



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Comparación del contenido de carbono orgánico en los horizontes orgánico y eluvial en suelos de Quintana Roo

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE

Licenciada en Manejo de Recursos Naturales

PRESENTA

REBECA MORALES NEGRÓN

DIRECTOR

Dra. Patricia Frago Servón

ASESORES

Dr. Alberto Pereira Corona

M. C. Benito Prezas Hernández

M.E.S.P. José Antonio Olivares Mendoza

Dr. Carlos Alberto Niño Torres



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2018



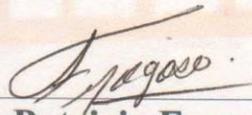
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL
PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

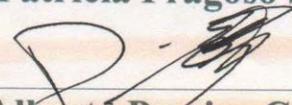
Licenciada en Manejo de Recursos Naturales

COMITÉ DE TESIS

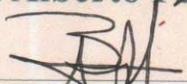
DIRECTOR:


Dra. Patricia Fragoso Servón

ASESOR:


Dr. Alberto Pereira Corona

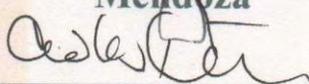
ASESOR:

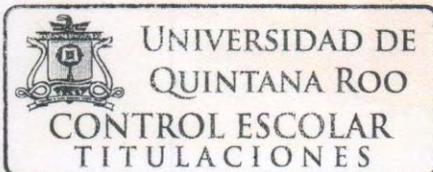

M. C. Benito Prèzas Hernández

ASESOR:


M.E.S.P. José Antonio Olivares
Mendoza

ASESOR:


Dr. Carlos Alberto Niño Torres



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2018.



DEDICATORIA

A LOS QUE ME DIERON SU APOYO, AMISTAD Y CARIÑO.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá y hermana, **que siempre estuvieron ahí apoyándome o preguntándome la famosa frase...**”
¿Para cuándo la Tesis?”, puedo decir que por fin tengo respuesta.

Un agradecimiento especial a mis amigas que se mantuvieron siempre cerca como gran apoyo durante toda la carrera, que involuntariamente me ayudaron en todo el proceso del laboratorio haciéndolo menos pesado y más divertido. Saraí por siempre estar pendiente de mi horóscopo y alimentarme, Mayte por siempre preocuparte de que este bien peinada, Ingrid por contarnos de todos tus inventos caseros para lucir bien y ser buena escuchando, Natali por ser tan rara, pero con muy buen corazón, Cinthia por la música y las buenas platicas, Pame por alegrar e iluminar el día con solo ser tú.

Carolina y Yaritza por sus consejos, amistad y apoyo durante tanto tiempo.

A Arturo que, aunque estuvo al final de este proceso nunca dudo en brindarme la mejor de su ayuda. Gracias por prestarme tu computadora compi.

Agradezco a mi directora de tesis por brindarme de sus conocimientos, consejos y presionarme para finalizar este trabajo. A mis asesores de tesis por sus observaciones y enseñanzas. Gracias por ayudarme en mi formación durante estos cinco años.

El presente trabajo se realizó como parte del proyecto Evaluación del carbono secuestrado en suelos de Quintana Roo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVOS	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
ÁREA DE ESTUDIO	9
QUINTANA ROO	9
CLIMA	9
GEOLOGÍA	12
EDAFOLOGÍA	13
VEGETACIÓN	16
HIDROLOGÍA	20
MATERIALES Y MÉTODOS	22
RESULTADOS	24
DISCUSIÓN	46
CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de clima en Quintana Roo -----	11
Figura 2 Formaciones geológicas en Quintana Roo. -----	13
Figura 3 Distribución de los suelos de Quintana Roo. -----	14
Figura 4 Tipos de vegetación en Quintana Roo. -----	17
Figura 5 Cuerpos de agua de Quintana Roo. -----	21
Figura 6 Contenido de carbono orgánico en los horizontes O en los suelos de Quintana Roo. -----	32
Figura 7 Contenido de carbono orgánico en los horizontes A en los suelos de Quintana Roo. -----	33
Figura 8 Porcentaje de CO en la selva mediana subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	33
Figura 9 Porcentaje de CO en la selva mediana subcaducifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	34
Figura 10 Porcentaje de CO en la selva baja subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	35
Figura 11 Porcentaje de CO en la selva baja subcaducifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	35
Figura 12 Porcentaje de CO en la selva baja espinosa subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	36
Figura 13 Porcentaje de CO en la vegetación de manglar con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	37
Figura 14 Porcentaje de CO en la vegetación de palmar chital con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	37
Figura 15 Porcentaje de CO en la selva baja inundable subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	38
Figura 16 Porcentaje de CO en las vegetaciones de duna costera, matorral costero, tular y popal con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo. -----	39
Figura 17 Porcentaje de CO en Phaeozems con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. -----	39
Figura 18 Porcentaje de CO en Vertisols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. --	40
Figura 19 Porcentaje de CO en Luvisols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. ---	40
Figura 20 Porcentaje de CO en Leptosols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. -	41
Figura 21 Porcentaje de CO en Cambisols, Kastañozems, Histosols, Fluvisols y Solonchaks con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. -----	41
Figura 22 Porcentaje de CO en Gleysols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. --	42
Figura 23 Porcentaje de CO en Arenosols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. -	42
Figura 24 Porcentaje de CO en Regosols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo. -	43
Figura 25 Variabilidad del conjunto de datos de los horizontes O y A. -----	43

Figura 26 Dendrograma de disimilitud usando la distancia euclídea con el método de Ward en el horizonte O. Se observan 3 grupos por su % de C orgánico. -----	44
Figura 27 Análisis de disimilitud usando la distancia euclidiana con el método agrupación flexible de Ward para el horizonte A. Se observan 4 grupos por su % de C orgánico.-----	45
Figura 28 Porcentaje de carbono orgánico en suelos de Quintana Roo. Estratificando los horizontes O y A. 46	
Figura 29 Porcentaje de carbono orgánico en la vegetación presente en Quintana Roo. Estratificando los horizontes O y A. -----	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de perfiles (horizonte O y A) en los puntos muestreados.-----	24
---	-----------

INTRODUCCIÓN

En los últimos años un tema de discusión en los diversos foros internacionales es el del Cambio Climático, ocasionado principalmente por el incremento en la concentración de los gases que favorecen el efecto invernadero en la atmósfera, entre ellos destaca el dióxido de carbono (CO₂).

Las razones principales que han provocado este incremento son las actividades humanas con la quema de combustibles fósiles, así como el incremento de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales (Segura-Castruita, 2005) y como consecuencia, la pérdida de la vegetación natural y el uso intensivo de los suelos.

Debido al papel que juega la relación suelo-vegetación en el incremento o reducción de las concentraciones de CO₂, se le conoce como el mejor medio para evaluar el flujo de gases invernadero entre la biosfera y la atmósfera (Segura-Castruita, 2005).

La capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques de México se está perdiendo de manera rápida por los procesos de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales (Ordóñez y Maser, 2001). El potencial de captura de carbono viene ligado al potencial de formación de biomasa, lo que indica que las zonas con altos índices de producción de biomasa son las que mayor potencial de captura de carbono tienen. Estas zonas en México están localizadas en las llanuras costeras y en el sur y sureste del país (Torres y Guevara, 2002).

El uso que se haga de la vegetación y del suelo puede convertirlos en fuente o reservorio de Carbono hacia la atmósfera (Martínez, 2008).

Quintana Roo es uno de los Estados con la vegetación mejor conservada y por ello con altos contenidos de Carbono Orgánico en el suelo (COS) (Segura-Castruita et al., 2005) sin embargo, no existe información detallada sobre el contenido de CO en los diferentes grupos de suelos presentes en el Estado.

ANTECEDENTES

El aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera es consecuencia de las actividades antropogénicas tales como la quema de combustibles fósiles como la gasolina, el Diesel y el gas, que emiten dióxido de carbono. Otros factores son la descomposición de la materia orgánica de los basureros y la crianza de animales que generan millones de toneladas de gas metano, al igual la destrucción de bosques y el cambio de uso de suelo liberan grandes cantidades de CO₂ y otros compuestos de nitrógeno con efecto invernadero a la atmósfera (Herrán, 2012).

El cambio climático conlleva muchas implicaciones que se asocian a las variables atmosféricas, tales como: la cantidad de evapotranspiración de los océanos, la formación de nubes, las variaciones en la precipitación, los cambios drásticos de temperatura que podrían afectar la distribución de las regiones climáticas como las conocemos; es decir son afectaciones en casi todas las actividades humanas, comenzando con la agricultura (Gay and Martínez, 1995).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 1995) estimó que México emite 1.45% de las emisiones totales de carbono que se dan en el planeta cada año. Ordóñez y Masera (2001) citan que México se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de gases de efecto invernadero y de igual manera, se encuentra entre las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas (Villers y Trejo, 1998; Ordóñez, 1998; Gay, 2000).

El carbono orgánico del suelo (COS) representa el 69.8% del carbono orgánico de la biosfera (FAO, 2001) y es el principal elemento que compone la materia orgánica del suelo (Martínez, 2008). El contenido de COS llega a superar en dos o tres veces los depósitos de carbono (C) de la biomasa aérea, teniendo una acumulación de C en la materia orgánica humificada del suelo de 58% (Etcheveres, 2001).

Se estima que el carbono está contenido en diferentes almacenes de acuerdo con Ordóñez (1999) los cuales son:

El carbono en la vegetación, el cual es la suma del carbono contenido en la biomasa aérea (tronco, hojas, ramas y follaje) y el carbono contenido en la biomasa de las raíces.

El carbono en descomposición, que está contenido en la materia orgánica en proceso de descomposición y que se depositan en el suelo.

El carbono en el suelo, contenido en las capas que conforman el suelo forestal, originado por la fragmentación de la roca madre donde se establece un organismo vegetal que con el tiempo forma capas de depósito de materiales que se acumulan y compactan, almacenando cantidades variables de carbono.

El carbono en producto, que se refiere a los productos forestales que almacenan carbono durante su tiempo de vida, y este al terminar se incorporará al ciclo de degradación del producto.

Duran (1998) cita a diversos autores que señalan la gran influencia que tiene la materia orgánica en la sustentabilidad a largo plazo del suelo, y que su conservación es esencial para la nutrición vegetal, la estructura y compactibilidad del suelo y la retención de agua.

El suelo, la vegetación y el mantillo son los principales almacenes de carbono en ecosistemas forestales, el suelo cumple un papel esencial en el reciclaje y almacén del carbono, la vegetación se encarga de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis (Ordoñez y Masera, 2001). La vegetación y el suelo sin manejo forestal retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas (Montoya et al., 1995a).

El mantillo aporta materia orgánica al suelo a través de los componentes de la copa de los arboles formándose la hojarasca, siendo un conjunto de hojas y acículas, musgos y líquenes recientemente caídas con una mínima alteración por la descomposición (Paz, 2013), que al degradarse se va incorporando paulatinamente y da origen al humus estable, aportando dióxido de carbono (CO₂) al entorno (Ordóñez, 2008).

Martínez *et al.* (2008) citan que los suelos contienen mayor C que la suma existente en la vegetación y en la atmosfera (Swift, 2001). El sistema suelo-vegetación actúa de manera clave en el aumento o reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmosfera, dependiendo de la velocidad de formación y descomposición del COS (Van Bremen y Feijtel, 1990).

Los suelos de México presentan contenidos de CO que varían de 0.006 a 16.40% en el horizonte superficial (0 a 20 cm de profundidad), lo que muestra su heterogeneidad (Segura-Castruita et al., 2005). Los suelos que acumulan mayor cantidad de COS corresponden al orden Histosol, aun cuando

es el orden que tiene la menor superficie con respecto a otros ordenes, es el que tiene la mayor relación COS/ superficie (Martínez *et al.*, 2008). Durán (1998) menciona que los horizontes profundos no contribuyen significativamente en el contenido de CO y que su consideración no afecta su cifra.

Los arboles tienen la capacidad de asimilar y almacenar grandes cantidades de carbono durante toda su vida, por lo que los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre, es debido a esto que cuando un árbol alcanza su madurez, el carbono acumulado se mantiene almacenado, pero el área pronto actuará como reservorio estable, debido a que el proceso de respiración y oxidación en un bosque maduro generalmente alcanza un balance por el efecto fotosintético (Montoya *et al.*, 1995a).

Quintana Roo guarda una de las vegetaciones naturales mejor conservadas del país, en los que los bosques tropicales contienen el 32% del C de los ecosistemas terrestres de acuerdo con los datos correspondientes del 2002 al 2011 (IPCC, 2013) y su deforestación es responsable del 20% de las emisiones de carbono en la atmósfera (Griscom *et al.*, 2009).

Los bosques tropicales jóvenes son esenciales para el secuestro de carbono en el suelo, esto implica la remoción de CO₂ atmosférico (Poorter *et al.*, 2016). Hay secuestro de carbono si la tasa de cambio es positiva, en caso contrario hay emisiones de CO₂ a la atmósfera (Sedjo y Sohngen, 2012).

Este proceso se ha convertido en una estrategia para mitigar los efectos del calentamiento de la atmósfera, frenar los procesos de degradación de los suelos aumentando su calidad (Hontoria *et al.*, 2004).

