOR:


Dr. Ricardo Torres Lara

ASESOR:


Dr. Gustavo Álvarez Arteaga

ASESOR:


Dr. Víctor Manuel Interián Ku

ASESOR:


Dra. Esmeralda Cázares Sánchez



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
SERVICIOS ESCOLARES
TITULACIONES

Chetumal, Quintana Roo México, diciembre 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones que me ha brindado.

A mi señora madre **Guadalupe Ramos Osorio†** quien a pesar de todo me apoyo incondicionalmente, me animó a seguir adelante con este proyecto hasta el último momento de su vida. Por sus famosos dichos y consejos que me sirvieron, me han servido y me siguen sirviendo. “como decía mi mamá”. Q.E.P.D.

A mis hermanos Marcel y Zuria apoyarme incondicionalmente en todo momento, así como a mi tío Vicente.

A mi director M. C. Víctor E. Casanova Villareal por haberme aceptado para la realización de mi tesis y prestado las instalaciones del laboratorio Agua – suelo-Planta ,así como , por su paciencia, espera, apoyo tanto para este proyecto como académica y personal; pero sobre todo por la confianza que deposito en mí.

Al Dr. Ricardo Torres Lara por la paciencia, tolerancia, espera apoyo en todo momento tanto para culminar este grandioso proyecto, por sus regaños y correcciones; pero sobre todo por creer en mí.

Al Dr. Gustavo Álvarez Arteaga por sus consejos y compartirme experiencias para este proyecto.

A los doctores Víctor M. Interian Ku y Esmeralda Cázares Sánchez por apoyarme en todo momento y sus recomendaciones. Al profesor Nahúm por sus sugerencias y correcciones tanto de prácticas en el laboratorio como de vida.

A M.C. Jaime A. Castillo Rodríguez y Rosymar Illescas Rivero del laboratorio de Química de la Universidad por haberme brindado su valioso apoyo para realizar mi tesis.

A todos los profesores de la carrera, en especial a la maestra Jennifer, Magdalena y Ramón. A todos mis compañeros y amigos en especial a Wilo, Mary, Karlita V. Matus, Gina, Monse, Sergio, Ángel, Cristina, Lizbeth, José, Yenni, Wili, Cocom, Heidy , Sol y Carlos M.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de suelos de sitios de muestreo.....	30
Cuadro 2. Coordenadas de los sitios.....	34
Cuadro 3.Resultado de análisis fisicoquímico de los suelos de cinco humedales en las localidades de Mahahual y Xcalac.....	40
Cuadro 4 Análisis fisicoquímico del suelo del sitio Mahahual 1.....	42
Cuadro 5 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual1.....	42
Cuadro 6 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual1.....	42
Cuadro 7 Análisis fisicoquímico de suelo del sitio Mahahual 2.....	47
Cuadro 8 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 2.....	47
Cuadro 9 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 2.....	47
Cuadro 10. Análisis fisicoquímico de suelo del sitio Mahahual 3.....	51
Cuadro 11 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 3.....	51
Cuadro 12 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 3.....	51
Cuadro 13 Análisis fisicoquímico de suelo del sitio Xcalak 1.....	55
Cuadro 14 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 1.....	55
Cuadro 15 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 1.....	55
Cuadro 16 sales de agua de mar.....	57
Cuadro 17 Análisis fisicoquímico de suelo del sitio Xcalak 2.....	57
Cuadro 18 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 2.....	62
Cuadro 19 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 2.....	62
Cuadro 20. Datos de producción de hojarasca.....	65
Cuadro 21Análisis estadístico de correlación canónica (SAS).....	66
Cuadro 22. Datos analizados de tipo correlación canónica.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Diagrama de flujo de la interrelación de variables estudio con la productividad primaria.....	18
Figura 2.Mapa ubicación.....	27
Figura 3.Sitios estudio.....	32
Figura 4.Coordenadas de los sitios estudio.....	33
Figura 5.Extracción de muestras de suelo.....	35
Figura 6.Secado de suelo.....	35
Figura 7.Pulverizado y tamizado de suelo seco.....	36
Figura 8.Diagrama de flujo de metodología empleada de los análisis químicos de suelo de manglar.....	36
Figura 9.Determinación de textura de suelo por el método de Bouyoucos...	37
Figura 10.Determinación de Calcio y Magnesio por método de titulación EDTA.....	38
Figura11.Pasta saturada de suelo fino y su extracto (fase acuosa).....	39
Figura 12.Sitio tipo de manglar franjo Mahahual 1.....	41
Figura 13.Sitio tipo de manglar enano Mahahual 2.....	46
Figura 14 Suelo inundado por efecto de partículas finas.....	49
Figura 15 Sitio Mahahual 3 tipo manglar enano.....	50
Figura 16 Sitio Xcalak 1 tipo de manglar de cuenca.....	54
Figura17 Hojas de mangle negro con cristales de sal.....	59
Figura 18 Esquema de suelo drenado.....	60
Figura 19 Sitio Xcalak 2 tipo de manglar de franja.....	61
Figura 20 Esquema de suelo drenado.....	65
Figura 21 Relación productividad – P (aprovechable).....	68
Figura 22 Relación % arena – P (aprovechable).....	69
Figura 23 Relación %limo – P (aprovechable).....	69

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	8
II. ANTECEDENTES	11
2.1 Nutrición de manglares y su productividad primaria	11
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
IV. MARCO CONCEPTUAL.....	17
4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES : Factores ecológicos o ambientales.....	19
4.2 Propiedades físicas del suelo.	19
4.2.1 Temperatura	19
4.2.2 Humedad	19
4.2.3 Densidad aparente	20
4.2.4 Textura	20
4.3 Propiedades químicas	20
4.3.1 pH	21
4.3.2 Conductividad eléctrica	21
4.3.3 Materia orgánica del suelo (MOS) (%)	21
4.3.4 El carbonato de calcio (CaCO ₃)	22
4.3.5 Salinización del suelo	22
4.4 Nutrientes para las plantas	22
4.4.1 Carbono Orgánico del Suelo (COS).....	23
4.4.2 Nitrógeno	23
4.5 Productividad primaria.....	23
V JUSTIFICACIÓN	24
VII. OBJETIVOS	24
7.1 General	24
7.2 Particulares.....	25
VI. HIPÓTESIS.....	25
a. Localización	26
b. Características de la zona	27

c.	Caracterización de sitios.....	28
	Hidrología superficial	30
	Hidrología subterránea	30
d.	Sitios de muestreo.....	31
IX.	METODOLOGÍA	32
e.	Precampo	32
f.	Campo	33
g.	Laboratorio.....	34
	Suelo grueso para análisis físicos	36
	Suelo fino para los análisis químicos.....	36
	Análisis químicos en pasta saturada de suelo.....	37
h.	Gabinete.....	38
X.	RESULTADOS	39
i.	Mahahual 1	40
	pH.....	42
	Materia orgánica	42
	Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.....	42
	Densidad aparente	43
	Conductividad eléctrica.....	44
	Textura	44
j.	Mahahual 2	45
	pH.....	47
	Materia orgánica	47
	Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.....	47
	Densidad aparente	48
	Conductividad eléctrica.....	48
	Textura.	49
k.	Mahahual 3	49
	pH.....	51
	Materia orgánica	51
	Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.....	51
	Densidad aparente	52

Conductividad eléctrica.....	52
Textura	52
l. Xcalak 1	53
pH.....	55
Materia orgánica	55
Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.....	56
Densidad aparente	58
Conductividad eléctrica.....	58
Textura	58
m. Xcalak 2	60
pH.....	62
Materia orgánica	62
Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.....	62
Densidad aparente	63
Conductividad eléctrica.....	63
Textura	64
n. Correlación canónica entre sitios.....	64
XII. CONCLUSIÓN	69
XIII. RECOMENDACIONES.....	70
XIV. BIBLIOGRAFIA.....	71

RESUMEN

Esta investigación fue realizada en dos localidades de Quintana Roo con cinco sitios estudio nombrados como Mahahual 1, Mahahual 2, Mahahual 3, Xcalak1 y Xcalak 2 respectivamente, denominadas Mahahual (tres sitios) y Xcalak (dos sitios). Se evaluaron las características físicas y químicas en muestras de suelo de dichos sitios, de igual manera se realizó un análisis más fino de pasta de saturación para determinar su clasificación salina así como de la presencia de sales; posteriormente se realizó el análisis estadístico de correlación canónica entre los datos parámetros fisicoquímicos de los suelos de los sitios y los datos de hojarasca de noviembre 2013 dentro del marco del proyecto “Vulnerabilidad de los ecosistemas costeros, ante el cambio climático” (Torres y Ruiz, 2010). Convertidos en unidades de kg ha^{-1} mensual respectivamente. Se concluyó que La disponibilidad de los nutrientes estén afectados por factores como: la textura (tamaño de partículas), la salinidad representada por la conductividad eléctrica y el pH. Los sitios paralelos a la línea de costa (Mahahual1, Xcalak 1 y Xcalac 2), son los más productivos y favorecidos por efecto mecánico por ser arenosos, en comparación de los sitios perpendiculares y más lejanos de la costa (Mahahual2 y Mahahual3).

Palabras clave: Manglar, suelo, nutrientes y productividad primaria.

I. INTRODUCCIÓN

Los manglares son formaciones vegetales en las que predominan distintas especies conocidas como mangle, un árbol o arbusto con ramas descendentes que llegan al suelo y arraigan en él, y tienen la particularidad de ser plantas resistentes a la salinidad del agua (CONABIO, 2008). Los manglares habitan la costa tropical y subtropical entre 25° N y 25° S, generalmente en áreas inundadas y drenadas por las mareas. Constituyen formaciones boscosas y marcan la transición entre el mar y la tierra (Flores, Agraz, Carrera, y de la Fuente, 2003).

Los manglares regular u ocasionalmente son inundados por las mareas con aguas marinas o estuarinas (“salobres”), sin o con poca influencia del oleaje, por lo que su hábitat se restringe a las orillas de suelos arenosos o limo arcillosos de bahías, lagunas costeras, canales de mareas (esteros), desembocaduras de ríos, bajos y barras de arena o lodo y marismas, abarcando desde una estrecha franja de pocos metros de ancho, de forma continua o discontinua, hasta densos bosques de cientos de hectáreas. La distribución de los manglares, consecuentemente, depende en gran medida del intervalo de las mareas, del declive topográfico y de la salinidad del agua y suelo (Flores et. al, 2003).

Los manglares desempeñan muchas funciones, ya que es un sistema abierto y exporta materia orgánica, que consta de partículas vegetales y planctónicas, las cuales contienen una gran cantidad de carbono, nitrógeno y fosforo así como celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, fosfolípidos, etc.; (Reddy , D’Angelo , y Harris, 2000).

Los manglares son uno de los ecosistemas más productivos e importantes del mundo. FAO (2007) destaca que a partir del manglar se pueden obtener los siguientes productos: combustible, materiales para construcción, pesca, taninos para textiles y pieles, otros productos naturales como: peces, crustáceos, moluscos, aves, mamíferos, reptiles, cera, etc., alimentos, drogas y bebidas,

agricultura, artículos para el hogar, productos de papel y otros productos forestales. También proporcionan diversos servicios ambientales como: sumideros de carbono, estabilizan la línea costera, forman barreras contra huracanes y son el hábitat de una gran variedad de fauna silvestre; también funcionan como filtros biológicos eliminando altas concentraciones de nitrógeno y fósforo así como productos químicos y son fuente de nutrientes para los hábitats de ambientes marinos adyacentes a las regiones áridas; tienen valor económico como productores de madera y leña y como atractivo turístico y cultural (Díaz, 2012).

Los manglares poseen múltiples valores ecológicos, entre ellos destacan, la producción de hojarasca, detritus y los compuestos orgánicos solubles que son aprovechados por una gran cantidad de organismos, los cuales forman complejas redes alimenticias, constituyendo de esta manera el hábitat de una variada fauna residente y migratoria (Díaz, 2012).

Por lo anterior, el manglar ha sido estudiado desde diversos aspectos: biología, ecología y estructura de las comunidades (Benítez, Flores, y Valdez, 2002; Castaño, Urrego, & Bernal, 2010; CONABIO, 2008; FAO, 2007; Kathiresan y Bingham, 2001; Nagelkerken, Blader, y Bouuillon, 2008; Zamora y Cortés, 2009); productividad primaria y secundaria (Alongi, 1990; Holguin, Hernández, y Flores, 2006; Zaldivar, Herrera, Coronado, y Alonzo, 2004; Cano, 2014); la disponibilidad o limitación de nutrientes, crecimiento y nutrición, condición salina y calidad de suelos (Feller, McKee, Whigham, y O'Neal, 2003a; Reef, Feller, y Lovelock, 2010; Figueroa y Alvarez, 2011; Koch, 1997; Lin y Stenberg, 1992), entre otros estudios.

La disponibilidad de nutrientes para los árboles de mangle es una compleja gama de interacción de factores abióticos y bióticos como la salinidad del agua y los sedimentos, ya que en función de éstos se da la presencia, el grado de desarrollo,

la altura y cantidad de árboles del manglar. El contenido de materia orgánica determina la disponibilidad de nutrientes y la retención de la humedad, la densidad aparente de los sedimentos (relación peso/volumen) es un indicador de los materiales predominantes del suelo (arena, material orgánico).

Los sedimentos con baja densidad son suelos orgánicos propicios para el crecimiento del manglar (Alonzo, Bertard, y Zaldívar, 2006). Los manglares se caracterizan por ser flexibles en su capacidad de utilizar de forma oportunista nutrientes cuando éstos estén disponibles. Tanto la eficiencia del uso de nitrógeno como la reabsorción de nutrientes en los manglares se encuentran entre las más altas registradas para las angiospermas (Reef, Feller, y Lovelock, 2010).

Por todo lo anterior y considerando que este ecosistema ha sido estudiado en referencia a productividad primaria y calidad de suelos de manglares (en diferentes lugares del mundo) respectivamente; en este trabajo se hace referencia a la investigación de la relación entre los nutrientes de los suelos y la productividad primaria de los manglares en las localidades de Mahahual y Xcalak, Quintana Roo, México.

II. ANTECEDENTES

2.1 Nutrición de manglares y su productividad primaria

Duarte (1996), subraya que los manglares son altamente productivos, por la fijación y el almacenamiento de cantidades significativas de carbono. Alongi (2009), menciona que las estimaciones promedio de la productividad primaria neta (NPP) para el rango de manglares es de 2 a 50 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ y Clark (2001), también indica que compiten con algunos de los bosques tropicales más productivos.

Aunque los ecosistemas de manglares son ricos en carbono, a menudo son pobres en nutrientes. Debido a que estos ecosistemas pueden mantener altos niveles de productividad, a pesar de la limitación de nutrientes, esta singularidad los hace motivo de muchos estudios sobre la nutrición de los manglares. La explicación es que se consigue una alta productividad de estos vegetales debido a una eficiencia de los ciclos de nutrientes y a estrategias de conservación de nutrientes.

La disponibilidad de nutrientes para la producción de plantas de manglar está controlada por una variedad de factores bióticos y abióticos tales como la inundación de las mareas, la elevación en el marco de las mareas, el tipo de suelo, estado redox y las actividades microbianas de suelos, especies de plantas, producción de hojarasca y la descomposición (Boto y Wellington, 1984). Por otra parte, algunos autores mencionan que existen otros factores que afectan la estructura y productividad de los bosques de manglar como la dinámica de nutrientes, el tipo de sedimentos y la salinidad del suelo Zaldivar, Herrera, Coronado, y Alonzo (2004).

La mayoría de las investigaciones relacionadas con la baja disponibilidad de nutrientes en manglares se han centrado en los macronutrientes N y P, de los cuales se consideran como los principales limitantes en la productividad primaria de los ecosistemas de manglar (Reef, Feller, y Lovelock, 2010).

Güsewell (2004); demostró que la proporción N: P en el tejido vegetal también se ha utilizado para inferir si el N o P limita el crecimiento. De igual manera indica que la variación de la concentración N: P en la hoja, particularmente donde N:P es > 32 (que es un promedio mundial de los manglares); muestra que P puede limitar el crecimiento en muchos hábitats de manglares (por ejemplo, Malasia, Kenia, China, Puerto Rico, Venezuela, Victoria, Australia, Florida y Honduras).

Leigh y Wyn Jones et al. (1984) señalan que todas las plantas requieren de potasio (K) para mantener la neutralidad eléctrica intracelular, la regulación osmótica, activación enzimática, la síntesis de proteínas y el metabolismo fotosintético. Downton (1982) demostró en su estudio, que en entornos de alta salinidad, K también es de vital importancia para la regulación osmótica y ayuda a formar el potencial eléctrico necesario para facilitar la absorción de agua contra la alta concentración de sal externa (principalmente Na). Ball, Chow & Anderson (1987) denotan que se ha demostrado que la deficiencia de K^+ en manglares repercute en la pérdida de la función de la clorofila y por lo tanto en la fotosíntesis.

En un estudio realizado por Ukpong (1997), en una región costera de Belice señalan que la disponibilidad de K^+ en suelos de manglares es variable, y hay alguna evidencia de limitación del catión K^+ en algunos manglares, debido a las condiciones salinas, el Na^+ pueden interferir en la absorción de K^+ asimismo Mäser, Gierth y Schoeder (2002), demuestran que reduce la eficiencia de la captación de K^+ del suelo. Del mismo modo Feller, Lovelock y Piou (2009), apuntan que en algunos bosques de manglares neo tropicales, las concentraciones de K en las hojas verdes fueron bajas, pero positivamente correlacionadas con las tasas de crecimiento.

Ukpong (2000), denota que el fósforo es un factor limitante para el crecimiento ya que la adición de K no dio lugar a mayores tasas de crecimiento, incluso cuando

se identificó la limitación de P; sin embargo, Feller (1995), afirma que la eficiencia de uso de K aumentó las tasas de crecimiento, lo que indica que, cuando hay limitación de N o P se corrige, la limitación al crecimiento que el K puede desarrollar.

Por otra parte, mencionan Yates, Ashwath y Midmore (2002); que en otras áreas, el porcentaje de cobertura no se correlaciona fuertemente con la disponibilidad de K en el suelo sino más bien con otros macronutrientes y micronutrientes tales como P, calcio (Ca) y magnesio (Mg). Esto también se sugirió en un estudio donde se detectaron efectos entre la disponibilidad de N, P y K y plántulas de mangle de crecimiento

Komiyama, Ong y Pourngrarn (2008) destacan que los mangles son altamente productivos y esto se debe en parte a la evolución de muchas adaptaciones para la conservación de nutrientes. Reef, et al. (2010) Señalan la mayoría de los árboles de mangle son de hoja perenne, con esclerófilas y ejes de alta biomasa como raíz y tallo esto es porque expresan el hábito de hoja perenne, lo cual implica una inversión menor en nutrientes en hojas nuevas y las tasas de pérdida de nutrientes más bajos debido a la larga vida útil del tejido.

Los manglares también parecen ser muy flexibles en sus respuestas a los cambios en la disponibilidad de nutrientes, logrando altas tasas de crecimiento cuando se corrigen las limitaciones de nutrientes que se acompañan de reducciones asociadas en la eficiencia del uso de nutrientes y otros mecanismos de conservación de nutrientes. Por lo tanto, tal vez lo que caracteriza a la nutrición de los bosques de manglares en comparación con otros ecosistemas forestales es que las especies de árboles de los componentes tienen un nivel relativamente alto de plasticidad en los rasgos de crecimiento, la adquisición de nutrientes y conservación (Reef et al., 2010).

Alta plasticidad confiere la capacidad para soportar condiciones bajo en nutrientes, permitiendo al mismo tiempo la capacidad de explotar altos niveles de nutrientes cuando están disponibles. Tal estrategia flexible permite la rápida colonización de sedimentos marinos recientemente disponibles, pero también puede adaptarse a la persistencia en condiciones desfavorables en entornos en los que la sustitución por las comunidades de plantas competidoras (sucesión) es impedido por la inundación de las mareas (Reef, et al., 2010).

Holguín y Hernández (2006), argumentan que los manglares como ecosistema presentan una tasa alta de productividad primaria bruta y constituyen la base del continuo flujo de exportación e importación de material orgánico y nutrientes hacia y desde ecosistemas vecinos, lo que ha valido para considerarlos ecosistemas abiertos. También resaltan que entre 20% y 40% de su productividad se convierte en hojarasca (hojas, flores, semillas, ramas y estípulas) que cae al medio. Las principales vías del flujo de energía pueden influir en la estructura de las comunidades de invertebrados y peces que habitan los manglares, siendo la hojarasca del manglar la principal fuente de energía para los consumidores de la cadena trófica, vía detrito, siempre que la biomasa de las algas y del plancton sea baja.

Alonzo, et al., (2006,) confirman que el contenido de materia orgánica determina la disponibilidad de nutrientes y la retención de la humedad; la densidad aparente de los sedimentos (relación peso/volumen) es un indicador de los materiales predominantes del suelo (arena, material orgánico), los sedimentos con baja densidad son suelos orgánicos propicios para el crecimiento del manglar.

Sánchez (2005), define en su investigación que los suelos inorgánicos, son generalmente ricos en algunos elementos, como calcio magnesio y potasio, los cuales son retenidos temporalmente del lavado. En esta categoría existe otro tipo de suelos que pierde los nutrientes por lixiviado y acumulan elementos tóxicos

como hierro y aluminio; por lo general, los manglares se desarrollan en este tipo de suelo pobre en nutrientes.

Suelos orgánicos, se forman por la alta acumulación de restos orgánicos, caracterizados por poseer poco contenido de arcilla limo y arena. Se mantienen por procesos anaeróbicos y los nutrientes se liberan por la descomposición de la materia orgánica en las zonas aeróbicas, con una continua mineralización. La más alta concentración de materia orgánica se presenta cerca de la superficie del suelo (a pocos centímetros de profundidad). También se menciona que este tipo de suelo es inundado periódicamente, pero su drenaje interno es lento debido principalmente al contenido de sales solubles (sobre todo sodio) que actúan mediante presión osmótica y reducen el poder de infiltración, frenando tanto la absorción del agua como la de iones presentes en el suelo por lo que mantiene una saturación permanente de agua, provocando que haya una máxima acción de los microorganismos y por lo tanto se efectúa la descomposición de la materia orgánica (Sánchez, 2005).

En 2011, estudio de Figueroa y Álvarez, acerca de la relación a la calidad de suelos en el sitio 1 y sitio 2 de la región del pacífico de Colombia, con base a los resultados de los análisis fisicoquímicos en estos suelos, se concluyó que, para la supervivencia de especies de mangle, los suelos del sitio 1 presentaron condiciones menos apropiadas que en la 2, producto de los bajos valores de pH y de bases intercambiables, entre otros al parecer por diferentes estresores generalmente inducidos por el hombre.

Otro estudio relacionado con suelos de manglar se realizó una caracterización zona Costa Maya de los cuales se tomaron en cuenta flora, fauna y suelo en 10 sitios de estudio. En esta investigación Malgorzata (2003), enfatiza casi todos los suelos de la zona son ricos en calcio, muy ricos en magnesio, ricos en potasio, sílice y aluminio, pero muy bajos en fósforo y manganeso. Con los resultados

obtenidos se observó una relación entre el pH y la materia orgánica presente en el suelo que plantea la posibilidad de liberación de ácidos húmicos, bajando el pH con respecto a la conductividad eléctrica presente en la mayoría de los casos con valores muy elevados, lo que indica el alto contenido de sales en los suelos del área.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los manglares en todo el mundo se encuentran amenazados por una serie de actividades que modifican y deterioran su composición de especies, su estructura y su funcionamiento como ecosistema. Es importante destacar que esta problemática está presente en el sur de Quintana Roo, específicamente en las localidades de Mahahual y Xcalak, y en los últimos 20 años se ha incrementado, debido al desarrollo turístico y urbano, afectando a todos los ecosistemas costeros y a los beneficios que éstos proveen (Hilares, Espinoza, Ruiz, y Reyes, 2010).

Los manglares cercanos a las localidades de Mahahual y Xcalak están seriamente amenazados principalmente por las siguientes causas:

a) Las actividades agrícolas y ganadera provocan deforestación en los manglares y afectan el drenaje de estas áreas; esta práctica que ha ido en aumento, especialmente en la época de secas donde se escasea el agua. Estas actividades implican cambios en la topografía e hidrología el uso de agroquímicos como fertilizantes, herbicidas, entre otros, favorece la contaminación y compactación del suelo, la contaminación de los mantos acuíferos y la intrusión salina, manifestándose una pérdida de las propiedades físico-químicas del suelo y de la calidad del agua (Travieso, 2008)La construcción de carreteras, muelles, caminos e infraestructura de redes eléctricas y petroleras modifica la topografía e

interrumpe los flujos de agua y nutrientes, perdiéndose la conectividad en este ecosistema. En la zona que queda aislada y deja de recibir aportes de agua, por lo general se registra un aumento de la salinidad, lo cual puede provocar un reemplazo de especies, hacia la dominancia del mangle negro (especie de mayor tolerancia a la salinidad), una menor altura de la vegetación o la muerte masiva del manglar en esta área y zonas adyacentes (Travieso, 2008).

b) Expansión de fronteras urbanas, industrial y turística. Los ecosistemas de manglar de Mahahual y Xcalak se ven amenazados por las actividades mencionadas, principalmente por su cambio de uso de suelo y desarrollo turístico; que en consecuencia afectan sus funciones ecológicas como: capacidad de respuesta hacia los nutrientes y estresores, la falta de información y estudio de este tipo provoca que no exista un soporte para el manejo del manglar y en la ejecución de programas e instrumentos de planeación que se llevan a cabo a futuro.

IV. MARCO CONCEPTUAL

La figura 1, es un mapa conceptual que representa las variables de interés que determinan la productividad de las diferentes especies de mangle. Estas variables mantienen una estrecha relación entre ellas, de tal manera que variaciones en una afecta a las demás y a la tasa de producción de biomasa vegetal. Por cuestiones prácticas para explicar estas relaciones, las variables se clasifican en independientes (factores ecológicos bióticos y abióticos, y estos a su vez en químicos y físicos), es una variable dependiente (la productividad primaria), así como una serie de variables intervinientes que afectan todo el sistema. Más adelante se describe brevemente cada uno de estos factores.

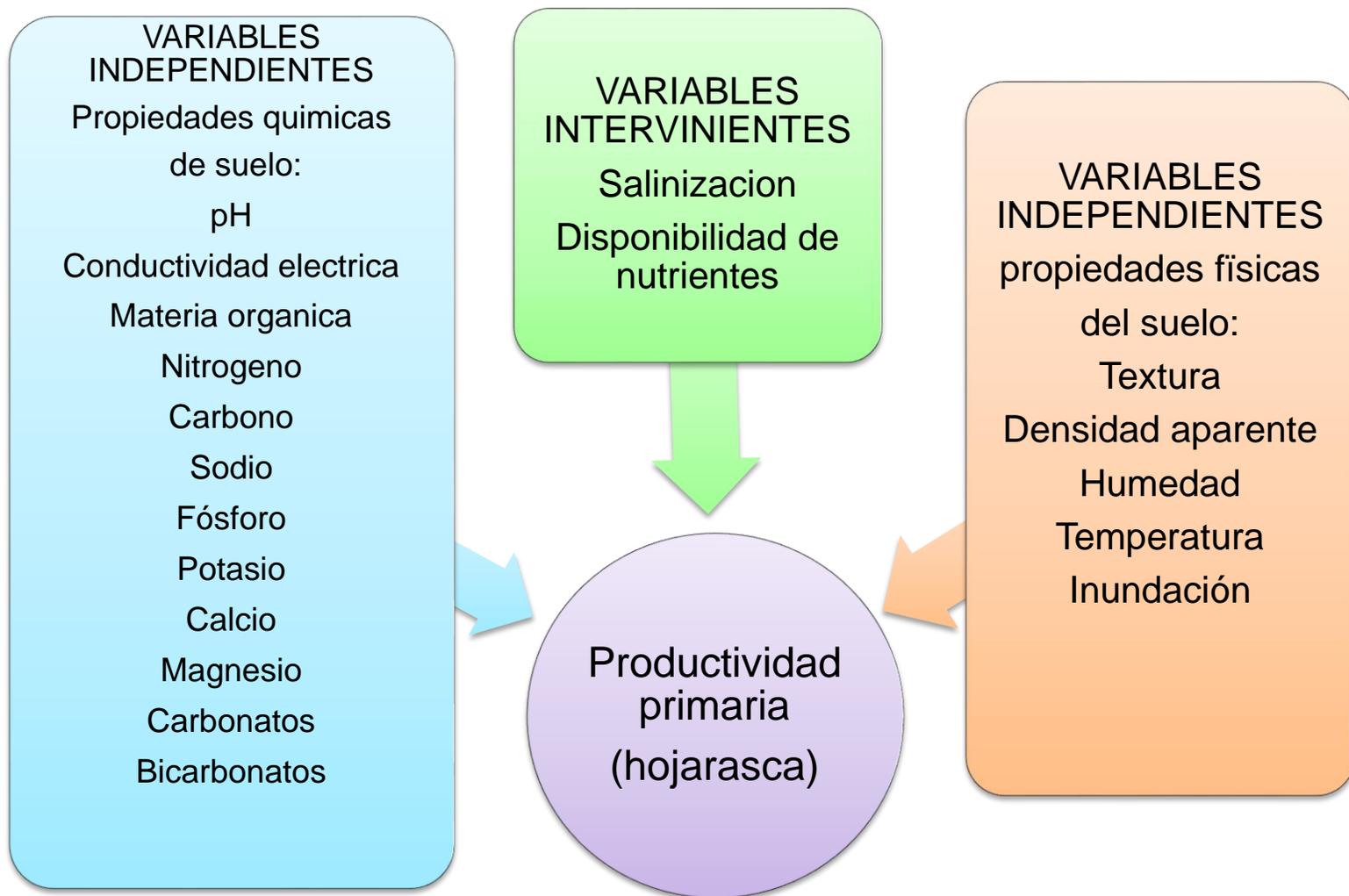


Figura 1. Diagrama de flujo de la interrelación de variables estudio con la productividad primaria de manglar.