Segura-Castruita *et al.* (2005) indican que el tipo de vegetación es otro factor determinante en las evaluaciones de CO de los suelos; de tal manera que el contenido cambia con el tipo de vegetación, el tipo de material parental y los factores topográficos del área (Franzmeier *et al.*, 1985), de ahí la importancia de tomar en cuenta al tipo de vegetación para estratificar el ambiente en las evaluaciones de CO del suelo (Schlegel *et al.*, 2001).

Hontoria *et al.* (2004) señalan que la vegetación de matorral en suelos no cultivados contiene mayor contenido del porcentaje de CO que el Bosque, el pastizal, los cultivos leñosos y los cultivos herbáceos con la precipitación media anual como la variable mejor relacionada con el contenido de carbono.

La destrucción de un bosque libera entre 50 y 400 tC/ha a la atmosfera, por esto, la protección de los bosques y suelos naturales es algo que debe considerarse como una medida para compensar las creciente emisiones de CO₂. La protección de un área forestal puede inducir la presión en otra, por ello se requieren esquemas integrados de manejo de recursos, enriquecidos con esquemas de evaluación de protección para hacerla válida (Montoya et al., 1995b).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 2001) menciona que los proyectos de captura de carbono deberían minimizar sus externalidades negativas, a fin de que la captura de carbono neta sea más efectiva.

JUSTIFICACIÓN

Los bosques y selvas proveen un servicio ambiental muy importante en la mitigación de CO₂, como secuestradores de carbono que permiten equilibrar la concentración de este compuesto (Torres y Guevara, 2002).

Quintana Roo es uno de los Estados con mayor contenido promedio de carbono orgánico del suelo, presentando 186.8 Mg ha⁻¹ y si se toma en cuenta la extensión de cada entidad federativa, Quintana Roo junto con los estados de Yucatán, Chihuahua, Chiapas y Campeche aportan un 35% del COS de México. Son los estados con climas tropicales con alta precipitación por lo que se ve favorecida la acumulación de materiales orgánicos. Los suelos con uso pecuario y forestal manifiestan los principales aportes de contenido de COS (Segura- Castruita, 2005). Del mismo modo es el Estado con mayor tasa de crecimiento poblacional de México con 4.7% (INEGI, 2011), lo que ha influido en los cambios de uso de suelo, ocasionando contaminación, deforestación, degradación de suelos y pérdida de la biodiversidad.

En México la segunda fuente de emisiones de CO₂ es el sector forestal, debido a la deforestación, tala ilegal, cambio de usos de suelo e incendios forestales. Su manejo es una de las opciones más importantes para promover la mitigación de emisiones de CO₂ por medio del pago de servicios ambientales de captura de carbono, lo cual se define como un pago al proceso fisiológico que ocurre en la vegetación, el cual se cuantifica por medio del crecimiento de los árboles y el manejo forestal (Ordóñez, 2008).

El suelo es un importante almacén de carbono en los ecosistemas forestales y es en las capas más superficiales del suelo en donde se encuentra su mayor concentración (Acosta-Mireles et al., 2009). El CO almacenado en los primeros 5 cm de un estudio realizado con palma aceitera fue mayor que el CO almacenado en cada capa del perfil del suelo, con 18.0 Mg ha⁻¹ y fue disminuyendo significativamente a medida que se bajó en el perfil hasta llegar a los 25-30 cm con 8 Mg ha⁻¹. **Esto se debe** a que el material vegetal proveniente de la hojarasca y la cobertura vegetal, se lixivia y cae sobre la superficie del suelo, enriqueciendo las primeras capas (Leblanc et al., 2006).

Por todo lo expuesto anteriormente, es necesario conocer la capacidad que tiene el suelo de secuestrar y almacenar el CO en Quintana Roo y así poder elaborar propuestas de manejo tomando

en cuenta factores como son; el tipo de suelo, su vegetación predominante, el clima y la geomorfología presente en cada región.

La importancia de este estudio es obtener datos de campo y poder usarlos como base para comparar los niveles de contenido de carbono almacenados en el horizonte orgánico y eluvial. Este estudio podría contribuir significativamente en la definición del uso del suelo, así como del manejo adecuado, en el control de su degradación y deforestación en el estado de Quintana Roo. De la misma forma intervenir en el no incremento de los gases de invernadero en la atmósfera.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el contenido de carbono orgánico en los horizontes orgánico y eluvial de los diferentes grupos de suelos de Quintana Roo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar como se distribuye el contenido de carbono orgánico en el horizonte orgánico en los grupos de suelos de Quintana Roo.

Identificar como se distribuye el contenido de carbono orgánico en el horizonte eluvial en los grupos de suelos de Quintana Roo.

Determinar en qué grupo de suelos se acumula mayor contenido de CO en los horizontes (O y A).

Relacionar el contenido de carbono orgánico de los suelos con la vegetación presente en el estado de Quintana Roo.

ÁREA DE ESTUDIO

QUINTANA ROO

Hacia finales del siglo XIX lo que hoy es el estado de Quintana Roo, era una zona idónea que funcionaba como refugio para los mayas rebeldes, derivado del conflicto regional que inició en 1847, la Guerra de Castas. Estos hechos propiciaron una actividad ilegal que fue la extracción de la riqueza forestal, por el intercambio de armas y pólvora a la colonia inglesa asentada en lo que hoy es Belice. El comandante de la Armada de México, Othón P. Blanco fundó la población de Payo Obispo, hoy Chetumal el 22 de enero de 1898, aunque por cuestiones festivas y políticas la fecha oficial es el 5 de mayo de 1898. Para establecer un centro de control y vigilancia en la frontera con la colonia británica, consecuencia del Tratado de Límites Mariscal-ST. John. Por decreto del presidente Porfirio Díaz el 24 de noviembre de 1902 se crea el Territorio Federal de Quintana Roo, con una extensión de 50 843 km² y el 8 de octubre de 1974 el presidente Luis Echeverría decreta la formación de Quintana Roo como Estado Libre y Soberano (Mayo and López, 2014).

Quintana Roo está ubicado en la porción oriental de la república mexicana, en la provincia fisiográfica XI, Península de Yucatán, **entre los paralelos 17°49' y 21°36' y los meridianos 86°44' y 89°24'**. Teniendo límite al oriente con el mar Caribe y al norte con el golfo de México y con el estado de Yucatán, al poniente limita con el estado de Campeche y al sur con Belice y Guatemala. Tiene una extensión territorial de 50 843 km², ocupando el 19° lugar en extensión territorial en México y cuenta con 865 km de litorales que son el 7.46 % del total nacional (INEGI, 2017).

El estado cuenta con once municipios, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, Othón P. Blanco, Benito Juárez, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad, Tulum, Bacalar y Puerto Morelos (formado en 2015). Tiene una población de 1 501 562 habitantes, por lo que ocupa el lugar 26 a nivel nacional (INEGI, 2017).

CLIMA

Quintana Roo presenta clima cálido, el 99% es cálido subhúmedo (Aw) (figura 1) (INFyS, 2013). La temperatura media anual para el estado de Quintana Roo es superior a los 26°C, siendo el mes de

enero el menos cálido y los meses de abril y mayo los más calurosos. La precipitación media anual es de aproximadamente 1200mm con una distribución relativamente homogénea en la superficie del estado, el mes con mayor precipitación es septiembre y el de menor marzo (Pereira Corona et al., 2013).

Los vientos alisios dominan durante el verano y principios de otoño, su dirección es de este a sureste y pierden su intensidad en el invierno. Los llamados vientos periódicos o nortes dominan durante el invierno ocasionando perturbaciones meteorológicas en la parte norte con fuertes vientos y marejadas. Estos vientos penetran con intensidad hacia el sur del estado debido a la característica plana del relieve (Pereira Corona et al., 2013).

La clasificación de climas de Köppen modificada por Enriqueta García en 1983 nos presenta los siguientes climas para el estado de Quintana Roo (Fragoso-Servón et al., 2014).

- | | |
|----------------------------|---|
| Am (f) i | Cálido húmedo con lluvias todo el año, isotermal es decir la diferencia de temperaturas entre el mes más caliente y el más frío es menor a 5°C. Se presenta solo en la isla de Cozumel. |
| Aw ₂ (x') i w'' | Cálido subhúmedo, con lluvias en verano es el más húmedo dentro de esta categoría, más de 10.2 mm de lluvia invernal, es isotermal con presencia de sequía intraestival (canícula). Se distribuye en la franja costera occidental, desde Puerto Morelos hasta Xcalak y en el extremo sur en los límites con Belice y Guatemala. |
| Aw ₁ (x') i w'' | Cálido subhúmedo, con lluvias en verano, régimen de humedad con más de 10.2 mm de lluvia invernal, es isotermal con presencia de sequía intraestival. Este clima se ubica al norte y al sur del tipo w ₂ . |
| Aw ₁ i w'' | Cálido subhúmedo, con lluvias en verano, régimen de humedad intermedio, entre 5 y 10.2 mm de lluvia invernal, isotermal con presencia de sequía intraestival. Es el tipo que ocupa la mayor extensión del estado, se presenta al oeste y se prolonga hacia los estados de Campeche y Yucatán. |
| Aw ₀ (x') i w'' | Cálido subhúmedo, es el menos húmedo dentro de esta categoría, con más de 10.2 mm de lluvia invernal, es isotermal con presencia de sequía intraestival. Está presente en el extremo norte del estado, entre Puerto Morelos y Chiquilá; y en otras dos pequeñas zonas, una localizada al oeste de Felipe Carrillo Puerto y la otra, al oeste de la laguna de Bacalar. |

Aw*o i w*” Cálido subhúmedo, el menos húmedo entre los húmedos, lluvias de verano, entre 5 y 10.2 mm de lluvia invernal, isotermal y con sequía intraestival. Se ubica en el centro oeste del estado que corresponde al centro de la Península de Yucatán.

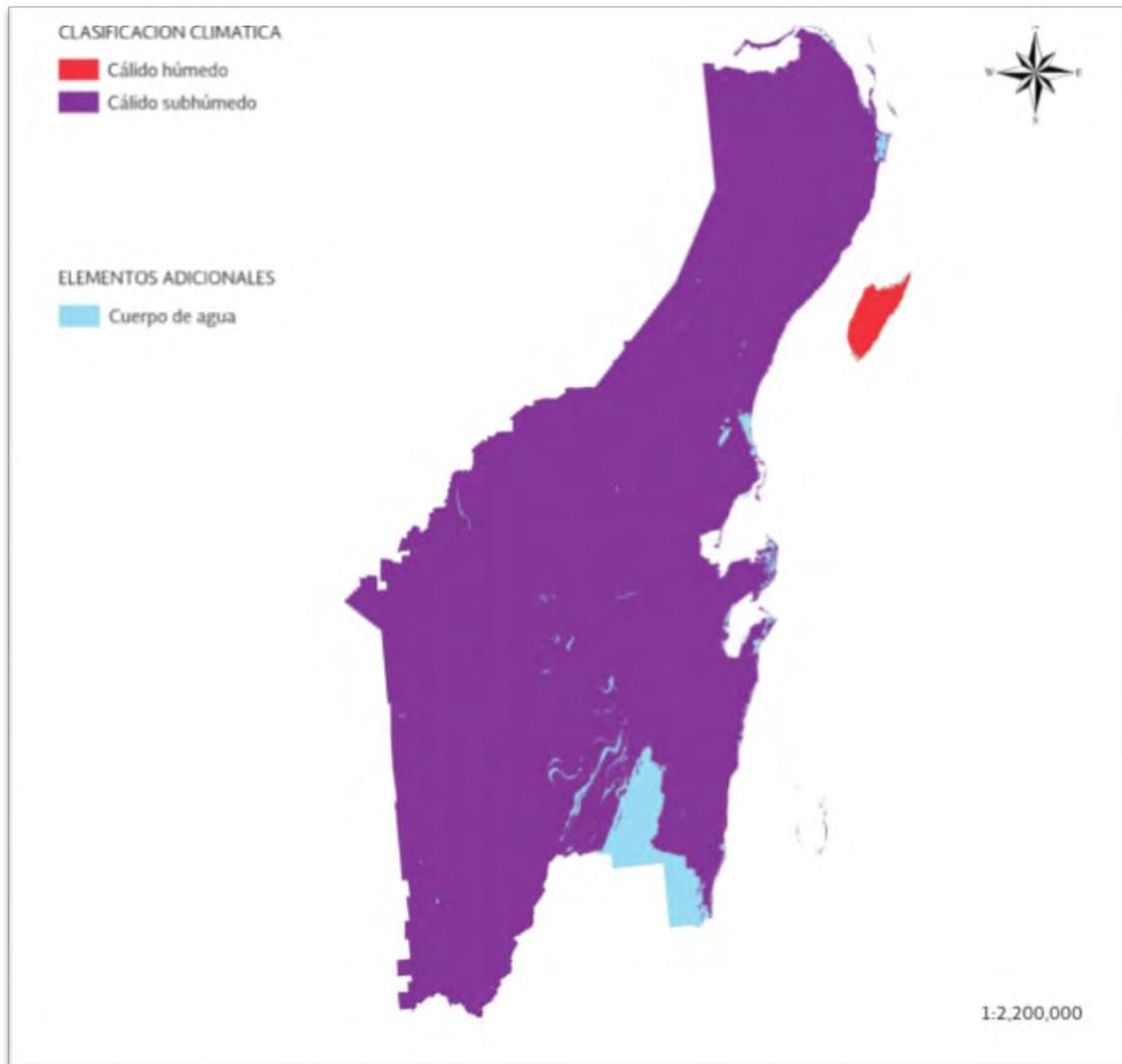


Figura 1 Tipos de clima en Quintana Roo

Fuente: Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Quintana Roo (2013).

GEOLOGÍA

La Península de Yucatán tiene una formación básicamente sedimentaria relativamente joven de gran espesor de carácter platafórmico, su origen sedimentario se remonta a las formaciones rocosas del Mesozoico, sobre las cuales se han depositado arenas y estructuras de origen orgánico marino que han dado forma a una enorme loza caliza (Figura 2).

Quintana Roo cuenta con una morfología cárstica donde dominan formas negativas en evolución por disolución cárstica, se presentan dolinas, uvalas y poljes; las formas positivas superficiales alcanzan la altura máxima de 382 metros sobre el nivel del mar, divididas por planicies de origen tectónico (Pereira Corona et al., 2013).

De acuerdo con INEGI (2002) el estado se localiza en la provincia Península de Yucatán y subprovincias Carso y Lomeríos de Campeche, Carso Yucateco y Costa Baja de Quintana Roo. La primera se extiende al suroeste del estado, formada por lomeríos bajos alternados con depresiones y grandes áreas planas, las cuales se encuentran inundadas de manera temporal o permanentemente, presentan altitudes en la zona centro occidental entre 110 y 140 m y en su extremo oriental de 20 a 40 m.

La segunda ocupa el centro y norte del estado, formada en una losa calcáreas cuya topografía se caracteriza por la presencia de karsticidad, ligera pendiente que desciende hacia el oriente y hacia el norte hasta el nivel del mar, con relieve ondulado donde se alternan crestas y depresiones. Elevaciones máximas de 22 m en su parte suroeste. Las dolinas y depresiones son frecuentes y carece de un sistema de drenaje superficial. En su porción litoral son frecuentes las salientes rocosas, las caletas, cordones, espolones y lagunas pantanosas con concentración de manglar.

La última subprovincia se extiende en el sureste del estado, al norte de la Bahía de la Ascensión, hasta rodear la de Chetumal, tiene un relieve escalonado que desciende de poniente a oriente. Esta porción es la que representa menor relieve y está integrada por una llanura rocosa suavemente ondulada con altitudes poco significativas, con zonas de inundación temporal; en la franja litoral la conforman numerosas lagunas, áreas pantanosas, puntas rocosas donde paralelamente se ha desarrollado una barrera arrecifal que delimita una extensa zona lagunar (INEGI, 2002).

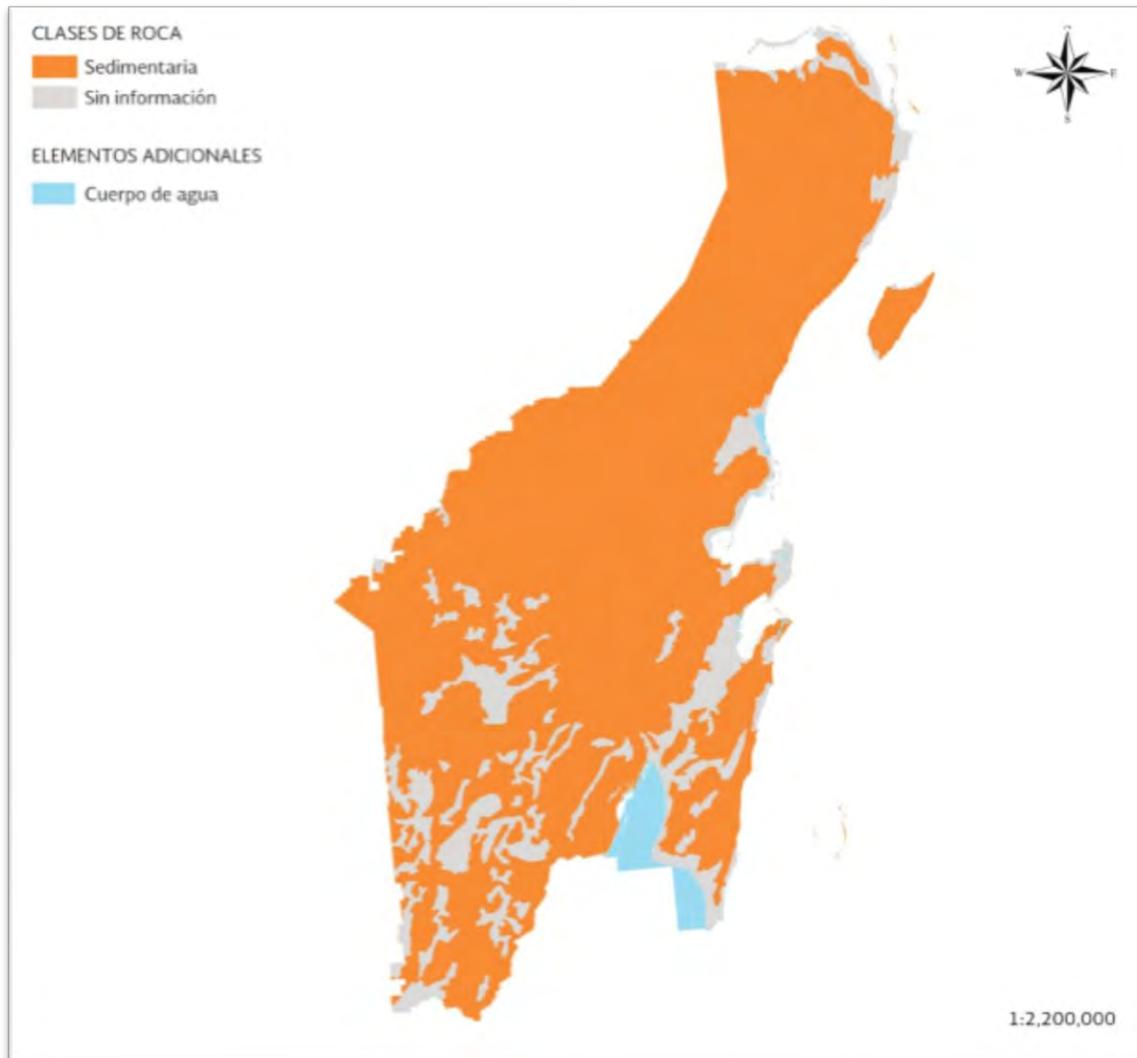


Figura 2 Formaciones geológicas en Quintana Roo.

Fuente: Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Quintana Roo (2013).

EDAFOLOGÍA

El suelo desempeña diversas funciones las cuales van variando de acuerdo con su origen, los elementos que lo conforman y los factores que intervienen en su integración (Escobar, 1986) El suelo es un recurso natural complejo, originado por la acción conjunta de cinco factores formadores: roca madre, clima, vegetación y tiempo que actúan junto con los procesos de erosión e intemperismo (Fragoso-Servón, 2015)

Fragoso-Servón (2017) señala con base a la clasificación de Referencia Mundial del Recurso Suelo (WRB) que en Quintana Roo se encuentran presentes 14 de los 32 grupos y su distribución no es homogénea.

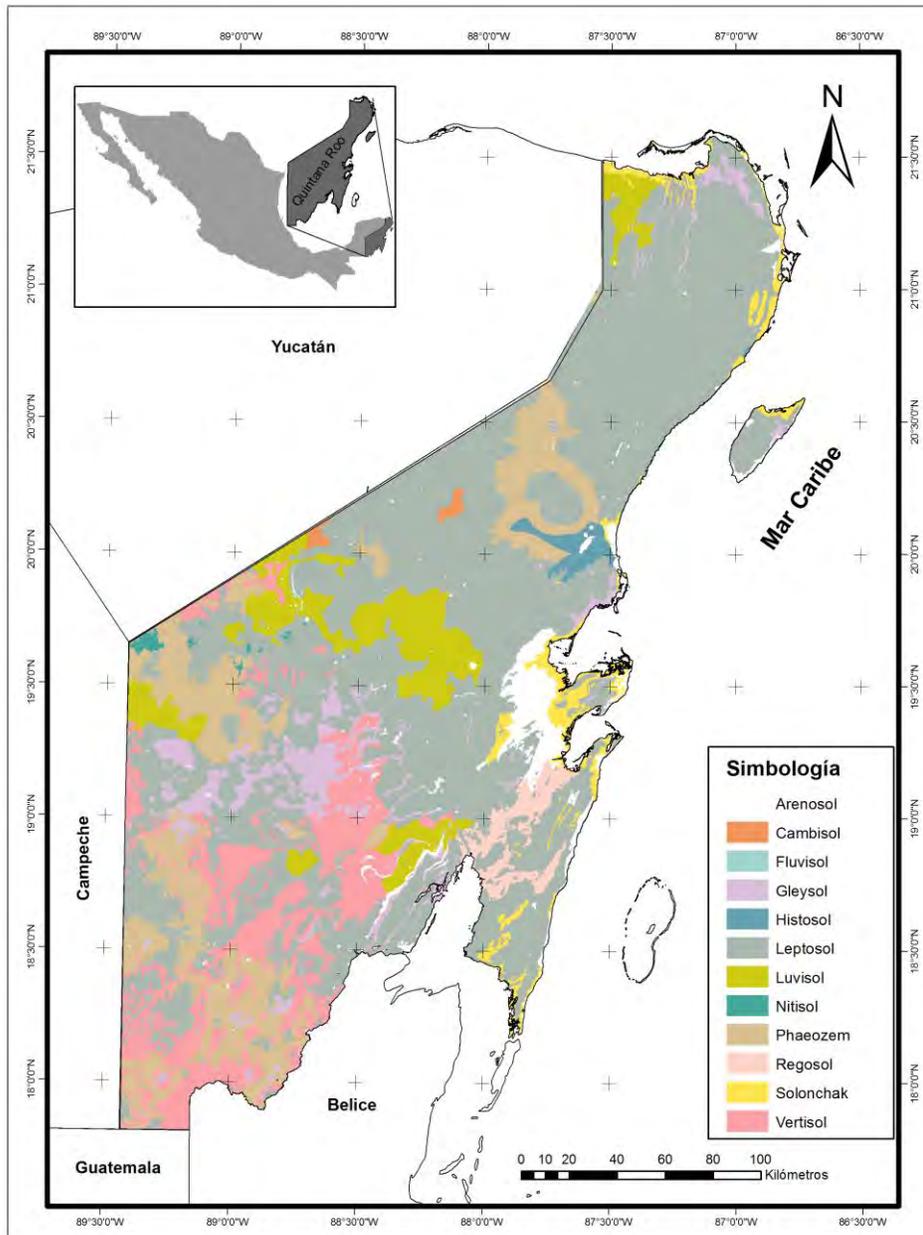


Figura 3 Distribución de los suelos de Quintana Roo.

Fuente: Tomado de Fragoso-Servón (2015).

Los Leptosols abarcan el 48.47% de la superficie del Estado, se caracterizan por ser suelos delgados con un espesor menor a 25 cm o con tener más de un 80% de contenido de piedras, dominan en la región norte y centro.

Los Phaeozems abarcan el 11.38% del estado por lo que es el segundo grupo más abundante, son ricos en materia orgánica y se encuentran asociados con los Leptosols y Vertisols, se encuentran principalmente en el occidente del Estado, en zonas con mayor relieve.

Los Vertisols constituyen el 7.46% y son el tercer grupo, son suelos profundos, de coloración café, arcillosos, fértiles, se ubican en la zona sur y sureste, se encuentran en áreas dedicadas a la agricultura.

Los Gleysols ocupan el 15.47% del territorio, son suelos grises, con mal drenaje, se ubican en las zonas de inundación cerca de las zonas costeras del norte y en el centro del Estado.

Los Luvisols con el 5.50% del territorio, de color rojo, su uso es agrícola y forestal, se encuentran como manchones en el norte, en el municipio de Lázaro Cárdenas, en el centro y en el sur.

Los Cambisols 5.04% se desarrollan en diferente tipo de sustrato, no presentan mucha materia orgánica, se presentan sobre roca acida.

Los Solonchaks abarcan el 2.26% del Estado, tienen un alto contenido de sales y están ubicados en zonas costeras.

Los Arenosols ocupan el 1.04% del Estado, presentan textura gruesa y se encuentran en las costas del extremo norte, en el centro, en la zona de las Bahías y en Mahahual.

Los Histosols con el 1.25% del territorio, gran presencia de material orgánico presenta gran retención y saturación de agua.

Los Nitisols 0.90% son casi escasos en Quintana Roo, se puede encontrar en la parte centro y cerca de los límites con el Estado de Yucatán.

Los grupos de suelo que presentan un porcentaje menor al de 1% son los Calcisols 0.23%, Kastañozems 0.14%, Regosols 0.03% y Fluvisols 0.01%. Los Regosols son suelos poco desarrollados sobre roca, se encuentran asociados a los Leptosols. Por último, el grupo con menor presencia son

los Fluvisols, presentes en los alrededores de la Laguna Chichankanab, en el municipio de José María Morelos.

VEGETACIÓN

Debido al tipo de clima presente en el estado sólo se permite el desarrollo de la vegetación típica del ecosistema de selvas. De igual manera, por su clima lluvioso permite el desarrollo de la vegetación de manglares y otras áreas forestales. En Quintana Roo se encuentran cinco de las once formaciones consideradas a nivel nacional, las cuales se agrupan y se distribuyen en la superficie estatal de la siguiente manera: tres en selvas altas y medianas (64.9%), cinco en selvas bajas (10.8%), una en manglar (4.1%), cuatro en otras asociaciones (0.2%) y tres áreas forestales (4.7%). El 15.3% de la superficie faltante son las áreas no forestales. La vegetación la podemos encontrar en dos estados sucesionales: la vegetación primaria (37.8%), que no presenta alteración alguna y la vegetación secundaria (62.2%), que presenta indicios de haber sido eliminada o perturbada y que se ha modificado sustancialmente. La vegetación secundaria se encuentra en fase arbórea (85.8%), fase arbustiva (14.1%) y fase herbácea (0.1%) (INFyS, 2013).