4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES : Factores ecológicos o ambientales

Son las características físico-químicas del medio capaces de actuar directamente sobre los seres vivos, al menos durante una parte de su ciclo de desarrollo (Leiva, 2002), e interactúan en un espacio y tiempo determinado con esos seres vivos (González et al., 1995). Se dividen en dos categorías: abióticos y bióticos.

Los factores abióticos pueden ser a su vez propiedades físicas y químicas, del suelo en este caso porque es el sustrato normal en que se enraízan los mangles. Una propiedad física, química o biológica del suelo es aquella que lo caracteriza; por ejemplo, la composición química y la estructura física del suelo, y están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por el tiempo en que ha actuado el intemperismo (desintegración por agentes atmosféricos), por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo (Huerta, 2010).

4.2 Propiedades físicas del suelo.

Los factores ambientales físicos del suelo (sus propiedades físicas) más importantes se describen brevemente a continuación.

4.2.1 Temperatura

Es la cantidad de grados que caracteriza la intensidad de calor; salvo casos excepcionales (como en los cambios de estado), la temperatura aumenta con el calor (González y Medina, 1995).

4.2.2 Humedad

El contenido de humedad (%) en el suelo se expresa como una relación adimensional de dos masas o de dos volúmenes o también como una relación de

una masa por unidad de volumen. Cuando las relaciones adimensionales se multiplican por 100, tales valores se expresan como porcentajes, debiéndose indicar si son porcentajes volumétricos o gravimétricos. Cuando no se indica nada, se supone que el dato es gravimétrico y que no es porcentaje (Casanova, 2012)

4.2.3 Densidad aparente

Se refiere a la cantidad de masa de sólidos que existe por unidad de volumen total de suelo, es decir se toma en cuenta el volumen que ocupan los sólidos más el de los poros (Casanova, 2012). El peso de la unidad de volumen del suelo con espacios intersticiales es lo que da la densidad aparente (Huerta, 2010).

4.2.4 Textura

Representa la proporción de los constituyentes primarios del suelo: arena, arcilla y limo. Estos tienen una marcada influencia en la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, el movimiento de agua en el mismo, así como la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas. Conociendo la cantidad de arena, arcilla y limo es posible obtener la clasificación textural de un suelo mediante el uso del triángulo de texturas desarrollado por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Huerta, 2010).

4.3 Propiedades químicas

La química de los suelos es la ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y de sus componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes (Huerta, 2010). Los factores ambientales químicos del suelo (sus propiedades químicas) más importantes son las siguientes:

4.3.1 pH

Se define como el logaritmo inverso de la actividad de iones hidrógeno: $\text{pH} = 1/\log(\text{H}^+)$. Expresa la acidez de una solución acuosa (Casanova, 2012). Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2015). Un suelo con pH intermedio, de 6 a 7, es el que presenta mejor régimen biológico, ya que las condiciones nutrientes son favorables sin ser extremas y la asimilación del fósforo está en el máximo (Huerta, 2010).

4.3.2 Conductividad eléctrica

Es proporcional a la concentración de iones y está relacionada con la suma de cationes y aniones determinados por procedimientos de análisis químico (Casanova, 2012).

4.3.3 Materia orgánica del suelo (MOS) (%)

Está formada por los productos de descomposición de los residuos vegetales y animales que se encuentran en la superficie del suelo. El humus es el producto final de este proceso de descomposición, el cual es realizado principalmente por microorganismos (Casanova, 2012). El análisis de materia orgánica en el diagnóstico de la fertilidad del suelo tiene importancia al considerarse como una fuente potencial de nitrógeno disponible para las plantas (Casanova, 2012). La MOS está compuesta en mayoría de carbono, tiene una capacidad de retener una gran proporción de nutrientes, cationes y oligoelementos esenciales para el crecimiento de las plantas (FAO, 2015).

4.3.4 El carbonato de calcio (CaCO₃)

Es una sal poco soluble que se encuentra naturalmente en varias formas y en varios grados de concentración en el suelo. Se utiliza para neutralizar el pH de suelos ácidos y para suministrar el nivel de Calcio (Ca) para la nutrición de las plantas. Cuando forma complejos insolubles con otros elementos, son difíciles de asimilar por las plantas llevando a su acumulación. Cantidades excesivas de calcio puede por ello restringir la disponibilidad de fósforo, boro y hierro para las plantas (FAO, 2015).

4.3.5 Salinización del suelo

Proceso que se refiere a la acumulación de sales solubles en agua en el suelo, las sales se pueden acumular en la superficie del mismo si al encontrarse en un nivel freático salino se transportan con el agua a la superficie del suelo mediante ascenso capilar, y una vez ahí el agua se evapora. Las sales también pueden acumularse naturalmente la intrusión de agua marina. Una salinización elevada resulta en la degradación de los suelos y la vegetación. Las sales más comunes se encuentran en combinaciones de los cationes de sodio, calcio, de magnesio y de potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos (FAO, 2015).

4.4 Nutrientes para las plantas

La cantidad de nutrientes presente en el suelo determina su potencial para alimentar organismos vivos. Los 16 nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas se suelen clasificar entre macro y micro nutrientes dependiendo de su requerimiento para el desarrollo de las plantas. Los macronutrientes se requieren en grandes cantidades e incluyen Carbono(C), Hidrógeno (H), Nitrógeno(N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (FAO, 2015).

4.4.1 Carbono Orgánico del Suelo (COS)

Mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la retención de humedad y contribuye a lograr la estabilidad de suelos arcillosos al aglutinar las partículas para formar agregados (FAO, 2015).

4.1.2 Nitrógeno

Es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas y es el más ampliamente distribuido en la naturaleza. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio NH_4^+ o aniónica de nitrato NO_3^- . A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente (FAO, 2015).

4.5 Productividad primaria

Es la velocidad de almacenamiento de materia orgánica en los tejidos vegetales en exceso con respecto a la utilización respiratoria por parte de las plantas durante el periodo de medición (Odum, 1971). La productividad primaria neta es la tasa de materia orgánica en tejidos vegetales que excede el uso respiratorio por las plantas durante el periodo de medición. Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{PPN} = \text{PPB} - \text{R}$$

Dónde:

- PPN= es la productividad primaria neta.
- PPB= es la productividad primaria bruta (es la tasa a la cual la energía radiante se fija por la fotosíntesis de los organismos productores).
- R= es la respiración de los autótrofos (Odum & Barret, 2006).

V JUSTIFICACIÓN

La vida moderna tiene muchos efectos sobre el medio ambiente. Por ejemplo, los centros turísticos se enfrentan a crisis ambientales debido al crecimiento urbano desordenado construido alrededor de esos centros turísticos, lo que trae como consecuencia deterioro del entorno ecológico y pérdida de la identidad cultural de la población local (Palafox, 2003). Si bien las localidades de Mahahual y Xcalak han estado sometidas a una serie de modificaciones por el cambio de uso de suelo y la deforestación del manglar provocado por la urbanización del incipiente desarrollo turístico del área, este no es aún similar al que se ha realizado en la zona norte del estado (Hilares et al., 2010). Por ello es importante generar información básica sobre las condiciones actuales de los ecosistemas que sirvan para orientar posibles medidas de manejo para su conservación o restauración, en caso de ser degradados.

Por lo anterior, es de gran relevancia disponer de información sobre la capacidad de respuesta hacia los nutrientes disponibles, estresores con la productividad de los manglares en la zona de estudio señalada, para generar conocimiento de las condiciones del ecosistema, la dinámica de la estrecha interrelación entre mangle y suelo igual a productividad. Dicha información permita una planeación con enfoque de conservación de zonas prioritarias para así mantener lo mejor posible el desarrollo de las funciones ecológicas del ecosistema manglar como: flujo de materia y energía, retención de sedimentos y nutrientes.

VII. OBJETIVOS

7.1 General

Determinar la relación ecológica de los nutrientes presentes en los sedimentos con la productividad primaria en los manglares.

7.2 Particulares

1. Realizar la caracterización fisicoquímica de las muestras de sedimento de los sitios de estudio.
2. Comparar los resultados de la caracterización fisicoquímica de los suelos entre los sitios de muestreo.
3. Identificar la posible relación que exista entre los nutrientes y la productividad primaria de los sitios de muestreo.
4. Utilizar la información generada para propuestas de manejo de estos ecosistemas.
5. correlacionar los datos de colecta de hojarasca (productividad primaria indirecta) de noviembre 2013, del proyecto “Vulnerabilidad de los ecosistemas costeros, ante el cambio climático” para identificar su relación con las variables (fisicoquímicas del suelo) dentro del análisis estadístico canónico.

VI. HIPÓTESIS

La productividad de los manglares está delimitada por las propiedades fisicoquímicas: pH, C.E., textura, densidad aparente; contenido de nutrientes: Materia Orgánica, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Fósforo del suelos de los cinco sitios estudio en las localidades de Mahahual y Xcalak.

VIII. ZONA DE ESTUDIO

a. Localización

La región de la Costa Maya se encuentra localizada en la costa sur de Quintana Roo y tiene una superficie de 140,530 ha. El corredor Punta Herrero – Xcalak está comprendido entre dos penínsulas: en el vértice, la península Punta Herrero está rodeada por la Bahía de la Ascensión al oeste y norte, mientras que al este se encuentra el Mar Caribe (Figura2). En el vértice sur, la península de Xcalak está limitada al oeste por la Bahía de Chetumal, en la parte sur se conecta con el mar caribe mediante el canal de Bacalar Chico que marca el límite territorial entre México y Belice (Daltabuit, Valenzuela, y Cisneros, 2007).



Figura2. Mapa ubicación

b. Características de la zona

Las características físicas del corredor turístico son: un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano e invierno (A_w (x')) la precipitación media varía de 1300 a 1500 mm. La temperatura promedio es de 26.5 °C (máxima de 28.3 °C en junio y mínima de 24.2°C en diciembre (Daltabuit et al., 2007).

En la zona costa maya entre Mahahual y Xcalak se localiza un **escurrimiento hacia el mar caribe** conocido como **Rio Huach**. Existen también varios cuerpos de agua, algunos intermitentes y otros permanentes como: Mosquitero, Tampalam, Puerto Chico, Uvero, Xcalak, etc. Existen además incontables corrientes subterráneas a poca profundidad que afloran naturalmente a la superficie y reciben el nombre de aguadas (Daltabuit et al., 2007).

La región tiene características peculiares especialmente por **la interconectividad** de ecosistemas terrestres como la **selva baja inundable con los manglares** y estos a su vez con los cuerpos de agua, incluyendo lagunas, bahías y el mar (Daltabuit et al., 2007).

Los ecosistemas lagunares- estuarinos son considerados una **zona de transición** entre dos ecosistemas definidos, tal como lo son el manglar y la laguna arrecifal, por lo que han sido denominados **ecotonos**, con una interesante complejidad biológica (Daltabuit et al., 2007).

c. Caracterización de sitios

En la Costa Maya se encuentra una gran diversidad de ecosistemas, como arrecifes de coral, humedales, lagunas costeras, dunas y selvas, entre otros. En general, todos se encuentran en buen estado de conservación y son susceptibles de ser aprovechados con fines turísticos y pesqueros, principalmente. Un elemento significativo en esta zona es la barrera arrecifal frente a la línea de costa, ya que alberga una gran diversidad de especies, muchas de ellas de importancia comercial. Por su parte, los humedales, con una amplia distribución en la zona, son hábitat que albergan una amplia variedad de flora y fauna silvestre, incluyendo aves migratorias y como centros de reproducción de gran cantidad de especies de peces y crustáceos, muchos de ellos de importancia comercial; así mismo, funcionan como trampa de sedimentos y contaminantes.

Asimismo, existe una gran cantidad de lagunas costeras distribuidas a lo largo de la zona, de las cuales dos de ellas sobresalen por estar conectadas al mar. Una está dentro de la Reserva de Sian Ka'an, y la otra es el sistema lagunar Río Huach, que constituye una asociación de ecosistemas de humedales con comunicación superficial con el mar. Este sistema presenta una elevada productividad, lo que se refleja en la presencia de una biota local abundante y una importante exportación de materiales biogénicos hacia la zona costera adyacente debida al intercambio intermareal.

El área de Costa Maya se localiza en esta última provincia, que se extiende a lo largo del borde centro-oriental del estado; se caracteriza por su relieve escalonado descendiente de poniente a oriente, con poca elevación sobre el nivel del mar. Presenta grandes extensiones inundables, algunas de las cuales permanecen cubiertas por el agua casi todo el año (SARCH-CNA1989, citado por (Torres L & Ruiz R, 2010). La franja costera está formada por rocas sedimentarias marinas de carbonato autogénico y anhidritas López 1974, citado por Torres y Ruiz, 2010). En

el cuadro 1, se describen los tipos de rocas sedimentarias que se encuentran en los sitios de muestreo.