El inventario Estatal y Forestal de suelos de Quintana Roo (2013) caracteriza las formaciones vegetales presentes en el estado.

Selva alta subperennifolia. Alcanza una altura entre 30 y 50 metros, se localiza al suroeste de Quintana Roo en los límites de Campeche y La República de Guatemala en la zona alta y húmeda, tiene precipitaciones promedio superiores a 1,300 milímetros anuales. Desarrolla diferentes estratos o niveles de vegetación, el arbóreo, el arbustivo y el herbáceo; presenta plantas epífitas. Destacan las siguientes especies: ramón (*Brosimum alicastrum*), cedro rojo o kuyché (*Cedrela odorata*), pucté (*Bucida buceras*), zapote (*Manilkara zapota*), caoba (*Swietenia macrophylla*), machiche o chacté (*Lonchocarpus castilloi*), granadillo (*Dalbergia glomerata*), tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), jobo (*Spondias mombin*) y chakah (*Bursera simaruba*), ceiba o kapoc (*Ceiba pentandra*), palo de tinte (*Haematoxylum campechianum*), barí (*Calophyllum brasiliense*) entre otros. Son comunes también las epífitas del género *Philodendron* y barba española o heno (*Tillandsia usneoides*), destacan también las herbáceas como frijolillo y pata de vaca.

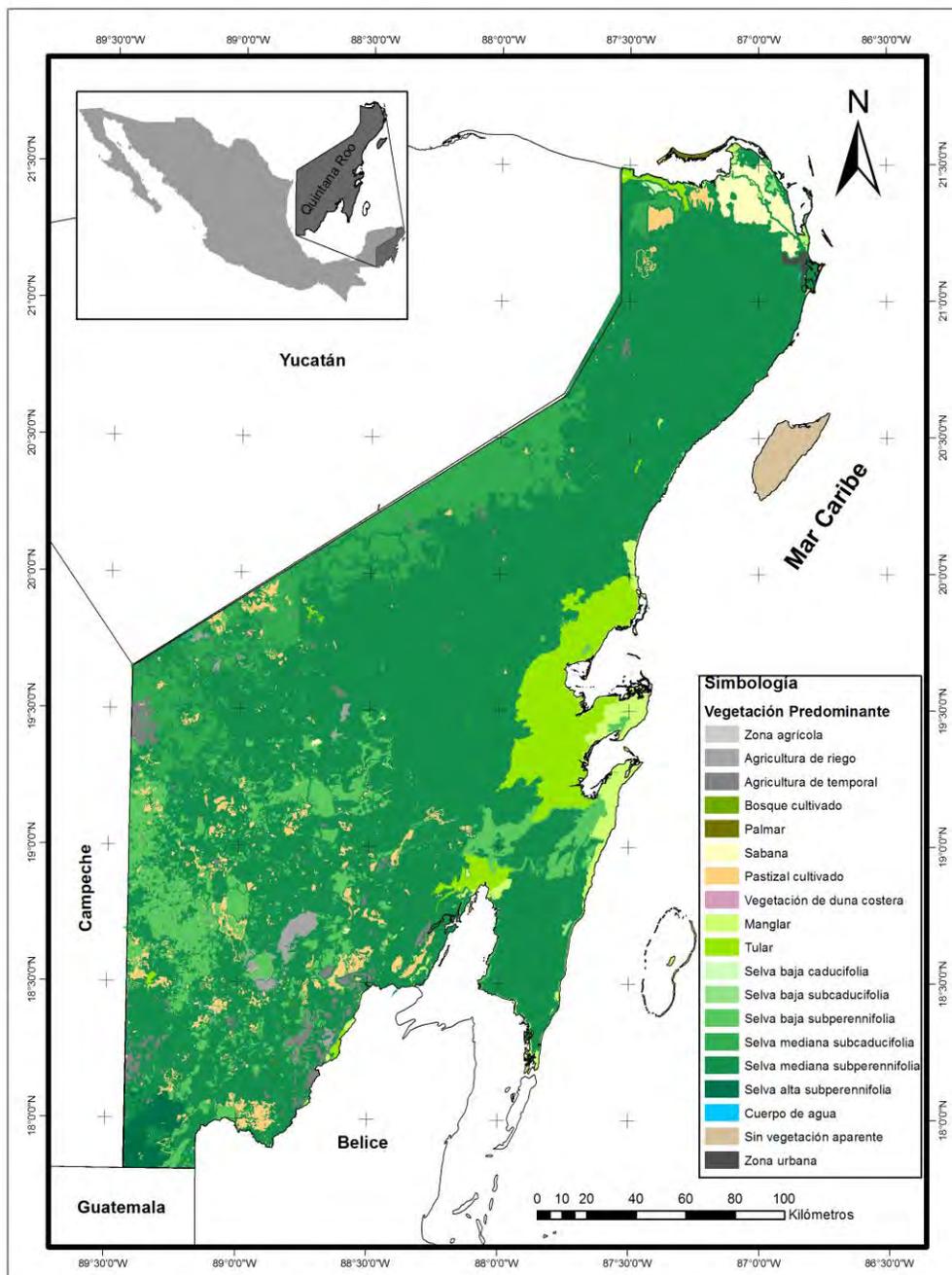


Figura 4 Tipos de vegetación en Quintana Roo.

Fuente: Tomado de Frago-Servón (2015).

Selva mediana subperennifolia. Con una altura entre 15 y 25 metros, se distribuye de norte a sur y de este a oeste, en la porción oeste extrema colinda con la selva mediana subcaducifolia. Las especies más comunes son ramón (*Brosimum alicastrum*), chacá (*Bursera simaruba*), Sakpaj (*Byrsonima bucidaefolia*), Kitam che (*Caesalpinia gaumeri*), chechen negro (*Metopium brownei*), Xtojuub (*Coccoloba acapulcensis*), tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), entre otras. Se encuentran también helechos y musgos, así como abundantes orquídeas, bromeliáceas y aráceas. Las palmas forman parte de los estratos, especialmente del bajo y del medio.

Selva mediana subcaducifolia. La altura promedio de los árboles es de entre 25 y 30 metros, localizada al norte del estado y en el centro oeste en el límite con Yucatán; tanto la densidad como la cobertura vegetal es mucho menor que las selvas perennifolias y subperennifolias, su suelo es rocoso y muy somero, con una pequeña capa de materia orgánica, que es formada por la gran cantidad de hojas que dejan caer los árboles. Especies características son pich u orejón (*Enterolobium cyclocarpum*), jabín (*Piscidia piscipula*), bari (*Calophyllum brasiliense*), capulín (*Prunus serótina*), chechem negro (*Metopium brownei*), nance (*Byrsonima crassifolia*), zapote (*Manilkara zapota*), **pomolche'** (*Jatropha gaumeri*), caimito (*Chrysophyllum cainito*), jícaro (*Crescentia cujete*), ciricote (*Cordia dodecandra*), **tsitsilche'** (*Gymnopodium floribundum*), chakah (*Bursera simaruba*), tzalam (*Lysiloma bahamensis*), chechem blanco (*Sebastiania longicuspis*), entre otros. También abundan gramíneas y ciperáceas tales como: junquillo y jucarillo.

Selva baja subperennifolia. Con una altura no mayor a los 5 metros, con troncos torcidos y densidades altas; se encuentra en zonas bajas y planas con drenaje deficiente donde las inundaciones están presentes durante la época de lluvias. Sus especies características son: zapote de agua (*Pachira aquatica*), bari (*Calophyllum brasiliense*), anona (*Annona glabra*), palo de tinte (*Haematoxylum campechianum*), pukte (*Bucida buceras*), chechén negro (*Metopium brownei*), *Byrsonima crassifolia*, *Byrsonima bucidaefolia*, *Crescentia cujete*, *Coccoloba cozumelensis*, entre otras. También se encuentran ciperáceas y gramíneas. Algunas epifitas presentes son las orquídeas y bromeliáceas como Tillandsia.

Selva baja subcaducifolia. Esta dispersa del norte hasta la parte sur en pequeños manchones a lo largo de la costa se encuentra con facilidad en el camino de Mahahual-Xcalak. Especies características: chechen negro (*Metopium brownei*), tzalam (*Lysiloma bahamensis*), despeinada

(*Beaucarnea pliabilis*), palma kuka (*Pseudophoenix sargentii*), *Bursera simaruba*, entre otras. Las epífitas son abundantes, con presencia de orquídeas.

Selva baja caducifolia. Desarrollada en la parte norte del estado con precipitaciones máximas anuales de 1,200 milímetros y las mínimas de 600 milímetros, su temporada seca puede durar de siete a ocho meses; su altura esta entre los cuatro y 15 metros. Sus especies características son: chaká (*Bursera simaruba*), ciricote (*Cordia dodecandra*); barbas de chivo (*Caesalpinia gilliesii*), (*Eritrina coralloides*), tzalam (*Lysiloma bahamensis*), chechén negro (*Metopium brownei*), jabín (*Piscidia piscipula*), *Maclura tinctoria*, *Haematoxylum campechianum*, entre otras.

Manglar. Se distribuye en grandes macizos a lo largo de la costa, su mayor proporción se encuentra **de la reserva de la biosfera de Sian Ka'an hasta Xcalak. Por su composición florística se distinguen** cuatro tipos: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*); su altura va entre dos a 13 metros.

Petén. Presenta una altura de 15 a 20 metros o más, se identifica porque son islas de vegetación en selvas o en medio del manglar chaparro o manglar tipo cuenca, presenta características de las selvas medianas perennifolia y subperennifolia; presenta agua todo el año.

Palmar inducido. Vegetación que fue afectada por las actividades ganaderas e incendios. Los géneros principales son *Brahea* y *Sabal*.

Palmar natural. Forman bosques aislados de alturas entre cinco y 30 metros; los géneros que se encuentran son: *Sabal*, *Scheelea*, *Orbignya*, *Paurotis*, *Erythea*, entre otros.

Tular. Son comunidades de plantas acuáticas arraigadas en el fondo, tienen una altura de 80 centímetros hasta 2.5 metros; se desarrolla en lagunas y lagos de poca profundidad; se encuentran **con abundancia en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an**. Está constituida por: plantas de tule (*Typha spp.*) y tulillo (*Scirpus spp.*), también en ocasiones se encuentran los carrizales. Incluye a los saibales de *Cladium jamaicense*.

Popal. Propia de lugares pantanosos o de agua dulce estancada, dominado por plantas herbáceas de uno a dos centímetros de alto; se encuentra mezclado con el tular y se localiza en las partes más bajas, en depresiones muy marcadas a orillas de cenotes y aguadas. Las plantas más frecuentes que

integran a esta comunidad son: quentó (*Thalia geniculata*), popay (*Calathea sp.*), platanillo (*Heliconia sp.*) y algunas especies acompañantes de las familias ciperáceas y gramíneas, como *Panicum sp.*, *Paspalum sp.* y *Cyperus sp.*

Dunas costeras. Localizada a lo largo de las costas, con especies pioneras y fijadoras de arena. Algunas especies que se encuentran en este tipo de vegetación son los nopales (*Opuntia*), riñonina (*Ipomoea*), alfombrilla (*Abronia*), llora sangre (*Croton sp.*), verdolaga (*Sesuvium*). También se encuentran algunas leñosas como *Coccoloba*, entre otras.

HIDROLOGÍA

La entidad es uno de los estados de la zona tropical del sureste del país, en donde las precipitaciones son abundante, mayores de 1 000 mm; se caracteriza por la inexistencia de corrientes superficiales, debido a las características edáficas y la naturaleza del subsuelo. Al no poder desarrollas las corrientes superficiales, la porción del agua de precipitación que resta a la evaporación es absorbida por las plantas y suelos, lo que queda satura el terreno infiltrándose en el subsuelo, lo que da origen a las aguas subterráneas en cavernosidades. La excepción a esta particularidad sería el río Hondo, límite natural entre nuestra República y Belice, localizada en la parte sur, misma región donde se presentan otros arroyos intermitentes de poca importancia (INEGI, 2002).

Según INEGI (2002) y la CNA (1995-2000), Quintana Roo se encuentra entre dos regiones hidrológicas: la RH32 Yucatán Norte y la RH33 Yucatán Este. La primera está conformada además del estado de Quintana Roo, por Yucatán y Campeche, con una superficie total de 56 443 km², en el estado comprende la parte norte, sus límites son: al norte por el Golfo de México, al este el Mar Caribe, al sur la Región Hidrológica 33 y al oeste el estado de Yucatán donde continua. Presenta dos cuencas: 32ª Quintana Roo y 32B Yucatán, esta última solo abarca una pequeña área.

La segunda abarca los tres estados de la Península de Yucatán con una superficie de 39 579 km² en México y continua en Guatemala y Belice. Se ubica desde el norte de la parte media y el sur de la entidad. Limita al norte con la región hidrológica 32, al este con el Mar Caribe y la Bahía de Chetumal, al sur con Belice y Guatemala, al oeste con Campeche, colindando con la RH31 y al noroeste con el estado de Yucatán. Conformada por dos cuencas: 33ª Bahía de Chetumal y otras y la 33B Cuencas Cerradas.

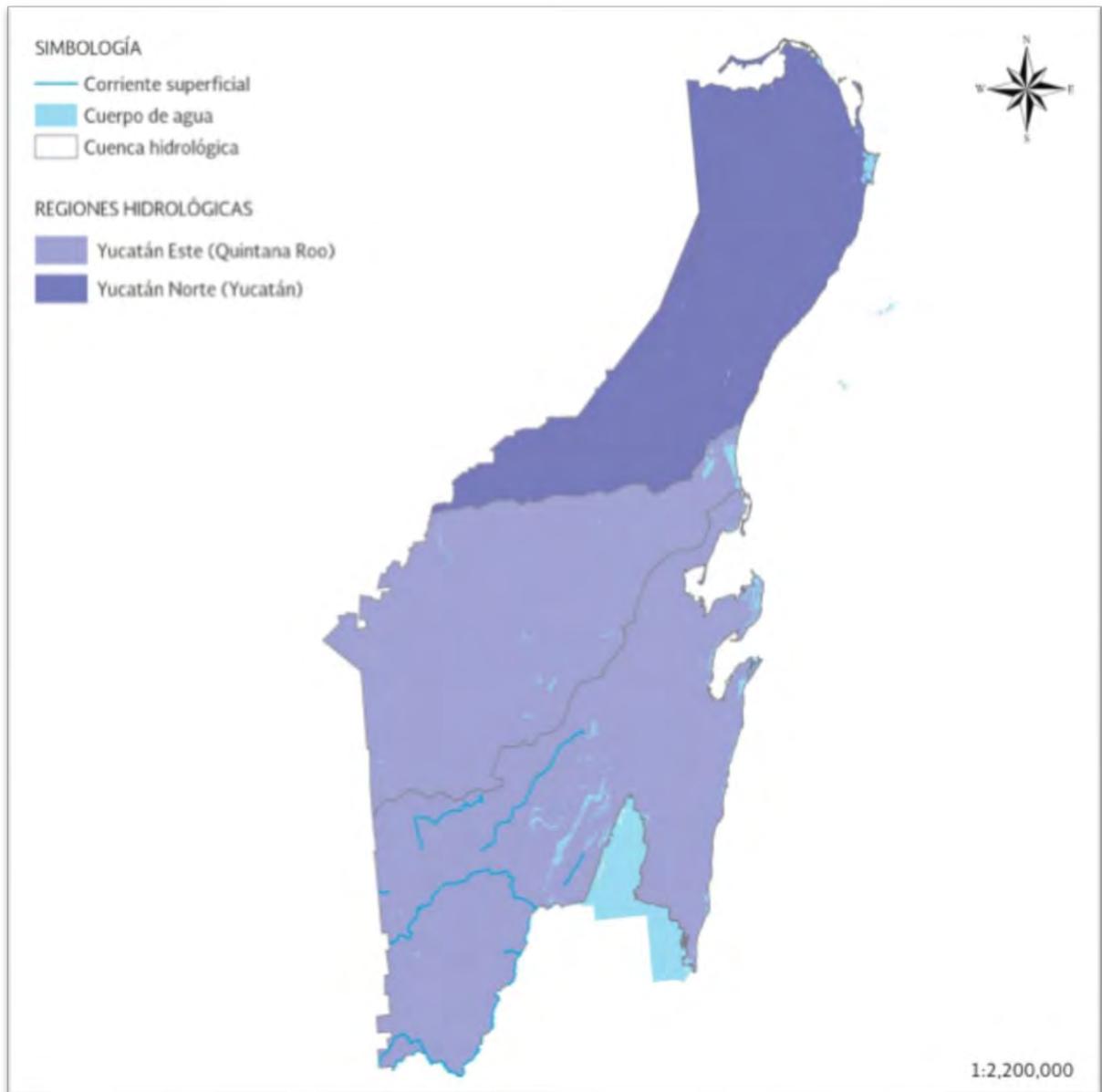


Figura 5 Cuerpos de agua de Quintana Roo.

Fuente: Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Quintana Roo (2013).

MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó de octubre del 2016 a junio del 2017 en el estado de Quintana Roo. Para la selección de los sitios de muestreo se identificaron las coberturas vegetales mejor conservadas utilizando la información de suelo y vegetación del INEGI con escala de 1: 250 000 serie V, usando la herramienta de intersección (geoprocesamiento) en Arcgis 10.2.

Se obtuvieron 38 sitios de muestreo tomando en cuenta los 12 grupos principales de suelos de la WRB identificados en el estado, con las vegetaciones de selva mediana subperennifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja subperennifolia, selva baja subcaducifolia, selva baja inundable subperennifolia, selva baja espinosa subperennifolia, manglar rojo, manglar negro, manglar mixto, palmar inducido, palmar natural, matorral costero, tular, popal y duna costera.

Para la obtención de las muestras en campo se verificó y eligió el sitio idóneo de la combinación suelo-vegetación que mostrara la menor perturbación, una vez establecido se tomaron los puntos con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), se identificaron las especies vegetales representativas del lugar y se tomó una muestra representativa de suelo.

Las muestras de suelo se tomaron haciendo una calicata e identificando los horizontes superiores en los primeros 30 cm o hasta la presencia de roca, se tomó muestra de los horizontes O y A por separado de cada suelo, caracterizándolos y posteriormente se analizaron sus propiedades en el laboratorio.

Para determinar sus propiedades fisicoquímicas de cada muestra se usaron los siguientes métodos siguiendo las especificaciones de la NOM-021-SEMARNAT-2000: color por comparación usando las tablas Munsell, pH y conductividad eléctrica por el método del potenciómetro con relación suelo: agua 1: 2, determinación de carbonatos insolubles mediante la titulación en retroceso, determinación de textura por el método de Bouyoucos y materia orgánica por el método de Walkley&Black.

Para determinar el CO en el horizonte O se utilizó el método de Calcinación a 400°C durante tres horas en la mufla de inducción, se dejó enfriar en el desecador durante quince minutos.

Cada una de las muestras se analizó por triplicado.

Con la información obtenida en campo se generó una base de datos en la que se pudo analizar el contenido de CO en los horizontes O y A de los diferentes grupos de suelo muestreados, identificando

en cuál de los grupos se acumula el mayor porcentaje, de igual manera se realizó un diagrama de comparación de distribución del porcentaje de CO por cada horizonte y se aplicó el análisis de agrupamiento jerárquico aglomerativo para estimar la certidumbre de los datos.

RESULTADOS.

En la siguiente tabla se resume la información obtenida en campo y el resultado de los análisis de laboratorio para cada uno de los suelos. Hasta aquí.

Tabla 1 Descripción de perfiles (horizonte O y A) en los puntos muestreados.

Perfil 1,1	Horizonte	Descripción
	O 0-12	Suelo Gleysol con vegetación presente de selva baja espinosa subperennifolia. Presenta un color seco light gray (5YR 7/1) y húmedo gray (7.5YR 5/1); textura francosa; carbonatos elevados; muy fuertemente salino; medianamente alcalino.
	A 12-30	Presenta un color seco dark gray (10YR 4/1) y húmedo dark gray (10YR 4/1); textura arcillosa; carbonatos nulos; bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.9.
Perfil 1,2	Horizonte	Descripción
	O 0-12	Suelo Leptosol con vegetación presente de selva baja subperennifolia. Presenta un color seco very dark gray (10YR 3/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura areno francosa; carbonatos ligero; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 12-30	Presenta un color seco black (10YR 2/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura areno francosa; carbonatos moderado; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.62.
Perfil 1,3	Horizonte	Descripción
	O 0-13	Suelo Leptosol con vegetación presente de selva mediana subperennifolia. Presenta un color seco very dark gray (7.5YR 3/1) y húmedo very dark gray (7.5YR 3/1); textura franco arcillo arenoso; carbonatos elevado; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 13-72	Presenta un color seco dark gray (7.5YR 4/1) y húmedo brown (7.5YR 4/2); textura franco arcillo arenosa; carbonatos elevado; muy bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.74.
Perfil 2,1	Horizonte	Descripción
	A 0-30x	Suelo Solonchak con vegetación de manglar mixto, predomina mangle negro y botoncillo; no presenta horizonte O; pedregosidad de cero por ciento; sumergido después de los 30cm; presenta un color seco light gray (10YR 7/1) y húmedo light brownish (10YR 6/2); textura areno francosa; carbonatos elevado; muy bajo porcentaje de materia orgánica; fuertemente salino; medianamente alcalino; densidad 0.99.

Perfil 2,2	Horizonte	Descripción
	o 0-10	Suelo Phaeozem con vegetación de selva baja espinosa subperennifolia, predomina chechén y el Quibix. Presenta un color seco dark brown (7.5YR 3/2) y húmedo black (7.5YR 2.5/1); textura franco-arenosa; carbonatos moderado; muy ligeramente salino; medianamente alcalino.
	A 10-30	Presenta un color seco brown (7.5YR 4/3) y húmedo very dark brown (7.5YR 2.5/2); textura franca arcillo arenosa; carbonatos moderado; alto porcentaje de materia orgánica; moderadamente salino; pH neutro; densidad 0.68.
Perfil 2,3	Horizonte	Descripción
	A 0-30x	Suelo Arenosol con vegetación de duna costera, predomina uva de mar, pantzil, palma chit y zacate de playa; no presenta horizonte O; presenta color seco very pale brown (10YR 8/2) y húmedo very pale brown (10YR 7/3); textura arenosa; carbonatos muy elevado; muy bajo porcentaje de materia orgánica, efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 1.15.
Perfil 2,4	Horizonte	Descripción
	A 0-30x	Suelo Arenosol con vegetación de matorral costero, domina la palma chit, uva de mar y el zapote amarillo; pedregosidad cero por ciento; presenta un color seco light brownish gray (10YR 6/2) y húmedo brown (10YR 4/3); textura areno-francosa; carbonatos elevado; bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.82.
Perfil 2,5	Horizonte	Descripción
	o 0-1	Suelo Arenosol con vegetación de palmar chital, domina la palma chit y presencia de chaca, zapote y chechén. Pedregosidad de cero por ciento; presenta color seco brown (7.5YR 5/2) y húmedo very dark brown (10YR 2/2); textura arenosa; carbonatos elevado; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 1-30x	Pedregosidad de cero por ciento; presenta color seco light brownish gray (10YR 6/2) y húmedo dark grayish brown (10YR 4/2); textura areno francosa; carbonatos moderado; bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.87.

Perfil 3,1	Horizonte	Descripción
	o 0-10	Suelo Phaeozem con vegetación de selva mediana subperennifolia, presencia de zapotillo, guano, chaca, ramón y palma chit. Pedregosidad cero por ciento; presenta color seco dark brown (7.5YR 3/2) y húmedo very dark brown (10YR 2/2); textura franca arcillo arenosa; carbonatos nulos; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 10-36	Pedregosidad cero por ciento; presenta color seco very dark brown (7.5YR 2.5/2) y húmedo very dark brown (7.5YR 2.5/2); textura franca arcillo arenosa; carbonatos nulos; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.86.
Perfil 3,4	Horizonte	Descripción
	o 0-10	Suelo Vertisol con vegetación de selva baja subperennifolia, dominancia de guano y jabin. Pedregosidad del cinco por ciento; estructura granular; presenta color seco dark brown (7.5YR 3/2) y húmedo very dark brown (10YR 2/2); textura franca arcillo arenosa
	A 10-25	Pedregosidad del cinco por ciento; estructura granular; presenta color seco dark grayish brown (10YR 4/2) y húmedo black (7.5YR 2.5/1); textura franca arcillo arenosa; carbonatos elevados; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.77.
Perfil 3,5	Horizonte	Descripción
	o 0-1	Suelo Leptosol con vegetación de selva baja inundable subperennifolia, presencia de pucté, palo de tinte, guano, zapotillo, jabin, acasia. Pedregosidad del diez por ciento; presenta color seco very dark gray (7.5YR 3/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura arenosa; carbonatos ligeros; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 1-12	Presenta color seco very dark gray (10YR 3/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura arenosa; carbonatos moderados; alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.76.
Perfil 4,1	Horizonte	Descripción
	o 0-19	Suelo Vertisol con vegetación de selva baja subcaducifolia, presencia de pucté, chaca, palo tinte. Pedregosidad de veinte por ciento; bloques angulares; presenta color seco gray (7.5YR 5/1) y húmedo very dark gray (10YR 3/1); textura francosa; carbonatos ligeros; efectos despreciables de la salinidad; moderadamente ácido.
	A 19-38	Pedregosidad de veinte por ciento; bloques angulares; presenta color seco gray (10YR 5/1) y húmedo dark gray (10YR 4/1); textura arcillosa; carbonatos moderados; alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 1.03.