Cuadro1. Caracterización de sitios por su tipo de roca sedimentaria.

Mahahual 1	Litoral.- representa depósitos litorales de arena fina a gruesa constituidos principalmente por fragmentos de corales, espículas de equinodermos, moluscos, ostrácodos, briozoarios y esponjas. En algunos lugares además se presentan acumulaciones de gravas y bloques de corales, así como restos completos de moluscos.
Xcalac 1	
Xcalac 2	
	Palustre.- también presente en la franja litoral, está compuesta por sedimentos lodosos y materia orgánica en descomposición. Es de color oscuro y sustenta un manglar muy denso. La expresión morfológica es de una planicie comunicada con el mar por medio de canales (Río Bermejo, Río sin nombre y Río Huach).
Mahahual 2	Lacustre.- presenta zonas someras en cuencas endorreicas, que son áreas de inundación temporal y se caracterizan por presentar islotes con abundante vegetación. Los constituyentes principales de este tipo de suelos son lodos finos, arenas y lodos calcáreos. La morfología es de planicie y lomeríos incipientes.
Mahahual 3	

Hidrología superficial

La mayor parte de la precipitación pluvial en esta zona se presenta en los meses de mayo a octubre. Debido a la poca pendiente y gran capacidad de infiltración del terreno, alrededor del 80% de la lluvia se infiltra, el restante 20% se distribuye entre la interceptación de la densa cobertura vegetal, el escurrimiento superficial y la captación directa de los cuerpos de agua.

Debido a las condiciones topográficas y geológicas, en esta zona prácticamente no existen escurrimientos superficiales, pero si incontables corrientes subterráneas a poca profundidad que afloran naturalmente a la superficie y reciben el nombre de **aguadas**.

Todos los sitios de muestreo se encuentran en la subcuenca 1430 (a excepción del sitio Mahahual 3 que se encuentra en la subcuenca 3425) y presentan el coeficiente de escurrimiento más alto (20-30 %) de la Costa Maya. El sitio Mahahual 1 presenta un río poco caudaloso que escurre solamente en época de lluvias (Río Bermejo), mientras que los sitios Xcalac 1 y 2 presentan ríos permanentes que conectan lagunas costeras con el mar (río sin nombre en la comunidad de Xcalac y Río Huach respectivamente).

Hidrología subterránea

El sistema hídrico de la Península de Yucatán forma una “Y” invertida, fluyendo hacia el norte y centro del estado de Quintana Roo. Como se mencionó líneas arriba, el 80% de la precipitación media anual penetra al subsuelo incorporándose al acuífero. En ese sentido, el escurrimiento es nulo y la evaporación es elevada debido a las altas temperaturas que se alcanzan; sin embargo, se verifica una circulación hídrica subterránea con una dirección de NW a SE, que en ocasiones

se interrumpe para aflorar en cavernas de diversas dimensiones diseminadas por todo el lugar.

La permeabilidad del sustrato presenta variaciones según la acumulación de sedimentos finos y la proximidad del manto freático, lo que determina la existencia de áreas inundadas, permanentes o estacionales de extensión variable.

d. Sitios de muestreo

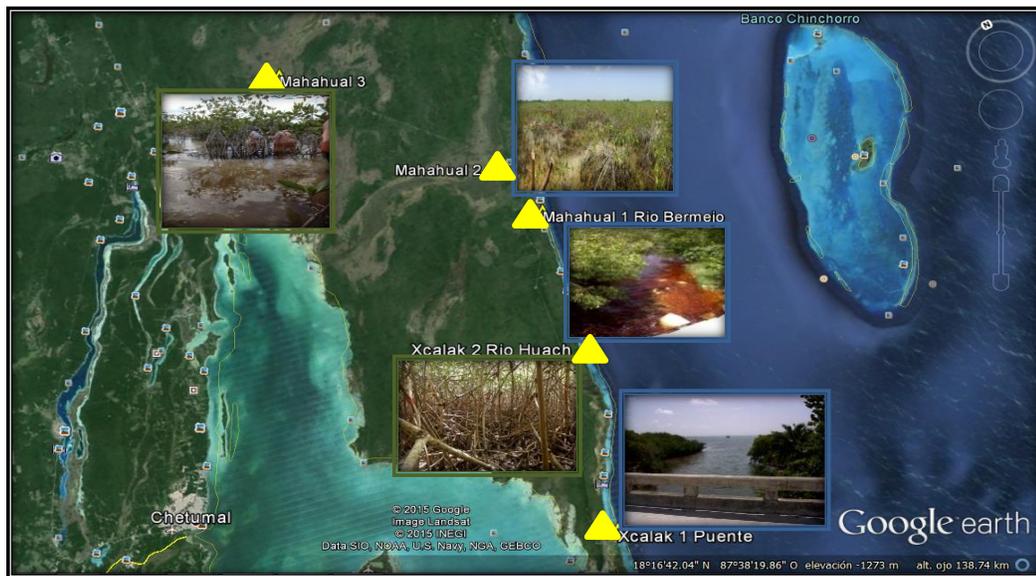


Figura 3. los sitios estudio

La distribución de los cinco sitios de muestreo crea dos transectos. El primero de ellos, a lo largo de la costa, incluye los sitios Xcalak 1 y 2, así como Mahahual 1. Estos sitios se caracterizan por presentar aportes continuos de agua dulce en la forma de ríos, siendo el Río Huach (Xcalac 2) el más caudaloso, mientras que el Río Bermejo (Mahahual 1) el menos caudaloso (de hecho el agua solamente corre superficialmente durante la época de lluvias). Estos tres sitios pueden verse afectados directamente por incrementos en el nivel del mar.

El segundo transecto es perpendicular a la costa y corre del sitio Mahahual 1, tierra adentro hasta el sitio Mahahual 3. Los sitios Mahahual 2 y 3 se localizan en una planicie inundable con predominancia de mangle chaparro, y en la que el único aporte de agua proviene de las precipitaciones pluviales. No hay contacto con las mareas marinas en estos dos últimos sitios (Torres y Ruiz, 2010).

IX. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó dentro del marco del proyecto “Vulnerabilidad de los ecosistemas costeros, ante el cambio climático” (Torres y Ruiz, 2010). La metodología utilizada comprendió cuatro fases: **Precampo, campo, laboratorio y gabinete**. Éstas se describen a continuación.

e. Precampo

Esta fase corresponde a la búsqueda y revisión de información bibliográfica, al repaso de las técnicas de laboratorio para la determinación de los nutrientes en el suelo y al diseño de muestreo. Este consistió en la toma de muestra en el mismo día en cada uno de los sitios de muestreo, los cuales constan de una parcela de 5 x 5 m con una réplica del mismo tamaño; estas parcelas se denominaron plots A y B respectivamente como se esquematiza en la figura 4.

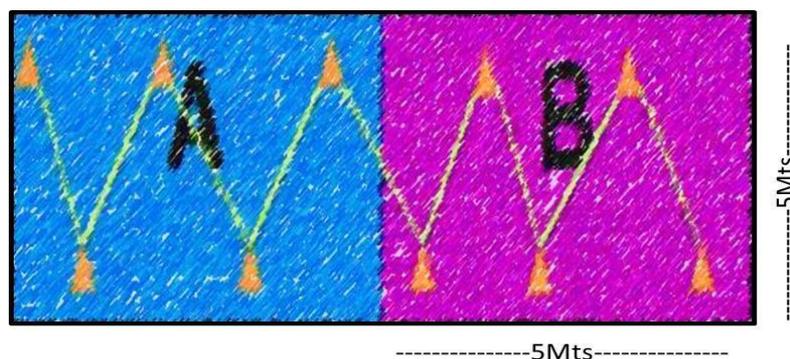


Figura 4. División de parcelas (plots) por cada sitio.

Cuadro 2. Coordenadas de sitios de estudio

Sitio	Plot	Latitud	Longitud
MAH 1	A	18°41'10.60"N	18°43'7.10"O
MAH 1	B	18°41'10.30"N	18°43'6.8"O
MAH 2	A	18°47'5.90"N	18°44'56.10"O
MAH 2	B	18°47'5.80"N	18°44'56.60"O
MAH 3	A	18°58'12.10"N	18°55'49.40"O
MAH 3	B	18°58'12.10"N	18°55'49.10"O
XCAL 1	A	18°16'41.43"N	18°50'8.21"O
XACL 2	A	18°25'14.90"N	18°45'55.90"O

f. Campo

Esta fase consistió en muestreo de suelo, propiamente dicho, en el mes de noviembre 2013 utilizando el método de zigzag, tomando 10 muestras compuestas de forma aleatoria, empleando un nucleador metálico (ver figura 5) . Las muestras fueron depositadas en bolsas con etiqueta de registro y se sometieron a preservación en hielo en una nevera hasta su arribo al laboratorio. El muestreo inicio en la mañana y finalizó en la tarde del mismo día.



Figura 5 Extracción de muestras de suelo en campo.

g. Laboratorio

Esta fase se desarrolló en el laboratorio de suelo agua y planta del Instituto Tecnológico de la Zona Maya (ITZM), en donde se prepararon las muestras para su análisis físico y químico. Se colocaron las muestras en charolas de plástico para su homogeneización y secado (el tiempo necesario). Como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Secado de suelo

Posteriormente se procedió a pulverizar y tamizar las muestras utilizando dos tamices de diferente grueso, uno grueso para análisis físico y otro fino para análisis químico (ver figura 7).



Figura. 7 Pulverizado y tamizado de muestra de suelo seco



Figura8. Metodología empleada para análisis físico químico de suelos de manglar en el laboratorio.

Suelo grueso para análisis físicos

Para el análisis físico se determinaron los parámetros de textura con el método Bouyoucos, (1962) y Densidad Aparente, por el método de la probeta Beaver, (1963) ver figura 9.



Figura 9. Textura de suelo por el método de Bouyoucos.

Suelo fino para los análisis químicos

Se analizaron cinco suelos de muestra compuesta y se extrajeron tres replicas cada uno calculando su promedio, para tener una mayor confianza en el resultados.

El análisis de pH se realizó con el método potenciométrico (Jackson, 1964), la Conductividad Eléctrica método conductímetro (Casanova, 2012), materia orgánica por el método de Walkley y Black (Jackson, 1964), Fosforo por el método Olsen (Olsen & Dean, 1965). Los análisis de sodio y potasio se realizaron con el método de extracción con acetato de amonio y fueron determinados por flamometría (Champan, 1965), y la determinación de calcio + magnesio y calcio se realizó mediante titulación con EDTA (Paneque, 2010) figura 10.



Figura10. Determinación de Calcio y Magnesio método de titulación EDTA.

Análisis químicos en pasta saturada de suelo

Posteriormente se realizaron análisis de sales en extracción de pasta saturada con finalidad de obtener sales disueltas según sea el tipo para la clasificación de suelos salinos con base en el tipo de sal presente.

Para cada muestra de suelo de cada sitio se pesaron en promedio 300gr de suelo fino, el cual se agrega en un recipiente de plástico de 1lt, se le añade agua destilada hasta llevarlo a punto de saturación, mezclándolo con una espátula y golpeando ligeramente contra la mesa de trabajo. El punto de saturación se alcanza cuando la superficie del suelo refleja la luz; al inclinar el recipiente no debe escurrir agua. Seguidamente de obtener la pasta de suelo saturado se deja reposar durante la noche; posteriormente se verificó su humedad, se coloca en un chupatubos para obtener el extracto (agua de suelo) el cual se le aplica los métodos de análisis químicos de suelo fino: pH, conductividad eléctrica, determinación de presencia de sales como Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio,

carbonatos, bicarbonatos con método de titulación ácido sulfúrico (Alvarez & Marin, 2011). Y por último Fósforo ha dicho extracto de la pasta saturada como se esquematiza en la figura 11.



Figura11. Pasta saturada de suelo fino y su extracto (fase líquida).

h. Gabinete

En esta etapa se realizaron los cálculos estequiométricos en una hoja de cálculo en la cual se registraron los valores obtenidos por parámetro al finalizar cada ficha técnica en el laboratorio. La estimación de las concentraciones de los parámetros en los suelos de los sitios se usó para su interpretación. Para conocer las concentraciones de los parámetros de los análisis de suelos de los sitios para su interpretación. Posteriormente se realizó el análisis estadístico de correlación canónica entre los datos parámetros fisicoquímicos de los suelos de los sitios (debido a las condiciones ambientales son diferentes entre sí) y los datos de hojarasca de noviembre 2013 convertidos en unidades de kg ha^{-1} mensual respectivamente. Para asignarlos en el apartado de resultados y discusión.

X. RESULTADOS

A continuación en el cuadro 3 se presentan los resultados de análisis realizados a los suelos de los sitios de estudio.

Cuadro 3. Resultado de análisis fisicoquímicos de los suelos de cinco humedales en las localidades de Mahahual y Xcalak.

SITIOS	MAH1	MAH2	MAH3	XCAL1	XCAL2
*Ph	7.63	7.46	7.54	8.2	7.45
*C.E. ds.m ⁻¹	7.25	2.87	7.87	4.57	7.87
*D.A. gr/cm ³	0.78	0.66	0.79	1.06	0.54
*M.O.%	7.42	6.88	13.77	6.8	23.31
*N %	0.37	0.34	0.68	0.34	1.16
*C %	4.3	3.99	0.3	3.87	13.52
*P ppm	15.7	147.8	149.4	11.9	45.7
*K ppm	4286	4840	2471	3681	5344
*Mg ppm	723.39	428.64	244.41	222.4	411.49
*Ca ppm	22	32	29.6	22	24.6
*Na ppm	3324	405	1662	2716	5999
% ARENA	73.42	0	18.52	87.72	81.42
% ARCILLA	11.98	16	8.48	8.28	11.98
% LIMO	14.6	84	73	4	6.6
TEXTURA FAO	Arena	Limo	Limo	Arena	Arena
USDA 1995	Entisol	Typichy- draquents	Entisol aquents	Arents	Entisol arena- fluvaquents

pH: Potencial de Hidrogeno.

M.O%: Porcentaje de materia orgánica en suelo.

N% Porcentaje de nitrógeno orgánico en suelo

C%: Porcentaje de carbono en el suelo

P ppm: Fósforo en concentración partes por millón en el suelo partes por millón.