Perfil 4,2	Horizonte	Descripción
	o 0-11	Suelo Cambisol con vegetación de selva baja subcaducifolia, presencia de chacá y chechén. Pedregosidad de cinco por ciento; bloques subangulares; presenta color seco dark gray (10YR 4/1) y húmedo very dark brown (10YR 2/2); textura franco-arenosa; carbonatos ligeros; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 11-21	Pedregosidad de cinco por ciento; bloques subangulares; presenta color seco gray (10YR 5/1) y húmedo dark grayish brown (10YR 4/2); textura franco arcillo arenoso; carbonatos nulos; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; moderadamente ácido. Densidad 0.96.
Perfil 4,3	Horizonte	Descripción
	o 0-7	Suelo Phaeozem con vegetación de selva mediana subcaducifolia, domina el chacá. Pedregosidad de cero por ciento; presenta un color seco dark gray (7.5YR 4/1) y húmedo very dark gray (10YR 3/1); textura franca arcillo arenosa; carbonatos ligeros; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 7-30x	Pedregosidad de cero por ciento; estructura granular hasta los quince centímetros y bloques subangulares de los quince hasta los treinta centímetros; presenta un color seco gray (10YR 5/1) y húmedo very dark gray (10YR 3/1); textura arcillosa; carbonatos ligeros; bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 1.
Perfil 4,4	Horizonte	Descripción
	o 0-2	Suelo Leptosol con vegetación de selva mediana subcaducifolia, dominancia de chechén. Pedregosidad del ochenta por ciento; estructura granular; presenta color seco very dark gray (7.5YR 3/1) y húmedo very dark brown (10YR 2/2); textura franco arenoso; carbonatos ligeros; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 2-23	Pedregosidad del ochenta por ciento; estructura granular; presenta color seco black (7.5YR 5/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura franca arcillo arenosa; carbonatos moderados; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro. Densidad 1.24.
Perfil 4,5	Horizonte	Descripción
	o 0-6	Suelo Vertisol con vegetación de selva mediana subperennifolia, presencia de guano, chicozapote y ramón. Bloques subangulares; presenta color seco black (7.5YR 2.5/1) y húmedo very dark brown (10YR 2/2); textura arenosa; carbonatos moderados; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 6-30	Bloques subangulares; presenta color seco very dark gray (2.5YR 3/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura franco arenosa; carbonatos moderados; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.6.

Perfil 5,1	Horizonte	Descripción
	O 0-4	Suelo Vertisol con vegetación de selva baja inudable subperennifolia, presencia de pucté, chechén, palo tinte, zapote y pomoché. Pedregosidad del cero por ciento; bloques angulares; presenta color seco gray (10YR 5/1) y húmedo very dark brown (7.5YR 2.5/2); textura arenosa; carbonatos moderados; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 4-30	Pedregosidad del cero por ciento; bloques angulares; presenta color seco gray (10YR 6/1) y húmedo very dark gray (10YR 3/1); textura franco-arenosa; carbonatos muy elevados; porcentaje medio de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 1.01.
Perfil 5,2	Horizonte	Descripción
	O 0-3	Suelo Kastañosem con vegetación de selva mediana subcaducifolia, presencia de chacá, guano, piperácea, ramón y guano cum. Pedregosidad del veinte por ciento; bloques granulares y subangulares; presenta color seco dark gray (7.5YR 4/1) y húmedo very dark gray (7.5YR 6/1); textura franco-arenosa; carbonatos ligeros; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 3-19	Pedregosidad del veinte por ciento; bloques granulares y subangulares; presenta color seco gray (5YR 6/1) y húmedo gray (10YR 6/1); textura arcillosa; carbonatos ligeros; muy bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.85.
Perfil 5,3	Horizonte	Descripción
	A 0-4	Suelo Leptosol con vegetación de selva baja subcaducifolia, presencia de acacias, chechén, jabin, pomoché y chacá; pedregosidad más del ochenta por ciento; estructura granular; presenta color seco black (7.5YR 2.5/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura franco arcillo arenoso; carbonatos elevados; alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.74.
Perfil 5,5	Horizonte	Descripción
	A 0-8	Suelo Gleysol con vegetación de selva baja subcaducifolia, presencia de bromelias y zapote; pedregosidad del cero por ciento; estructura subangular; presenta color seco dark gray (10YR 4/1) y húmedo dark gray (7.5YR 4/1); textura franco arcillo arenoso; carbonatos nulos; alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.9.
Perfil 5,6	Horizonte	Descripción
	A 0-14	Suelo Gleysol con vegetación de selva mediana subperennifolia, presencia de zapote, gauno y zapote; poco perturbada; pedregosidad del cero por ciento; estructura subangular; presenta color seco very dark gray (10YR 3/1) y húmedo very dark gray (7.5YR 3/1); textura franco arcillo arenoso; carbonatos ligeros; alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.86.

Perfil 6,1	Horizonte	Descripción
	A 0-20	Suelo Regosol con vegetación de tular, presencia de botoncillo, tasiste y palma chit; pedregosidad del cero por ciento; cubierto de agua con una capa de diecinueve centímetros; presenta color seco grayish brown (10YR 5/2) y húmedo very dark gray (10YR 3/1); textura franco arenoso; carbonatos muy elevados; alto porcentaje de materia orgánica; moderadamente salino; pH neutro; densidad 0.3.
Perfil 6,2	Horizonte	Descripción
	A 0-62	Suelo Regosol con vegetación de manglar, domina el mangle rojo; pedregosidad del cero por ciento; cubierto de agua con una capa de diez centímetros; presenta color seco white (10YR 8/1) y húmedo pinkish gray (10YR 7/2); textura areno francoso; carbonatos muy elevados; bajo porcentaje de materia orgánica; muy ligeramente salino; pH neutro; densidad 0.79.
Perfil 6,5	Horizonte	Descripción
	O 0-4	Suelo Leptosol con vegetación de manglar, domina el mangle blanco y botoncillo. Presenta color seco black (7.5YR 2.5/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura areno francoso; carbonatos ligeros; salino; medianamente alcalino.
	A 4-8	Presenta color seco dark gray (10YR 4/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura franco arenoso; carbonatos moderados; muy alto porcentaje de materia orgánica; salino; pH neutro; densidad 0.34.
Perfil 6,6	Horizonte	Descripción
	O 0-10	Suelo Histosol con vegetación de manglar, domina el mangle negro. Presenta color seco very dark grayish brown (10YR 3/2) y húmedo black (10YR 2/1); textura franco arenoso; carbonatos elevados; fuertemente salino; medianamente alcalino.
	A 10-27	Presenta color seco pale brown (10YR 6/3) y húmedo dark grayish brown (10YR 4/2); textura franco arenoso; carbonatos muy elevados; alto porcentaje de materia orgánica; fuertemente salino; pH neutro; densidad 0.3.
Perfil 6,7	Horizonte	Descripción
	O 0-4	Suelo Regosol con vegetación de selva baja subperennifolia, presencia de chacá, chechén y chit; abundancia de raíces. Pedregosidad del diez por ciento; presenta color seco light brownish gray (10YR 6/2) y húmedo dark grayish brown (10YR 4/2); textura arenosa; carbonatos muy elevados; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 4-38	Pedregosidad del diez por ciento; presenta color seco light gray (7.5YR 7/1) y húmedo grayish brown (10YR 5/2); textura arenosa; carbonatos muy elevados; muy bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino. Densidad 0.38.

Perfil 6,8	Horizonte	Descripción
	A 0-30x	Suelo Gleysol con vegetación de manglar, domina el mangle rojo; inundado hasta los catorce centímetros; Pedregosidad del cero por ciento; presenta color seco light brownish gray (10YR 6/2) y húmedo dark grayish brown (10YR 4/2); textura arena francoso; carbonatos muy elevados; muy bajo porcentaje de materia orgánica; moderadamente salino; medianamente alcalino. Densidad 0.9
Perfil 6,9	Horizonte	Descripción
	A 0-45x	Suelo Arenosol con vegetación de palmar inducido; Pedregosidad menor al cinco por ciento; presenta color seco light brownish gray (10YR 6/2) y húmedo dark grayish brown (10YR 4/2); textura arena francoso; carbonatos muy elevados; porcentaje medio de materia orgánica; muy ligeramente salino; medianamente alcalino, densidad 0.805.
Perfil 6,10	Horizonte	Descripción
	o 0-4	Suelo Regosol con vegetación de palmar inducido; estructura granular arenosa. Pedregosidad del diez por ciento; presenta color seco brown (10YR 5/3) y húmedo grayish brown (10YR 5/2); textura arenosa; carbonatos muy elevados; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino.
	A 4-30x	Pedregosidad del diez por ciento; estructura granular arenosa; presenta color seco light brownish gray (10YR 6/2) y húmedo dark gray (10YR 4/1); textura arenosa; carbonatos muy elevados; muy bajo porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino. Densidad 0.79.
Perfil 7,1	Horizonte	Descripción
	o 0-5	Suelo Phaeozem con vegetación de selva baja subperennifolia, presencia de chacá, tzalam, ramón y ciricote; estructura granular. Pedregosidad del cero por ciento; presenta color seco very dark brown (10YR 2/2) y húmedo very dark brown (7.5 YR 5/3); textura franco arenosa; carbonatos moderados; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro.
	A 5-30x	Estructura granular; pedregosidad del cero por ciento; presenta color very dark brown (10YR 2/2) y húmedo very dark brown (7.5YR 5/3); textura arcillo arenosa; carbonatos moderados; no presentó porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; medianamente alcalino; densidad 0.7.

Perfil 7,2	Horizonte	Descripción
	A 0-1	Suelo Luvisol con vegetación de selva baja subperennifolia, presencia de chacá, cedro, guano, jabín y tzalam; pedregosidad del cero por ciento; bloques subangulares; presenta color seco dark reddish brown (5YR 3/4) y húmedo dark reddish brown (2.5YR 2.5/4); textura arcillosa; carbonatos nulos; porcentaje medio de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 0.89.
Perfil 7,3	Horizonte	Descripción
	A 0-3	Suelo Luvisol con vegetación de selva baja subcaducifolia, presencia de jabín, chacá, ceiba enana y palma despeinada; pedregosidad del cero por ciento; bloques subangulares; presenta color seco red (2.5YR 4/8) y húmedo dusky red (10YR 3/4); textura franco arcillo arenoso; carbonatos nulos; muy alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; moderadamente ácido; densidad 0.79.
Perfil 7,4	Horizonte	Descripción
	o 0-3	Suelo Fluvisol con vegetación de selva baja subperennifolia, presencia de chit, guano, piñuela, pata de vaca, tzalam, chacá, chechén, jabín y akits. Pedregosidad del veinte por ciento; sin estructura; presenta color seco very dark gray (7.5 YR 3/1) y húmedo black (10 YR 2/1); textura areno francoso; carbonatos moderados; muy ligeramente salino; pH neutro.
	A 3-18	Pedregosidad del veinte por ciento; sin estructura; presenta color seco dark gray (10YR 4/1) y húmedo black (10YR 2/1); textura franco franco arenoso; carbonatos moderados; muy bajo porcentaje de materia orgánica; muy ligeramente salino; pH neutro; densidad 0.79.
Perfil 7,8	Horizonte	Descripción
	A 0-12	Suelo Gleysol con vegetación de popal; pedregosidad del cero por ciento; presenta color seco white (10YR 8/1) y húmedo light brownish red (10YR 6/2); textura franco franco arenoso; carbonatos elevados; alto porcentaje de materia orgánica; efectos despreciables de la salinidad; pH neutro; densidad 1.

Contenido de Carbono Orgánico (CO)

La profundidad de los horizontes O y A varían en cada grupo de suelo. El grupo que presentó mayor grosor de Horizonte O son los Vertisols con una profundidad de seis a 19 cm. El grupo de Arenosols presentó un centímetro de profundidad siendo los de menor grosor.

En cuanto al contenido de CO en el horizonte O se encontró que los suelos con un mayor porcentaje promedio en el estado son: Histosol con 47.6%, los Leptosols (41.7%), Fluvisols (34.8%) y Kastañozem (30.3%), mientras que los suelos con menor contenido de CO son: los Gleysols (10.6%), Regosols (12.3%) y Cambisols (12.6%) (Figura 6).

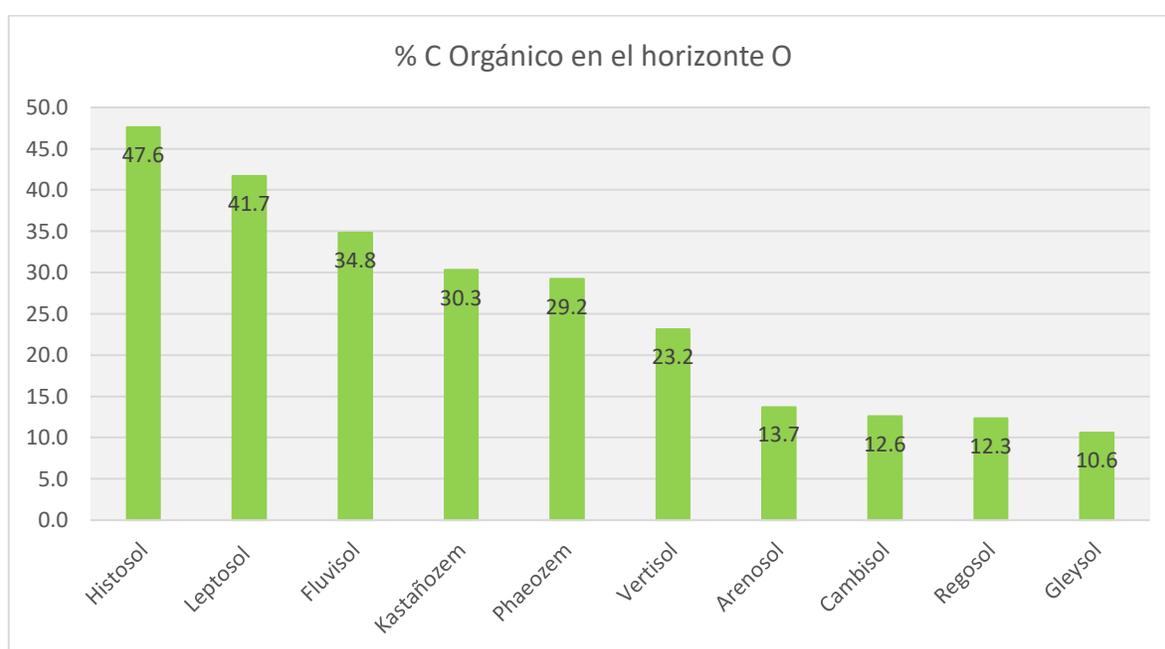


Figura 6 Contenido de carbono orgánico en los horizontes O en los suelos de Quintana Roo.

Para el horizonte A (Figura 7) los suelos con mayor porcentaje de CO que se reportaron son: Phaeozems (12.6%), Leptosols (9.5%) y Histosol (7.3%), los que presentaron menor porcentaje de CO son: los Fluvisols (0.9%), Solonchak (0.98%) y Arenosols (1.8%). Por otra parte, el grupo de suelo con mayor grosor en el horizonte A son los Arenosols con una profundidad de 30 más de 45 cm, mientras que los Luvisols presentan una menor profundidad que va de uno a tres centímetros.

Los Histosols son el grupo que presentan mayor porcentaje de CO en su horizonte H con 47.6%.

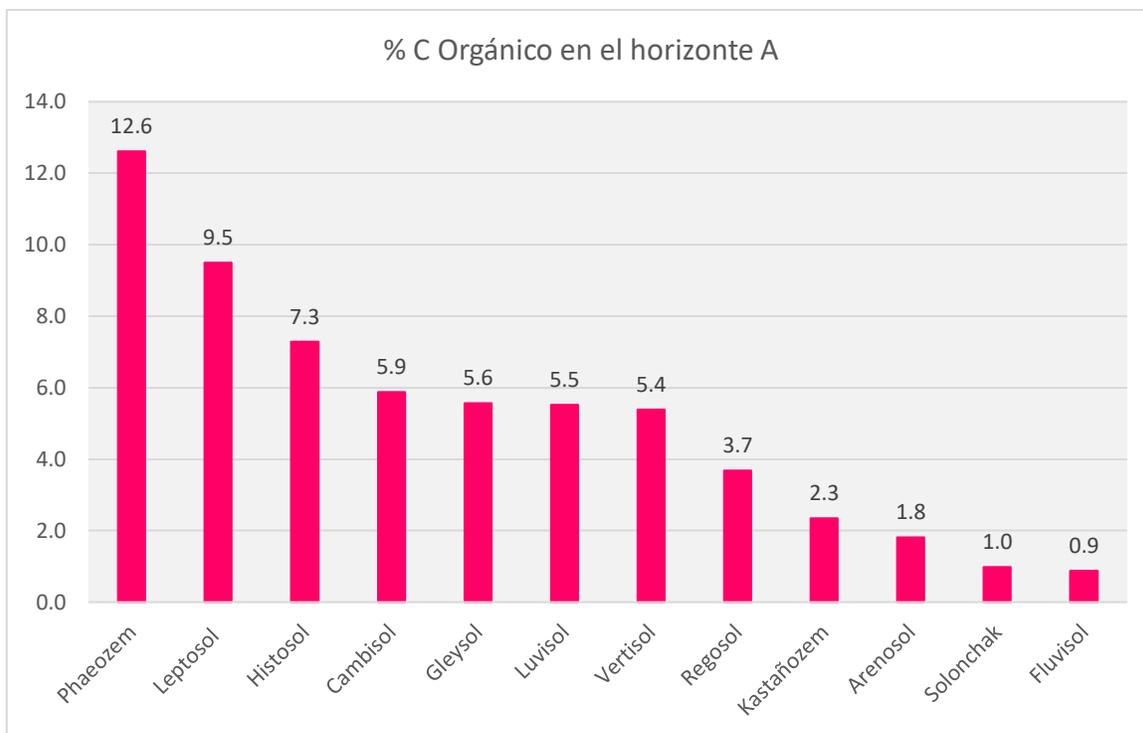


Figura 7 Contenido de carbono orgánico en los horizontes A en los suelos de Quintana Roo.

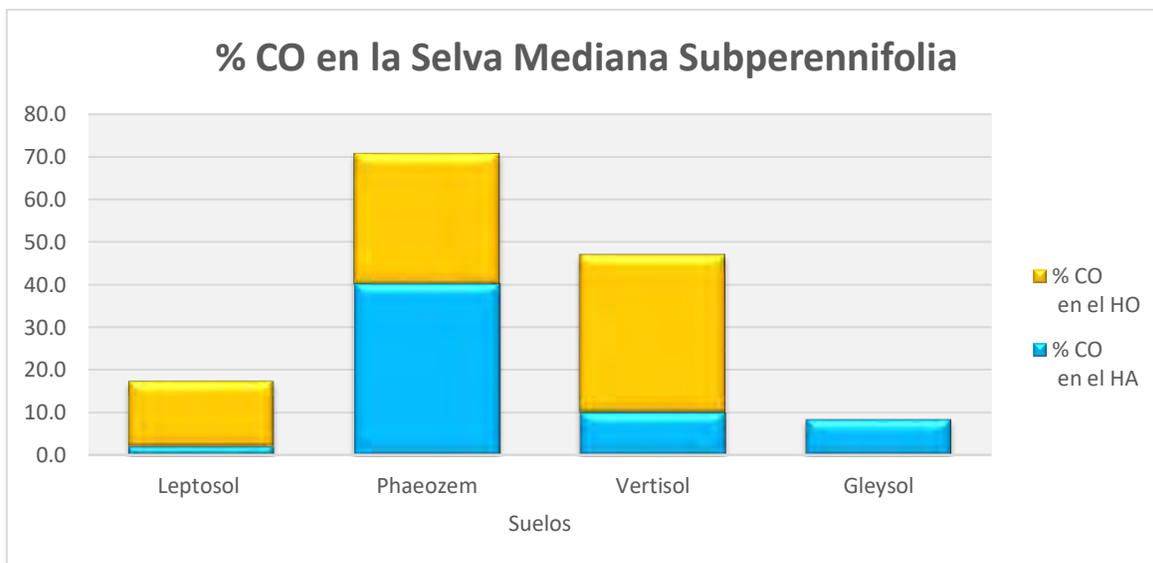


Figura 8 Porcentaje de CO en la selva mediana subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

Analizando el contenido de CO en los horizontes O y A por tipo de vegetación puede apreciarse que en la selva mediana subperennifolia (figura 8) se distribuyen cuatro grupos de suelos: Los Phaeozems

mostraron mayor contenido de CO con 30.8% en el horizonte O y 40% en el horizonte A, seguido del grupo de los Vertisols con 37.2% en el horizonte O y 9.9% en el horizonte A, los Leptosols presentaron un porcentaje de 15.4 en el horizonte O y 2 en el horizonte A. El Gleysol no mostro horizonte O y en su horizonte A tuvo 8.3 % de CO.

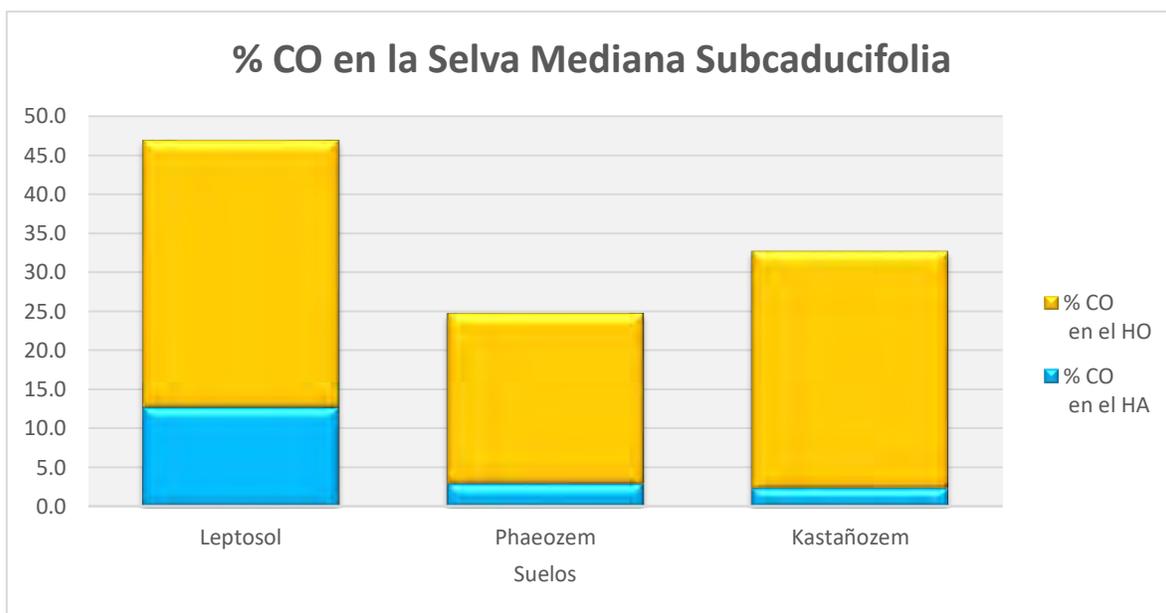


Figura 9 Porcentaje de CO en la selva mediana subcaducifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

En la selva mediana subcaducifolia (figura 9) se encuentran presentes tres grupos de suelos, de los cuales los Leptosols mostraron mayor contenido de CO con 34.3% en el horizonte O y en su horizonte A 9.9%, los Kastañozems presentaron 30.3% en el horizonte O y 2.3% en el horizonte A, el grupo que presentó menor cantidad de CO fueron los Phaeozems con 21.8% en el horizonte O y 2.9 % en el horizonte A.

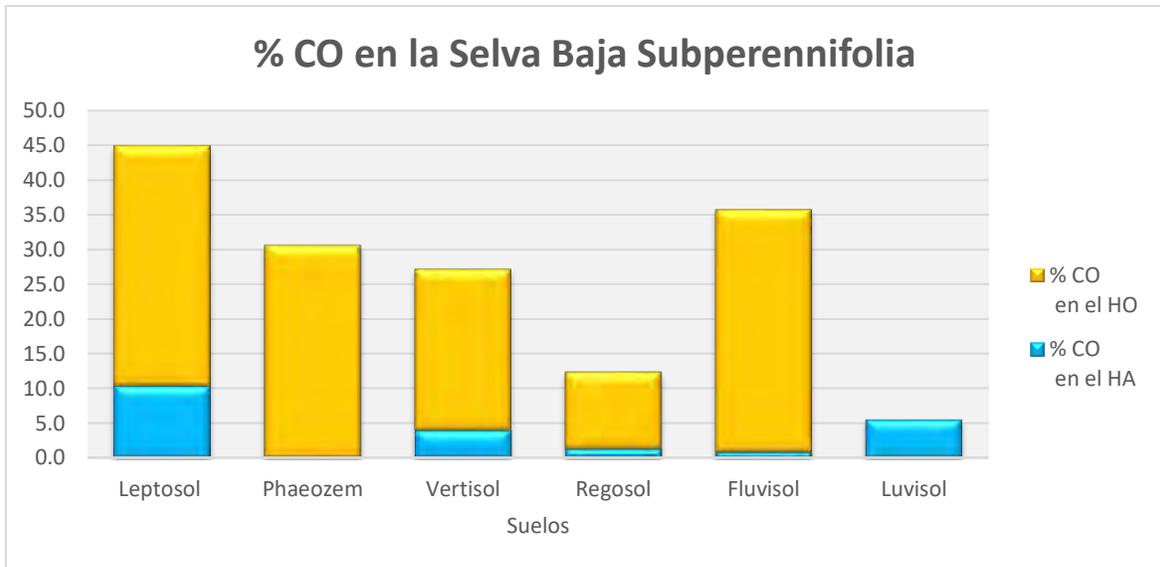


Figura 10 Porcentaje de CO en la selva baja subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

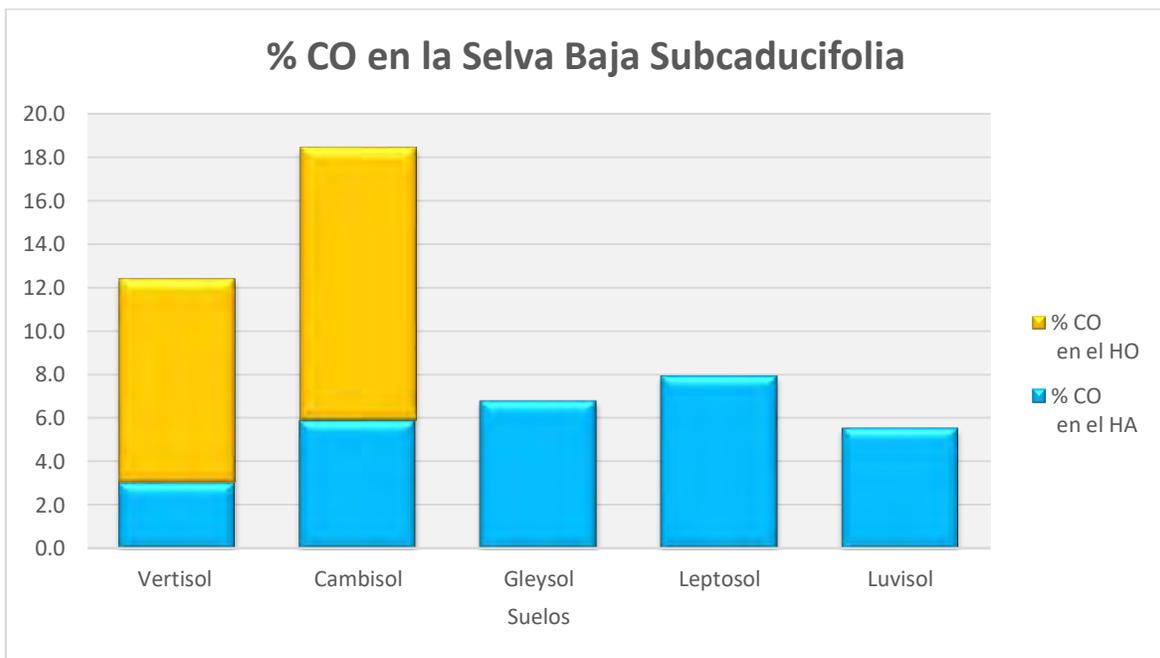


Figura 11 Porcentaje de CO en la selva baja subcaducifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

Para la selva baja subperennifolia (figura 10) fueron seis grupos de suelos muestreados, Leptosols, Fluvisol, Phaeozems, Vertisols, Regosols y Luvisols, con un porcentaje en su contenido de CO en el horizonte O de 34.5%, 34.8%, 30.6%, 23.1%, 11.1% y en el horizonte A su contenido de CO fue de 10.3%, 0.9%, 0%, 4%, 1.3% y 5.5% respectivamente mientras que los Luvisols no presentaron horizonte O.