Na ppm: Sodio en concentración partes por millón en el suelo en partes por millón.

Mg ppm: Magnesio en concentración partes por millón en el suelo en partes por millón.

Ca ppm: Calcio en concentración partes por millón en el suelo en partes por millón.

K ppm: Potasio en concentración partes por millón en el suelo en partes por millón.

D.A: Densidad aparente

C.E.: Conductividad eléctrica en decisiemens /centímetros

A continuación se explicaran los resultados obtenidos por sitio, discutiendo los valores obtenidos para cada componente analizado. Primero se presentan los análisis fisicoquímicos de los suelos, después los análisis químicos en pasta saturada, para obtener clasificación de suelos salinos (por cantidades significativas de sales presentes) según por su CE y PSI (Camacho & Fernandez, 2008).

i. Mahahual 1



Figura12. Sitio Mahahual 1 tipo de manglar de cuenca.

El manglar de este sitio es de tipo de cuenca (ver figura 12), debido a su ubicación, condiciones ambientales y propiedades fisicoquímicos del suelo. Por localizarse en orillas del río conocido localmente como Río Bermejo, tiene características de tipo ribereño, con dominancia de manglar rojo y blanco, tiene aportes constantes de agua dulce, lo que ocasiona grandes niveles de inundación. La combinación de entradas de agua dulce y nutrientes provenientes del estuario, lo hace un sistema muy productivo (Citrón & Schaffer, 1985) Debido a las condiciones de inundación, el suelo es anóxico, lo que propicia la descomposición acelerada de materia orgánica.

A continuación se muestra en el cuadro 4 los resultados de los análisis fisicoquímicos de suelo que se obtuvieron en este sitio.

Cuadro.4 Análisis fisicoquímico de suelo del sitio Mahahual 1

A continuación se muestran los cuadros 5 y 6 de los resultados de los análisis químicos (conductividad eléctrica, pH y carbonatos) en pasta saturada de suelo que se obtuvieron del sitio Mahahual 1 respectivamente.

SITIO MAH1	*pH	*C. E. ds. m⁻¹	*D.A . gr/c m³	*M.O . %	*N %	*C %	*P pp m	*K pp m	*Mg ppm	*C a pp m	*N a pp m	% ARE NA	% ARCIL LA	% LIM O	Clasifica ción FAO
	7.63	7.2 5	0.78	7.42	0.3 7	4.3	15. 7	42 86	723. 39	22	33 24	73.42	11.98	14. 6	Arena
Interpreta ción	Alcali no	NA	NA	Alto	NA	Med ia	Ric o	Alt o	Nor mal	NA	NA				

Cuadro 5 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 1.

Sitio	RAS	PSI	C.E Ds.m⁻¹	pH	Interpretación
MAH1	172.18	71.648	10.53	7.8	Sódico- salino

RAS: Relación de absorción de sodio

PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

Cuadro 6 Categoría de carbonatos en pasta saturada de suelo

Sitio	%CO₃	Interpretación
MAH1	0.075	Bajo

CO₃: Carbonato

pH

Con base al resultado obtenido del parámetro pH del sitio con valor de 7.63, es de tipo alcalino como lo muestra en el cuadro 4 .La alcalinidad se presenta cuando existe un alto grado de saturación de bases. La presencia de sales especialmente de calcio, magnesio y sodio (debido a la intrusión marina al sitio por su ubicación el cual desemboca directo al mar) otras en formas de sales son los carbonatos (material calizo) da también preponderancia a los iones (OH-) sobre los iones (H+) en la solución del suelo (Huerta, 2010).

Materia orgánica

Por ser un sitio ubicado en la franja litoral costera se encuentra inundado semipermanentemente durante todo el año, debido a la planicie comunicada con el mar , por la cual la materia orgánica presente está en descomposición rápida la cual es favorecida por su coloración oscura por la presencia de sustancias húmicas , (Rodríguez, Ramírez, y Sustaita, 1994) ; estas sustancias tienen la capacidad de retener cantidades significativas de agua, hasta cuatro veces su propio peso de agua aunque solamente la mitad está disponible para la vegetación igualmente por su ubicación, en Este sitio al ubicarse dentro de una cuenca y cercano al mar bajo condiciones de inundación permanente, la materia orgánica puede exportarse en forma disuelta, en forma de partículas suspendidas (Mendoza y Castro, 2010). Su contenido de MO en el sitio es alto.

Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.

Casi todos los suelos de la zona son muy ricos en magnesio, potasio, sílice y aluminio, pero bajos en fosforo y manganeso (Malgorzata, 1997).

Para el contenido bajo de fósforo en este sitio podría deberse a diversos factores entre ellos los siguientes:

- El alto contenido sales: sodio, potasio, magnesio y calcio, incrementa la salinidad en la solución del suelo.

- Con un pH sobre 7.5 favorece la formación de fosfato de calcio en el suelo debido a la combinación de iones.
- La intrusión marina que recibe el sitio por su conexión directa al mar permite la introducción de sales contenidas del agua marina; las cuales pueden provocar un efecto **antagónico entre el** fósforo y el potasio por lo que el fósforo del suelo que no pueda ser aprovechado por los manglares (Rodríguez et al., 1994).

Con las altas concentraciones de sales presentes (Ca, Mg y Na) en los sitios se realizó para complementar su categorización de suelos salinos, a partir del cálculo de RAS, PSI, C.E., pH, y salinidad para percibir el efecto negativo de alcalinidad o sodicidad (Vázquez y Bautista, 1993). Para este sitio es tipo de suelo salino-sódico con una salinidad alta como indica el cuadro 5 de pasta saturada. Para complementar esta investigación se realizó el análisis de carbonatos (CO_3) en la pasta saturada de los suelos de los sitios estudios y ver su efecto de la presencia de esta sal (Camacho y Fernández, 2008); como se muestra en el cuadro 7; el cual refleja que se encuentra en nivel bajo, por lo tanto, su efecto antagónico es mínimo en comparación con las otras sales.

Densidad aparente

El valor obtenido de este parámetro es bajo como lo muestra la tabla, debido a que el sitio se encuentra saturado (inundado) esto significa que la cantidad de las partículas presentes en el suelo es de menor en comparación de los espacios porosos saturados de agua.

Los suelos arenosos superficiales tienen del 35 al 50% de espacio poroso (E_p , es la porción del suelo no ocupada por partículas sólidas. Está ocupado por agua y aire (Ortiz y Ortiz, 1990).

Conductividad eléctrica

Con relación a este parámetro se observa un valor alto presente en el suelo indica la presencia de cantidades significativas de sales disueltas incrementa la salinidad o alcalinidad del suelo lo cual afecta de manera directa a la mayoría de los vegetales, sin embargo los mangles se adaptan a condiciones extremas en comparación con otras plantas según la especie, esto refleja a la capacidad de tolerancia al estrés salino del sitio (alto contenido de sales en el suelo).

Al haber un alta cantidad de sales de sales disueltas en el suelo (Calcio) claramente se muestra en cuadro 4, es decir la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la salinidad y uno de los efectos que las plantas afectadas por sales son **achaparradas** con hojas verdes opacas, las cuales, en algunos casos, son delgadas y más suculentas que lo normal, lo cual produce un estrés salino (Valdés, 2010).

Textura

Para este sitio, su textura de tipo franco arenoso (textura gruesa), en donde predomina el porcentaje de arena. Las partículas arenosas por su tamaño, aumentan el tamaño de los espacios porosos, lo cual facilitan el drenaje de agua en el suelo (rapidez de infiltración del suelo) así como el arrastre de nutrientes por la circulación de agua (desembocadura al mar).

j. Mahahual 2



Figura 13. Sitio Mahahual 2 tipo de manglar chaparro.

Este sitio pertenece al tipo de manglar chaparro debido a sus características ambientales (inundación, ubicación y propiedades del suelo). Se encuentra localizado lejos de la costa, son pocos productivos, por crecer bajo condiciones de deficiencia de nutrientes en el sedimento (Citrón et al., 1985).

A continuación se muestra en el cuadro 7 los resultados de los análisis fisicoquímicos de suelo que se obtuvieron.

Cuadro7. Análisis fisicoquímico de los suelos del sitio Mahahual 2.

Sitio	pH	C.E. ds/cm	D. A.	M. O. %	N %	C %	P pp m	Na ppm	Mg ppm	Ca ppm	K pp m	ARE NA	LI M O	ARCI LLA	Clasific ación FAO
MAH2	7.46	2.87	0.	6.8	0.	3.	147	405	428.	32	484	0	84	16.28	Limo
Interpre tación	ligeramente alcalino	NA	N A	Alto	N A	B aj a	Ric o	NA	Nor mal	NA	Alto				

A continuación se muestran los cuadros 8 y 9 de los resultados de los análisis químicos (conductividad eléctrica, pH y carbonatos) en pasta saturada de suelo que se obtuvieron del sitio Mahahual 2 respectivamente.

Cuadro8. Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 2.

Sitio	RAS	PSI	C.E Ds.m ⁻¹	pH	Interpretación
MAH2	26.68	27.603	3.56	7.82	Sódico – salino

RAS: Relación de absorción de sodio

PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

Cuadro9. categoría de carbonatos de pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 2

Sitio	%CO ₃	Interpretación
MAH2	0.0195	Bajo.

CO₃: Carbonato.

pH

(Cuadro 7) muestra el valor de este parámetro es ligeramente menor del anterior sitio, esto podría ser que permanece inundado de manera permanente durante el daño, por la aportación de agua subterránea y precipitaciones (Cano, 2014).

Materia orgánica

De igual manera descendió la cifra de este parámetro en comparación del anterior sitio, la principal causa es la inundación permanente de dicho sitio, lo que significa el agua ocupa los espacios porosos del suelo (hasta saturación), provoca descomposición lenta de la materia orgánica esto ocasiona que los nutrientes no pueden ser asimilados por las plantas (minerales disponibles) así como ausencia de circulación.

Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.

(Reef, Feller, y Lovelock, 2010) Mencionan que el **fosforo** (P) en los suelos de manglares puede ser inmóvil y no está disponible para el uso de la planta, por lo tanto los organismos que solubilizar P puede tener implicaciones importantes para el crecimiento de plantas, especialmente en entornos de nutrientes limitados. Como se mencionó en el anterior sitio principalmente, por efecto de antagonismo se observa que aumento el valor de **Potasio y Calcio** en comparación del sitio anterior. Se destaca la baja de sales de **Magnesio y Sodio** en el sitio principalmente se debe su lejanía a las costa por estar en la zona continental (a 6km de la costa) esto influye de manera directa y disuelven ciertas sales presentes, lo que ocasiona la baja de salinidad (salobre), como se mencionó anteriormente, la aportación de agua subterránea y precipitación.

Para este sitio, su categorización de suelo salino es tipo salino con una salinidad escasa como indica el cuadro 8 de pasta saturada (Vázquez y Bautista, 1993). Para complementar esta investigación se realizó el análisis de carbonatos (CO₃) en la pasta saturada de los suelos de los sitios estudios y ver su efecto de la

presencia de esta sal; como se muestra en el cuadro 11; el cual refleja que se encuentra en nivel bajo, por lo tanto, su efecto antagónico es mínimo en comparación con las otras sales (Camacho y Fernández, 2008).

Densidad aparente

Se observa este sitio con baja densidad aparente, característica de los suelos con alta materia orgánica como indica el cuadro 11 (Huerta, 2010); debido a la relación directa de las partículas de la fracción sólida de suelo (tamaño de partículas dominantes), esto es el tipo de textura del suelo y en este caso por ser un sitio inundado permanente (saturado de agua).

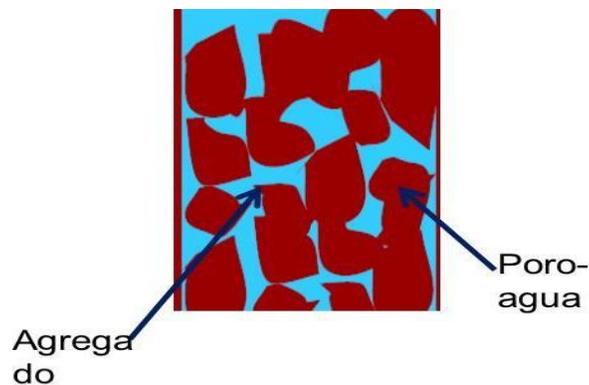


Figura 14. suelo inundado por efecto de partículas finas.

Los suelos con textura más fina tienen del 40 al 60% de espacio poroso o E_p (es la porción del suelo no ocupada por partículas sólidas. Está ocupado por agua y aire (Ortiz & Ortiz, 1990).

Conductividad eléctrica

Se observa una baja de sales disueltas (Mg, Ca y K) como señala el cuadro 7, influye directamente el decremento de conductividad eléctrica del sitio (baja de salinidad).

Textura.

Es franco limoso (textura mediana), predomina los limos tienen gran capacidad de retener agua (suelos fangosos inundados, tipo gleysol) se sienten al tacto suaves, semejantes a un polvo y tienen poca tendencia a reunirse o a adherirse a otras partículas (Huerta, 2010).

k. Mahahual 3



Figura 15. Sitio Mahahual 3 tipo de manglar chaparro.

De igual manera al anterior sitio anterior (Mahahual 2) es tipo de **manglar chaparro** al cumplir con similares características ambientales (Citrón et al., 1985).

A continuación se muestra en el cuadro 10 los resultados de los análisis fisicoquímicos de suelo que se obtuvieron.

Sitio	pH	C.E. ds/cm	D. A.	M.O .%	N %	C %	P pp m	Na ppm	Mg ppm	Ca ppm	K pp m	ARE NA	LI MO	ARCI LLA	Clasific ación FAO
MAH3	7.54	2.07	0. 79	13.7 7	0. 68	0. 3	149. 4	1662	244.4 1	29.6	247 1	18.5 2	73	8.48	Limo
Interpret ación	alcali no	NA	N A	Alto	N A	Ba ja	Rico	NA	Bajo	NA	Alto				

Seguidamente se muestran los cuadros 11 y 12 de los resultados de los análisis químicos (conductividad eléctrica, pH y carbonatos) en pasta saturada de suelo que se obtuvieron del sitio Mahahual 3 respectivamente.

Cuadro 11 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 3.

Sitio	RAS	PSI	C.E Ds.m ⁻¹	pH	Interpretación
MAH3	142.002	67.572	8.15	7.68	Sódico- salino

RAS: Relación de absorción de sodio

PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

Cuadro 12 categoría de carbonatos de pasta saturada de suelo del sitio Mahahual 3

Sitio	%CO ₃	Interpretación
MAH3	0.012	Bajo

CO₃:Carbonatos

pH

Para este sitio el pH es alcalino con base a la literatura consultada. Se encuentra en similares condiciones de inundación que anterior (Mahahual 2) a diferencia de distancia de lejanía a la costa es de 35km, esto significa se encuentra dentro de tierra firme.

Materia orgánica

En suelos inundados la velocidad de descomposición es menor debido a la exclusión de oxígeno (Rodríguez et al., 1994). Como se mencionó del primer sitio (Mahahual 1), Rodríguez et al., (1994) menciona que por la presencia de sustancias húmicas, las cuales tienen la capacidad de retener cantidades substanciales de agua, hasta cuatro veces su propio peso de agua aunque solamente la mitad está disponible a la planta.

Es un sitio rico en nutrimentos presenta limitaciones por inundación, manto freático expuesto y sodicidad lo cual impide su aprovechamiento para los manglares.

Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.

Este sitio comparte factores que afectan a la asimilación de fósforo en los manglares como se mencionó en Mahahual 1 y 2:

- El contenido de fosforo disponible para las plantas está determinado por el pH del sitio 7.54 alcalino, lo cual favorece la solubilidad de fosfatos de calcio (se precipitan reduce la disponibilidad de P asimilación por los manglares (Rojas, 2009).
- En comparación del sitio Anterior (Mahahual 2) comparten cierta similitud de condiciones inundable, se aprecia el aumento de contenido sales: **Sodio, Magnesio y Calcio** (salinidad) en la solución del suelo.
- Efecto de Antagonismo del Fosforo con Calcio en forma de fosfato de calcio y otras sustancias.

Para este sitio, su categorización de suelo salino fue de suelo salino- sódico con una salinidad alta como indica el cuadro 15 de pasta saturada. Para complementar esta investigación se realizó el análisis de carbonatos (CO_3) en la pasta saturada de los suelos de los sitios estudios y ver su efecto de la presencia de esta sal; como se muestra en el cuadro 15 la cual refleja que se encuentra en nivel bajo no por lo tanto, su efecto antagónico es mínimo en comparación con las otra sales.

Densidad aparente

Al presentar una densidad aparente baja 0.79 como indica el cuadro 10, esto significa que es un suelo siempre inundado, saturado por la mayor parte de fracción agua y con relación directa de su tipo de partículas presentes (textura); más adelante se desarrollará.

Los suelos con textura más fina tienen del 40 al 60% de espacio poroso o E_p (es la porción del suelo no ocupada por partículas sólidas. Está ocupado por agua y aire (Ortiz y Ortiz, 1990).

Conductividad eléctrica

Con base a los resultados obtenidos que indica el cuadro 10, también se aprecia en este sitio, la baja de sales (Mg, Ca y K) que en consecuencia provoca el descenso de la conductividad eléctrica.

Textura

El tipo de textura que presenta este sitio en donde predominan los limos como señala el cuadro 10 , el suelo tiene la capacidad de retener agua (inundado), son suaves como polvo y con poca tendencia unirse a otras partículas (Huerta, 2010).

I. Xcalak 1



Figura 16. Sitio Xcalak 1 tipo de manglar de cuenca.

Este sitio es tipo de manglar de cuenca por estar ubicado en depresiones tierra adentro detrás del manglar de tipo de franja, la fuerza de la marea es baja ocasiona alta salinidad. Son dominados por el mangle negro y blanco la superficie está cubierta por alta densidad de neumatóforos de estas especies el grado de desarrollo depende de la magnitud de escurrimiento y frecuencia de inundación (Citrón et al., 1985)

A continuación se muestra en el cuadro 13 los resultados de los análisis fisicoquímicos de suelo que se obtuvieron.

Sitio XCAL1	pH	D. A	C.E. ds. m ⁻¹	M.O. %	N %	C %	P pp m	Na pp m	Mg pp m	Ca pp m	K pp m	TEXTURA			Clasificaci ón FAO
												Arena %	Limo %	Arcilla %	
Interpretaci ón	8.2	1.0 6	4.57	6.8	.3 4	3.8 7	11. 9	271 6	222	22	368 1	87.72	4	8.28	
	Alcalin o	NA	NA	Alto	N A	Baj a	Ric o	NA	Baj o	NA	Alto				Arena

Posteriormente se muestran los cuadros 14 y 15 de los resultados de los análisis químicos (conductividad eléctrica, pH y carbonatos) en pasta saturada de suelo que se obtuvieron del sitio Xcalak1 respectivamente.

Cuadro 14. Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 1.

Sitio	RAS	PSI	C.E Ds.m ⁻¹	pH	Interpretación
XCAL1	235.334	73.211	11.4	7.8	Sódico- salino

RAS: Relación de absorción de sodio

PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

Cuadro 15. categoría de carbonatos de pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 1

Sitio	%CO ₃	Interpretación
XCAL1	0.021	Bajo

CO₃:Carbonatos

pH

Como se observa en la cuadro 13, por su valor este sitio es tipo alcalino lo cual indica la presencia dominante de sales intercambiables como el Sodio y Potasio ya se por acumulación o deposición natural.

Cualquier proceso que pueda aumentar el contenido de sales solubles (Ca, Mg, K y Na) Contribuirá a la reducción de la acidez y **aumento** de la **alcalinidad**. Por ejemplo el proceso de adición de materiales como las calizas (deposición). Las condiciones que permiten a las bases intercambiables permanecer en el suelo aumentaran también los valores de pH, mayor a 7 indica la presencia de Sodio (Huerta, 2010).

Este sitio comparte con el Mahahual 1 dicho incremento de Sodio principalmente, debido a su ubicación y cercanía al mar, en consecuencia se denota la influencia directa de la intrusión salina marina.

Materia orgánica

La baja de materia orgánica que se registra en este sitio podría ser por su remoción por movimiento intermareal en forma de materia orgánica particulada (detritus) de los manglares hacia el mar o cuerpos de agua cercano al sitio, incrementando aún más su propia y elevada productividad primaria (Díaz, 2012). En consecuencia el ser un suelo alcalino favorece la baja de materia orgánica provocando bajo contenido de nitrógeno (FAO, 2015).

La alta salinidad retarda la degradación de materia orgánica recién incorporada al suelo (hojarasca).

Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.

Para el contenido bajo de fósforo en este sitio podría ser por diversos factores como:

- Alto contenido sales: sodio, potasio, magnesio y calcio (salinidad) en la solución del suelo.
- Con un pH sobre 7.5 favorece la formación de fosfato de calcio en el suelo.
- La intrusión marina (subterránea y superficial) que recibe el sitio por su conexión directa al mar produce la introducción de sales contenidas del agua marina como se muestra en el cuadro 13; las cuales pueden provocar efecto **antagónico** (fosforo- potasio) y el fosforo del suelo que no pueda ser aprovechado por los manglares (Rodríguez et al., 1994).

Cuadro 16. Sales de agua de mar.

TIPOS DE SALES EN EL AGUA DE MAR (Badia,1992)		
SALES	g l ⁻¹	%
NaCl	27.21	77.76
MgCl ₂	3.81	10.88
MgSO ₄	2.32	6.62
Total	35.00	100.00

NaCl: Cloruro de sodio

MgCl₂: Cloruro de magnesio II

MgSO₄: Sulfato de magnesio.

Es un suelo alcalino o sódico por la alta concentración de sales solubles y/o sodio intercambiable en las arcillas como el cloruro de sodio o de magnesio (Badia, 1992).

Para este sitio, su categoría de suelo salino también fue de suelo salino- sódico con una salinidad alta como indica el cuadro 13 de pasta satura. Para complementar esta investigación se realizó el análisis de carbonatos (CO_3) en la pasta saturada de los suelos de los sitios estudios y ver su efecto de la presencia de esta sal; como se muestra en el cuadro 15 el cual refleja que se encuentra en nivel bajo, por lo tanto, su efecto antagónico es mínimo en comparación con las otra sales.

En entornos de alta salinidad, K también es de vital importancia para la regulación osmótica (Downton, 1982) y ayuda a formar el potencial eléctrico necesario para facilitar la absorción de agua contra el fuerte sal externa (principalmente Na) gradiente. Se ha demostrado que K + deficiencias en manglares como en otras plantas para resultar en la pérdida de la función de la clorofila y fotosintética como efecto de hojas opacas (Ball et al., 1987). La disponibilidad de K en suelos de manglares es variable, y hay alguna evidencia de limitación K en algunos manglares (Ukpong, 1997). Mäser et al., (2002) señala que debido a las condiciones salinas, Na + pueden interferir con la absorción de K + reduciendo así la eficiencia de la captación de K + del suelo lo que significa el efecto antagónico entre nutrientes. Por lo anterior, en este sitio por la **alta sodicidad** como indica el cuadro 13, con alto valor de sodio presente, la especie predominante de manglar es el mangle negro (*Avicenia germinans*) es tolerante a alta salinidad (hasta 90ppm) (debido a que posee glándulas secretoras de sal en las hojas) y baja inundación estas condiciones se cumplen en dicho sitio (Jiménez, 1994). Como se muestra en la figura.17



Figura.17 Hojas de mangle negro con cristales de sal.

Densidad aparente

Con el resultado obtenido es un suelo denso, indica baja estructura y estabilidad a causa del alto contenido de sodio y otras sales (Calcio, Magnesio y Potasio) como indica el cuadro 13.

Conductividad eléctrica

El bajo contenido de este parámetro (4.57) en el sitio como se señala en el cuadro 12, se debe a que las sales solubles (su contenido es de Ca y Mg es menor al de K y Na) en comparación del sitio Mahahual 1 que todas son elevadas provocan una alta CE de 7.25 ds/cm^3

Textura

Por su tipo de textura es un sitio arenoso, lo cual permite el drenaje y facilita la escorrentía (lavado de suelo), aumento el tamaño de los espacios de los poros entre las partículas (suelo denso) también favorece al lavado de nutrientes del suelo y lo poco de ellos retenidos son aprovechados por los manglares por su

capacidad de plasticidad y de ser oportunistas de nutrientes(Reef et al., 2010) debido el uso de mecanismo de eliminación de sales (secreción de sales) por la evapotranspiración en las hojas, adaptaciones como el desarrollo de neumatóforos (raíces aéreas) en el caso del mangle negro (*Avicenia germinans*) presente en el sitio (Cano,2014).

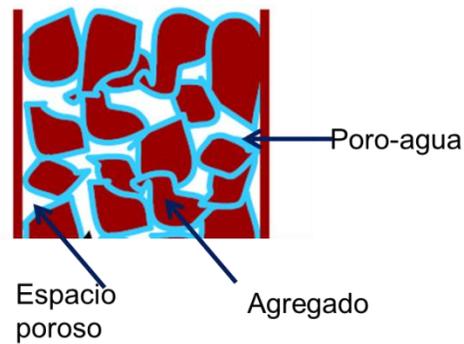


Figura 18. Esquema de suelo drenado.

m. Xcalak 2



Figura 19. Sitio Xcalak 2 tipo de manglar de cuenca

Este sitio cumple con las condiciones ambientales (ubicación, propiedades del suelo, entre otros) similares al sitio Mahahual 1 es tipo de **manglar de cuenca**. Se localiza en línea de costa y en orillas de canales, ríos o lagunas, dominancia de manglar rojo y blanco, tiene aportes constantes de agua dulce, lo que ocasiona grandes niveles de inundación (Citrón et al., 1985). La combinación de entradas de agua dulce y nutrientes provenientes del estuario, lo hace un sistema muy productivo.

A continuación se muestra en el cuadro 17 los resultados de los análisis fisicoquímicos de suelo que se obtuvieron.

Sitio	pH	D.A.	C.E. Ds.m ⁻¹	M.O. %	N %	C %	P ppm	Na ppm	Mg ppm	Ca ppm	K Ppm	TEXTURA			Clasificación FAO
												Arena %	Limo %	Arcilla %	
XCAL2												81.42	6.6	11.98	
Interpretación	7.45 Ligera mente alcalino	.54 NA	7.87 NA	23.31 Alto	1.16 NA	13.52 Alta	45.7 Rico	5999	411 Normal	24.6 NA	5344 Alto				Arena

Posteriormente se muestran los cuadros 17 y 18 de los resultados de los análisis químicos (conductividad eléctrica, pH y carbonatos) en pasta saturada de suelo que se obtuvieron del sitio Xcalak 2 respectivamente.

Cuadro. 18 Análisis fisicoquímico en pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 2.

SITIO	RAS	PSI	C.E ds.m ⁻¹	pH	Interpretación
XCAL1	406.271	85.684	11.65	7.4	Sódico- salino

RAS: Relación de absorción de sodio

PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

Cuadro 19 categoría de carbonatos de pasta saturada de suelo del sitio Xcalak 2

SITIO	%CO ₃	interpretación
XCAL2	0.015	Bajo

%CO₃:Carbonatos

pH

Este sitio al ser ligeramente alcalino por su valor que se muestra en el cuadro 17, favorece a la asimilación de nutrientes para el crecimiento, desarrollo y gran productividad primaria de los manglares en comparación de los demás sitios anteriormente mencionados.

Materia orgánica

Es un sitio rico en materia orgánica, debido a la gran producción de sustancia húmicas que dan la coloración oscura del suelo y eso favorece a una degradación rápida de la materia orgánica incorporada en forma de hojarasca y demás material vegetal.

Durante el proceso de mineralización, la materia orgánica del suelo actúa como fuente de nutrientes (P y N) esenciales en el desarrollo vegetal (Rodríguez, et al., 1994).

Fósforo, Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y carbonatos.

Es rico en fósforo como indica el cuadro 17, que es aprovechado por los manglares en el sitio existe antagonismo sales solubles como potasio y calcio principalmente, a pesar de ello los manglares asimilan dichos nutrientes. Esto se debe al tipo de textura que favorece la proliferación y desarrollo de raíces que se explicara más adelante.

A pesar de ser un sitio riverero de poco o nula inundación, la intrusión salina marina se ve presente por alto nivel de sodio (sodicidad).

Para este sitio, su categorización de suelo salino también fue de suelo salino-sódico con una salinidad alta como indica los cuadros 18 de pasta satura. Para complementar esta investigación se realizó el análisis de carbonatos (CO_3) en la pasta saturada de los suelos de los sitios estudios y ver su efecto de la presencia de esta sal; como se muestra en el cuadro 19; el cual refleja que se encuentra en nivel bajo, por lo tanto, su efecto antagónico es mínimo en comparación con las otra sales.

Densidad aparente

La densidad es baja como se muestra su valor en el cuadro 17, que favorece el espacio poroso a la infiltración o drenaje, es decir lavado de suelo y reciclado de nutrientes.

Los suelos arenosos superficiales tienen del 35 al 50% de espacio poroso (E_p , es la porción del suelo no ocupada por partículas sólidas. Está ocupado por agua y aire (Ortiz y Ortiz, 1990).

Conductividad eléctrica

La alta conductividad eléctrica refleja la presencia de sales solubles (sodio y potasio principalmente) como indica el cuadro 17, como efecto de sodicidad del suelo.

Textura

Por la presencia de arena y arcilla del suelo favorece al buen drenaje así como aumento de la penetración de las raíces para tener una mejor asimilación de nutrientes (Rodríguez et al., 1994), favoreciendo al desarrollo y mayor productividad primaria es por ello que en este sitio en especial como se aprecia en la figura 19 los mangles se observan muy desarrollados en comparación de los otros sitios anteriores.

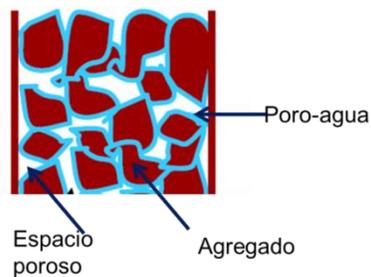


Figura 20. Esquema de suelo drenado

n. Correlación canónica entre sitios

A continuación, el cuadro 20 muestra los datos de producción primaria (hojarasca), que se emplearon junto con los valores obtenidos de los análisis fisicoquímicos de suelo convertidos en $\text{kg}\cdot\text{Ha}^{-1}$. Seguidamente en el cuadro 21 indica el análisis estadístico de tipo correlación canónica usando el programa SAS

Cuadro20. Datos de producción de hojarasca de los sitios estudio.

Sitios	Hojarasca
	Kg- Ha ¹ /mes
MAH1	2745
MAH2	792
MAH3	1791.6
XCAL1	5301.3
XCAL2	7796.7

Cuadro 21. Análisis estadístico de correlación canónica (SAS)

Procedimiento CANCORR
Análisis de correlación canónica

Coeficientes canónicos estandarizados para variables VAR
Produc_mens_ produc*mens* 1.0000 V1

Coeficientes canónicos estandarizados para variables VAR

ARENA	ARENA	0.7119
Kg_HaK	Kg_HaK	0.0666
Kg_HaMg	Kg_HaMg	-0.5672
Kg_Ha_Ca	Kg_Ha_Ca	-0.4485
Kg_Ha_N	Kg_Ha_N	0.0000
C_E_ds_cm	C#E#ds/cm	0.0000

Procedimiento CANCORR
Estructura canónica

Correlaciones entre variables VAR y sus variables canónicas
Produc_mens_ produc*mens* 1.0000 V1

Correlaciones entre variables con y sus variables canónicas

ARENA	ARENA	0.8160
Kg_HaK	Kg_HaK	0.2554
Kg_HaMg	Kg_HaMg	-0.2439
Kg_Ha_Ca	Kg_Ha_Ca	-0.5882
Kg_Ha_N	Kg_Ha_N	0.6334
C_E_ds_cm	C#E#ds/cm	0.7059

Cuadro 22. Datos analizados de tipo correlación canónica.

	<i>Kg·Ha⁻¹Ca.</i>	<i>Kg·Ha⁻¹Mg.</i>	<i>Kg·Ha⁻¹P</i>	<i>Kg·Ha⁻¹K</i>	<i>Kg·Ha⁻¹N</i>	<i>Hojarasca Kg·Ha⁻¹</i>	<i>pH</i>	<i>C.E. ds/cm</i>	<i>%ARENA</i>	<i>%LIMO</i>	<i>%ARCILLA</i>
Kg·Ha⁻¹ Ca.	1										
Kg·Ha⁻¹ Mg.	-0.31105	1									
Kg·Ha⁻¹P	0.498256	-0.44506	1								
Kg·Ha⁻¹K	-0.03548	0.345622	-0.73114	1							
Kg·Ha⁻¹N.	-0.35681	-0.54768	0.024011	-0.57508	1						
Hojarasca Kg·Ha⁻¹	-0.58819	-0.24392	-0.68471	0.25535	0.63341	1					
pH	0.485473	-0.05305	-0.4939	0.655259	-0.22101	0.23713075	1				
C.E. ds/cm	-0.87762	0.479342	-0.84261	0.368945	0.223968	0.70588132	-0.03918	1			
%ARENA	-0.44072	0.225771	-0.93416	0.51822	0.28241	0.81596913	0.535466	0.786051	1		
%LIMO	0.48952	-0.25908	0.957517	-0.55984	-0.24267	-0.81899379	-0.50501	-0.82324	-0.99614	1	
%ARCILLA	-0.24596	0.20563	0.246528	0.138086	-0.52323	-0.38194366	-0.5617	-0.03931	-0.54061	0.464705	1

Como puede observarse en el cuadro anterior, la variable que está más directamente relacionada con la productividad (hojarasca) en los sitios con mayor influencia es la arena (0.81), seguida por la conductividad eléctrica (0.71); de manera similar, pero inversa la relación más alta con la productividad se da con el limo. Sin embargo, cabe resaltar la posible relación entre el fosforo aprovechable y la productividad, con base en el análisis estadístico mencionado, así como en literatura consultada, en la que se ha encontrado en repetidas ocasiones que la disponibilidad de nutrientes es un importante factor limitante en la productividades de los manglares (Boto y Boto y Wellington 1984; Onuf, Teal y Valiela; 1977; Reef et al., 2003).

A continuación se muestra en las figuras 21–23 la relación entre las variables mencionadas con su efecto sobre la producción de hojarasca de los mangles.

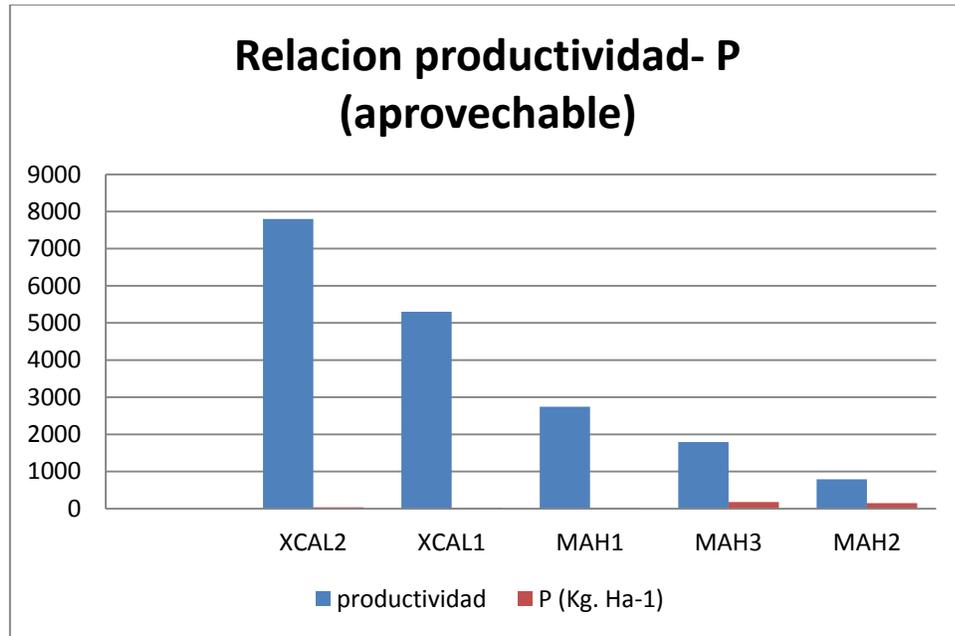


Figura 21 Relación producción hojarasca-P (aprovechable)

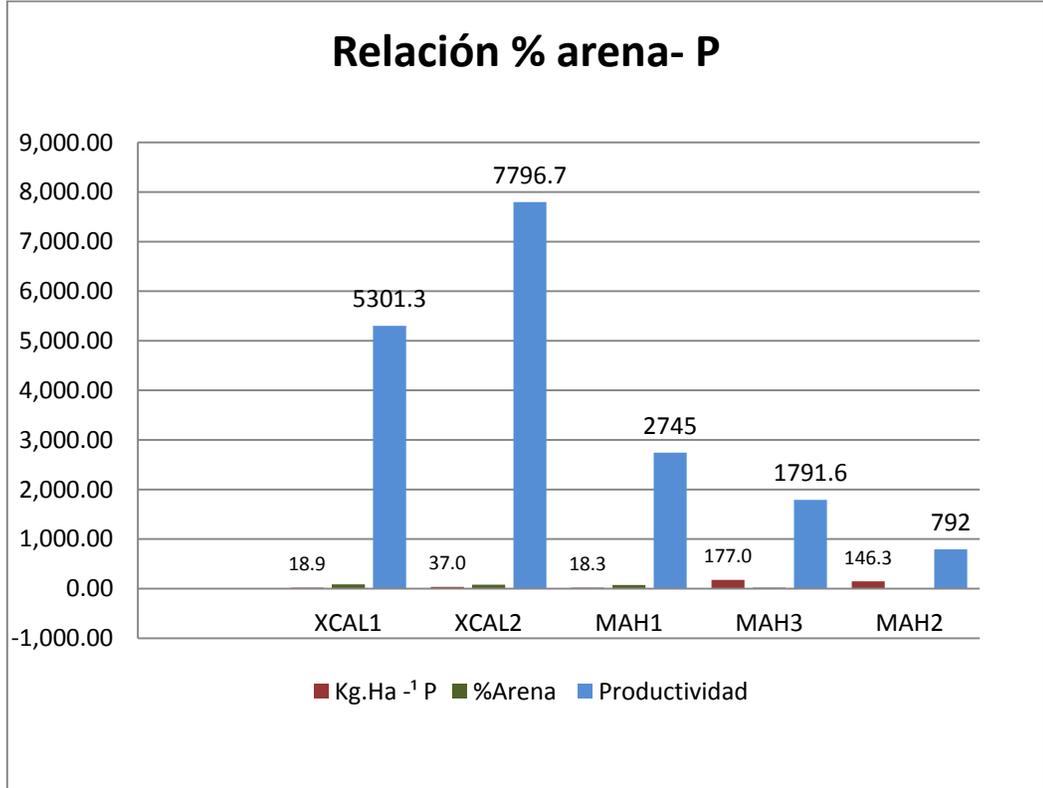


Figura 22 Relación % arena-P (aprovechable)

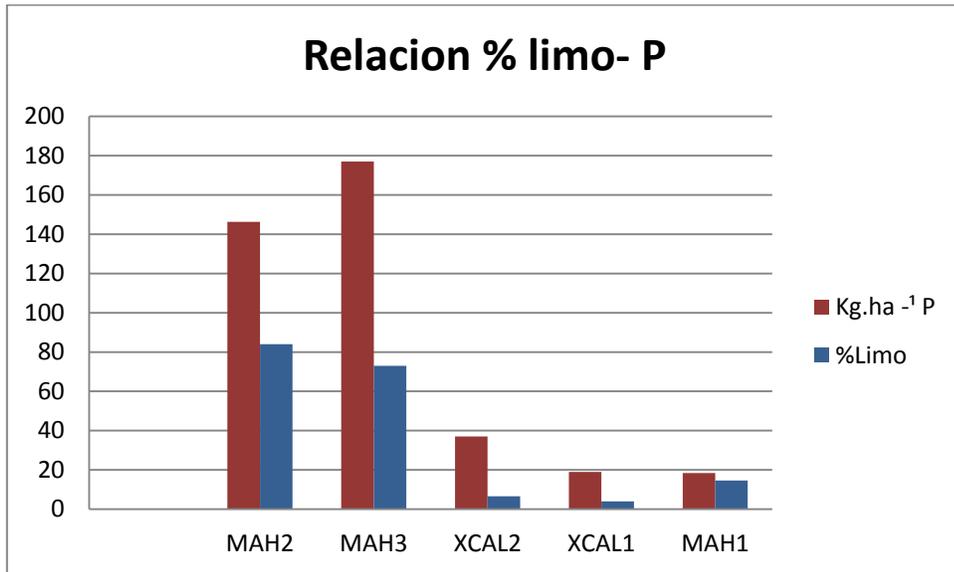


Figura 23 Relación % limo- P (aprovechable)

XII. CONCLUSIÓN

La disponibilidad de los nutrientes estén afectados por factores como: la textura (tamaño de partículas), la salinidad representada por la conductividad eléctrica y el pH. Con base en los resultados e interpretación de los análisis fisicoquímicos realizados, se encontró que la condición de sodicidad del suelo en cuatro de los cinco sitios es de gran relevancia ya que su efecto es negativo porque limita la absorción de minerales por los mangles y en consecuencia se provoca antagonismo (competencia) de nutrientes disponibles para dichas plantas. La limitación nutricional de los mangles se refleja en su productividad; tal es el caso de los sitios Mahahual 3, Mahahual 2 y Mahahual 1 que presentan un gradiente de productividad de menor a mayor en ese orden. En el caso de los sitios Xcalak 2 y Xcalak 1 el primero es más productivo que el segundo, pero ambos tienen mayor productividad que Mahahual 1 (Torres, en elaboración).

Por otro lado, los sitios paralelos a la línea de costa (Mahahual1, Xcalak 1 y Xcalac 2), son los más productivos y favorecidos por ser suelos arenosos, y a pesar de esta condición, Mahahual 1 y Xcalac 1 son los más expuestos a cambios antropogénicos (como cambio de uso de suelos, relleno de terrenos, tala de mangles, construcción de vías de comunicación, o fragmentación de ecosistema) por el desarrollo urbano-turístico, así como por factores naturales (como erosión de suelo, huracanes o intrusión marina) (Travieso, 2005; Badia, 1992), mientras que el sitio menos impactado de estos tres, Xcalak 2 al estar más alejado de los centros de población, por lo que es el más productivo de los 5 sitios, reflejando un mejor estado de conservación. En comparación, los sitios perpendiculares y más lejanos de la costa, presentan una perturbación menor, la cual se dio cuando se construyó la carretera Cafetal – Mahahual.

XIII. RECOMENDACIONES

1. Continuar con este tipo de estudios para conocer la relación suelo-agua-planta, que se refleja en las condiciones del ecosistema. Este conocimiento de línea de base servirá para dirigir cualquier tipo de intervención en los manglares estudiados.

2. La metodología propuesta en este estudio se puede aplicar para el análisis de otros tipos de ecosistemas; de hecho, esta metodología procede de estudios agroecológicos.

3. En el mismo orden de ideas, esta metodología se puede complementar con otros estudios en manglares. Por ejemplo, se puede relacionar las funciones ecosistémicas de circulación de nutrientes con la productividad primaria, o bien con la estructura medida a través de los índices forestales.

4. Continuar con un estudio anual de análisis fisicoquímico de muestras mensuales de suelo y en pasta de saturación.

5. Realizar monitoreo mensual de análisis fisicoquímico de suelo en in situ como mínimo de un año.

6. Realizar muestreos mensuales de agua superficial e intersticial para conocer las variaciones en los valores de su calidad.

7. Realizar un estudio microbiológico de suelo de manglar para conocer más a detalle los microorganismos que favorecen a los procesos bioquímicos que influyen en la fijación (ciclos biogeoquímicos) de nutrientes disponibles para los mangles.

XIV.BIBLIOGRAFIA

- Alongi , D. M. (2009). *The energetics of mangrove forest*. Springer, Dordrecht.
- Alongi. (1990). *Abundances of benthic microfauna in relation to outwelling of mangrove detritus in a tropical coastal region*.
- Alonzo, P., Bertard, B., & Zaldivar, J. (2006). Manual para la conservacion del pato mexicano y su hábitat. *Ducks Unlimited de Mexico, AC*.
- Alvarez, M. E., & Marin, C. M. (2011). *Manual de procedimientos analiticos para suelos y planta*. UACH, Mexico: Departamento de suelos.
- Avila , E. (2009). *Manual de elaboracion de un vivero mangle rojo Rhizophora mangle*. Chetumal, Quintana Roo: Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Badia, V. (1992). Recuperado el 2 de diciembre de 2015, de <http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000120%5C00000090.pdf>.
- Ball, M. C., Chow, W. S., & Anderson, J. M. (1987). Salinity-induced potassium deficiency causes loss of functional photosystem II in leaves of the grey mangrove, *Avicenia marina*, through depletion of the atrazine-binding polypeptide. *Funct.Plant.Biol*.
- Batllore, E. S., & Febles, J. P. (2007). Límites máximos permisibles para el aprovechamiento del ecosistema manglar. *Gaceta ecologica. Instituto Nacional de Ecología*.
- Benitez, P. D., Flores, V. F., & Valdez, H. J. (2002). Reproduccion vegetativa de dos especies arboreas en un manglar de la costa norte del pacífico mexicano. *Madera y Bosques* .
- Boto, K., & Wellington, J. (1984). Soil characteristics and nutrient status in a Northern Australian mangrove forest. *Estuaries. Coasts*.

- Camacho, F. F., & Fernandez, R. E. (2008). *Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo*. Madrid: Agrotecnias.
- Cano, A. (2014). (U. d. Roo, Ed.) Retrieved mayo 11, 2015, from <http://192.100.164.54/Q/QK882.C165.2014-1981.pdf>
- Casanova, V. (2012). *Manual de edafología*. Juan Sarabia, Quintana Roo: Laboratprio de suelo agua planta ITZM.
- Castaño, A., Urrego, L., & Bernal, G. (2010). Dinamica del manglar en el complejo lagunar de Cispatá (caribe colombiano) en los ultimos 900 años. *Biología tropical*.
- Champan, H. D. (1965). *Cation exchange capacity . Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin: Americam Society Agronomy.
- CIG. (n.d.). *Atlas de Costa maya*. Chetumal, Quintana Roo . Mexico: Universidad de Quintana Roo.
- Citron, G., & Schaffer, N. Y. (1985). Características y desarrollo natural de los manglares de Norte y Sur America. *Ciencia interamericana*.
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, J. Q., Chambers, J. R., Thomlinson , J. N., & Holland, E. A. (2001). Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecol. Appl*.
- CONABIO. (2008). *Comision Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Retrieved MAYO 11, 2015, from <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/manglaresMexico.pdf>.
- Daldabuit, G. M., Valenzuela, V. E., & Cisneros, R. H. (2007). *Globalizacion y sustentabilidad: el turismo en el Sur de Quintana Roo*. Centro regional de investigaciones multidisciplinarias UNAM.

- Díaz, G. J. (2011, septiembre- diciembre). Una revisión sobre los manglares : características y problemáticas y su marco jurídico, importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Tropolobampo. *Ra Ximhai*, 7(3), 355-369.
- Díaz, G. J. (2012). Universidad Autónoma Indígena de México. Retrieved noviembre 8, 2015, from <http://uaim.edu.mx/cgip/PDF/TESIS-JESUS-MANUEL-DIAZ%20-GAXIOLA.pdf>
- Downton, W. J. (1982). Growth and osmotic relations of the mangrove *Avicennia marina*, as influenced by salinity. *Plant. Phytol.*
- Duarte, C. M., & Cebrian, J. (1996). The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*
- FAO. (2007). Retrieved 2015
- FAO. (2015, febrero 12). Retrieved FEBRERO 12, 2015, from <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>
- Feller, I. C. (1995). Effects of nutrient enrichment on growth and herbivory of dwarf red mangrove (*Rhizophora mangle*). *Ecol. Monografy.*
- Feller, I. C., Lovelock, C. E., & Piou, C. (2009). Growth and nutrient conservation in *Rhizophora mangle* in response to fertilization along latitudinal and tidal gradients. *Smithson. Mar. Science.*
- Feller, I. C., McKee, K. L., Whigham, D. F., & O'Neal, J. P. (2003a). Nitrogen vs phosphorus limitation across an ecotonal gradient in a mangrove forest. *Biochemistry.*
- Figueroa, C. I., & Alvarez, L. R. (2011). EVALUACION DE SUELOS DE MANGLAR EN DOS LOCALIDADES DE LA ENSENADA DE TUMACCO ,

PACIFICO COLOMBIANO. (P. U. JAVERIANA, Ed.) *Periodico UFC*. Retrieved DICIEMBRE 3, 2015., from <http://www.periodicos.ufc.br/index.php/arquivosdecienciadomar/article/download/171/171>.

Flores , V. F., Agraz, H. C., Carrera , G. E., & de la Fuente, d. (2003). *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. Colegio de Sinaloa.

Gandoy, B. W. (1992). *Manual de laboratorio para el manejo fisico del suelo*. Mexico: UACH.

Gonzalez, F. A., & Medina, L. N. (1995). *ecologia*. Mc Graw Hill.

Google Earth 5.1. (2015).

Güsewell, S. (2004). N:P ratios in terrestrial plants:variation and functional significance. *New Phytol*.

Hilares, C. M., Espinoza, A. J., Ruiz , L. A., & Reyes , R. (2010). Retrieved FEBRERO 9, 2015, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-38802010000200004&script=sci_abstract.

Holguin, Q. C., Hernandez, H. A., & Flores, V. (2006, marzo 2015). *Produccion primaria de los manglares del estero el conchalito en bahía de la Paz (B.C.S., México)*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/480/48032106.pdf>.

Huerta, C. E. (2010). (U. A. Queretaro, Ed.) Retrieved diciembre 3, 2015, from <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>

Jackson, M. L. (1964). *Analisis quimico de suelo*. Barcelona,España: Omega.

- Jímenez, J. A. (1994). *Los manglares del pacífico centroamericano*. . Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, Instituto Nacional de Biodiversidad y Fundación UNA.
- Kathiresan , K., & Bingham , M. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*(40).
- Koch, S. M. (1997). Rhizophora mangle L. seedling development into sapling stage across resource and stress gradients in subtropical Florida. *Biotropica*.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). Allometry biomass and productivity of mangrove forests: a review. *aquat. Bot.*
- Leigh, R. A., & Wyn Jones, R. G. (1984). A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytol.*
- Leiva M, M. J. (2002). *Tratado de ecología*. Ediciones mundi.
- Lin, G., & Stenberg, L. (1992). Effect of growth form, salinity, nutrient and sulfide on photosynthesis, carbon isotope discrimination and growth of red mangrove (Rhizophora mangle L.). *Funct.Plant.Biol.*
- Loveday , J. (1974). *Methods for analysis of irrigated soils* . England: commonwealth bureau of soil famham royal bucks .
- Malgorzata, C. (1997). *Analisis de la distribucion , estructura e importancia ecologica de los manglares de la region Costa Maya*. Universidad de Quintana Roo.
- Mäser, P., Gierth , M., & Schoeder, J. I. (2002). Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. *Plant soil*.

- Nagelkerken, I., Blader, S. J., & Bouuillon, S. (2008). the habitat fuction of mangroves for terrestrial and marine fauna:a review. *Aquat. Bot.*
- Odum, E. P. (1971). *Ecologia* (tercera ed.). interamericana.
- Odum, P. E., & Barret, G. W. (2006). *Fundamentos de ecologia*. cengage, learning editores S.A.
- Olivera, G. A. (2002). *Reconstruccion paleologica del sur de Quintana Roo, México, durante el Holoceno*. Chetumal, Q.Roo.: Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q.Roo.
- Olsen, S. R., & Dean, L. A. (1965). *Methods of soil analysis*. Madison,Wisconsin: Americam Society of Agronomy.
- Onuf, C. P., Teal, J. M., & Valiela, I. (1997). Interactions of nutrients,plant growth and herbivory in a mangrove ecosystem. *Ecology*.
- Ortíz, V. B., & Ortíz, S. C. (1990). *Edafologia*. Chapingo, México: Departamento de suelos UACH.
- Palafox, M. A. (2003). *La modernidad : utopia del turismo sustentable . Congreso Internacional de desarrollo sustentable*. Universidad de Quintana Roo.
- Paneque, P. J. (2010). *Manual de tecnicas analíticas de aguas residuales*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de ciencias agricolas.
- Reddy , K. R., D´Angelo , E. M., & Harris, W. G. (2000). *BIOGEOCHEMISTRY OF WENTLANDS*. FLODIRA: HANDBOOK OF SOIL SCIENCE.
- Reef , R., Feller , I. C., & Lovelock, C. (2010). Nutrition of mangroves. (U. d. Oxford, Ed.) *Oxford journals*. Retrieved diciembre 3, 2015, from <http://treephys.oxfordjournals.org/content/30/9/1148.full.pdf+html>

- Richards L, A. (1969). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. (Vol. 60). US: USDA.
- Robles, R. R. (n.d.). *Geología y geohidrología. En los Recursos naturales del sureste y su aprovechamiento Parte II, Tomo2.* . Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables A.C.
- Rodriguez, N. F., Ramirez, S. L., & Sustaita, R. F. (1994). *Materia Organica : su efecto en el suelo e influencia directa en la planta*. Chapingo, Mexico: Departamento de suelos , UACH.
- Rojas W., C. (1990). *Interpretacion de la disponibilidad de fosforo en suelos de Chile* . Chile: Centro Regional de Investigacion .
- Romero, R. (2007). Globalizacion y sustentabilidad: el turismo en el sur de Quintana Roo. In M. Daldabuit G, V. E. Valenzuela, & H. B. Cisneros R, *Globalizacion y sustentabilidad: el turismo en el sur de Quintana Roo*. Cuernavaca, Morelos: CRIM UNAM.
- Sanchez , G. (2005). (U. d. Mar, Ed.) Retrieved diciembre 5, 2015, from http://www.umar.mx/tesis_PA/tesis_digitales/SANCHES-GARCIA-BIO-MAR.pdf
- Sanchez, A. (1980). *Caracteristicas generales del meddio físico de Quintana Roo.En:Quintan Roo y perspectiva, memorias del simposio CIQRO-UNAM*. Cehtumal, Quintana Roo.: Universidad de Quintana Roo.
- Sapper, K. (1977). *Geología de la península de Yucatan. En Enciclopedia Yucatanse. Tomo I* . Merida, Yucatán.: Edicion Oficial del Gobierno de Yucatán.
- SAS, 9. (2015).

- Torres L, R., & Ruiz R, J. D. (2010). *Vulnerabilidad de los ecosistemas costeros ante el cambio climatico*. (U. d. Roo, Editor) Retrieved mayo 11, 2015, from <http://www.uqroo.mx/manglares/Mapa.html>
- Travieso, B. A. (2008). Manejo costero integral: el enfoque municipal. In P. B. Moreno C.P.. INE A.C.
- Ukpong, I. E. (1997). Vegetation and its relation to soil nutrient and salinity in the Calabar mangrove swamp, Nigeria. *Mangroves Salt Marshes*.
- Ukpong, I. E. (2000). Ecological classification of Nigerian mangroves using soil nutrient gradient analysis. *Wetlands Ecol. Manage.*
- USDA. (1995). *Claves para la taxonomia de suelos. Versión 1994. Traducción de: Ortíz, S CA; Gutierrez, C Ma.delC; Garcia, R JL*. Chapingo, México.: primera edicion en español 1995. Sociedad mexicana de la Ciencia del suelo.
- Valdes, V. E. (2010). (T. E. Colegio de post graduados Montecillo, Ed.) Retrieved noviembre 30, 2015, from http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/56/1/Valdes_Velarde_E_DC_Edafolog%C3%ADa_2010.pdf
- Vazquez, A. A., & Bautista, A. N. (1993). *Guía para interpretar el analisis quimico de suelo y agua*. Chapingo, México: Departamento de suelos .UACH.
- Yates, E., Ashwath, N., & Midmore, D. (2002). Responses to nitrogen, phosphorus, potassium and sodium chloride by three mangrove species in pot culture. *trees Structure function*.
- Zaldivar, J. A., Herrera, S. J., Coronado, M. C., & Alonzo, P. D. (2004). ESTRUCTURA Y PRODUCTIVIDAD DE LOS MANGALRES EN LA

RESERVA DE LA BOSFERA DE RIA CELESTUN, YUCATAN MEXICO.
MADERAS Y BOSQUES, 10(Es2), 25-35.

Zamora, T. P., & Cortés, P. (2009). Los manglares de Costa Rica: El Pacífico Norte. *Biología tropical*.