En la selva baja subcaducifolia (figura 11) se tomó muestra de cinco grupos de suelos de los cuales los Cambisols y Vertisols presentaron mayor porcentaje de CO, con 12.6 y 9.4 en el horizonte O y en el horizonte A 5.9% y 3% respectivamente. Los tres grupos sobrantes no presentaron horizonte O y pertenecen a los Leptosols, Gleysols y Luvisols con 7.9%, 6.8% y 5.5% respectivamente en el horizonte A.

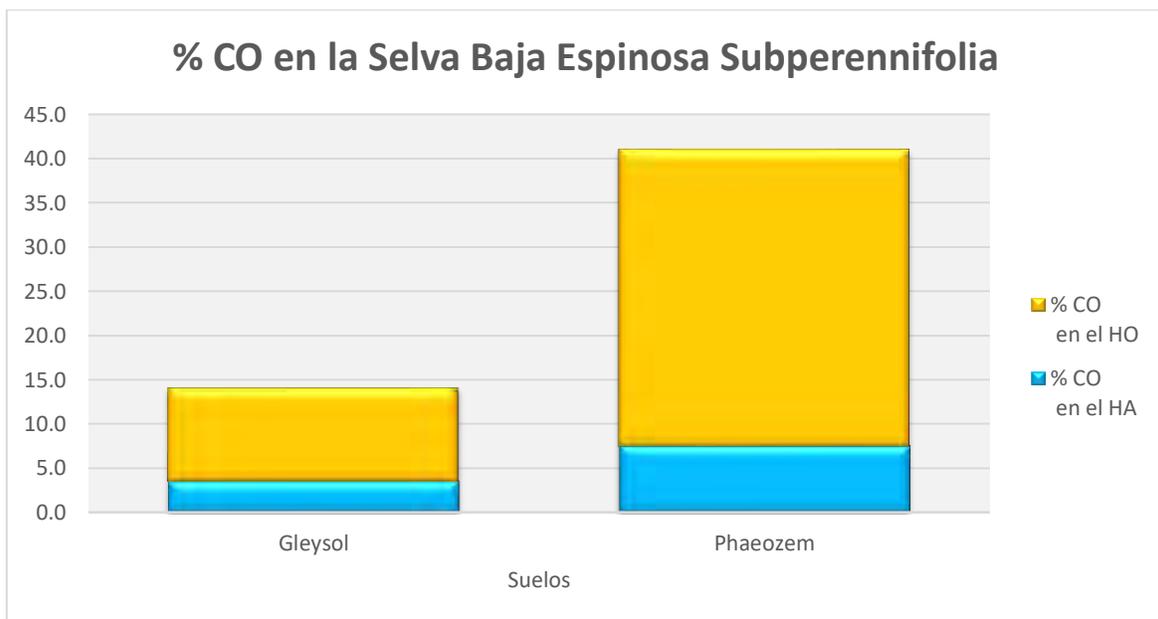


Figura 12 Porcentaje de CO en la selva baja espinosa subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

En la selva baja espinosa subperennifolia (figura 12) se tomó muestra de dos grupos de suelos; los Phaeozems con 33.6% en el horizonte O y 7.5% en el horizonte A y los Gleysols con 10.6% en el horizonte O y 3.5 en el horizonte A.

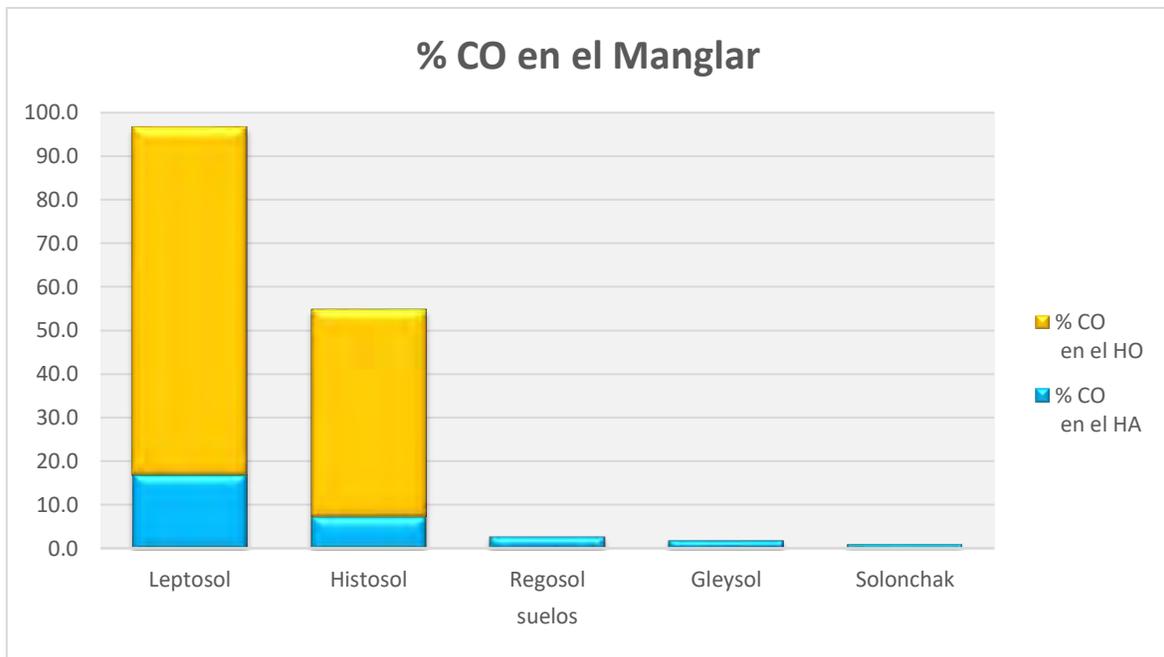


Figura 13 Porcentaje de CO en la vegetación de manglar con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

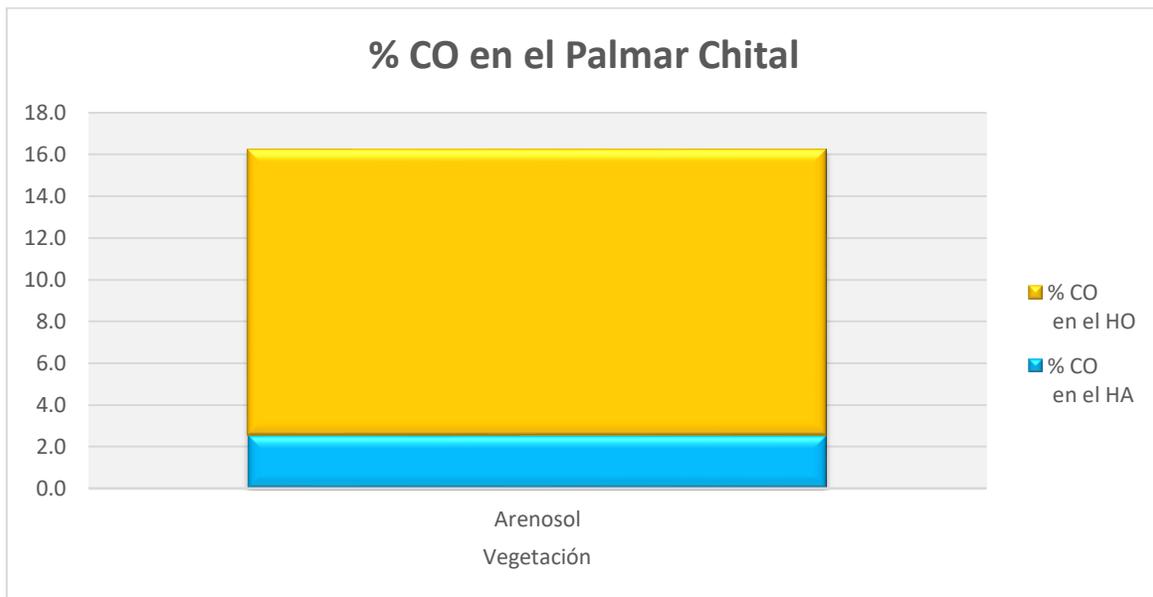


Figura 14 Porcentaje de CO en la vegetación de palmar chital con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

En el manglar (figura 13) tuvimos cinco grupos de suelos los Leptosols e Histosols presentaron un porcentaje mayor de CO con 79.8 y 47.6 en el horizonte O respectivamente, mientras que en el

horizonte A tuvieron 16.7% y 7.3% respectivamente. Siguiendo los Regosols, Gleysols y Solonchacks con 2.8%, 1.9% y 0.988% de CO en el horizonte A respectivamente.

En el plamar chital (figura 14) se presentó un solo grupo de suelo; los Arenosols con un contenido de CO de 13.7% en el horizonte O y 2.5% en el horizonte A. Por otro lado, el palmar inducido presentó dos grupos de suelos; los Regosols con un contenido de CO en el horizonte O de 13.5% y en el horizonte A de 1.9% mientras que los Arenosols tuvieron un porcentaje de 1.3 de CO en el horizonte A y no presentaron horizonte O.

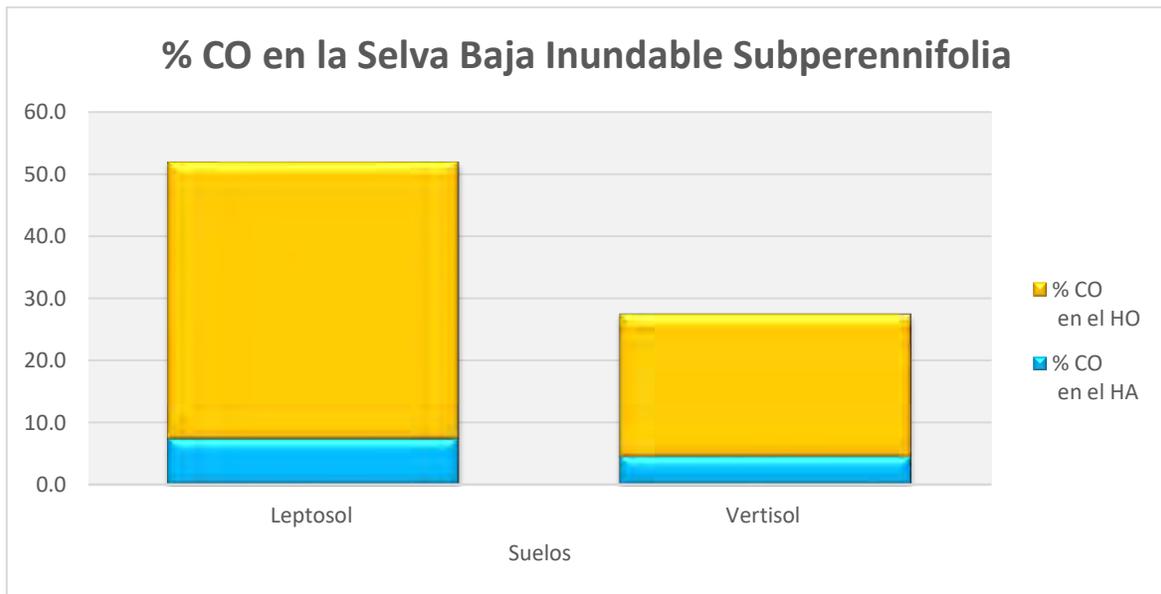


Figura 15 Porcentaje de CO en la selva baja inundable subperennifolia con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

En la selva baja inundable subperennifolia (figura 15) se tomó muestras de dos grupos de suelos; los que mayor contenido de CO presentaron fueron los Leptosols con 44.5% en el horizonte O y 7.4% en el horizonte A, mientras que el grupo que presentó menor contenido de CO fueron los Vertisols con 23% en el horizonte O, y en el horizonte A un porcentaje de 4.6.

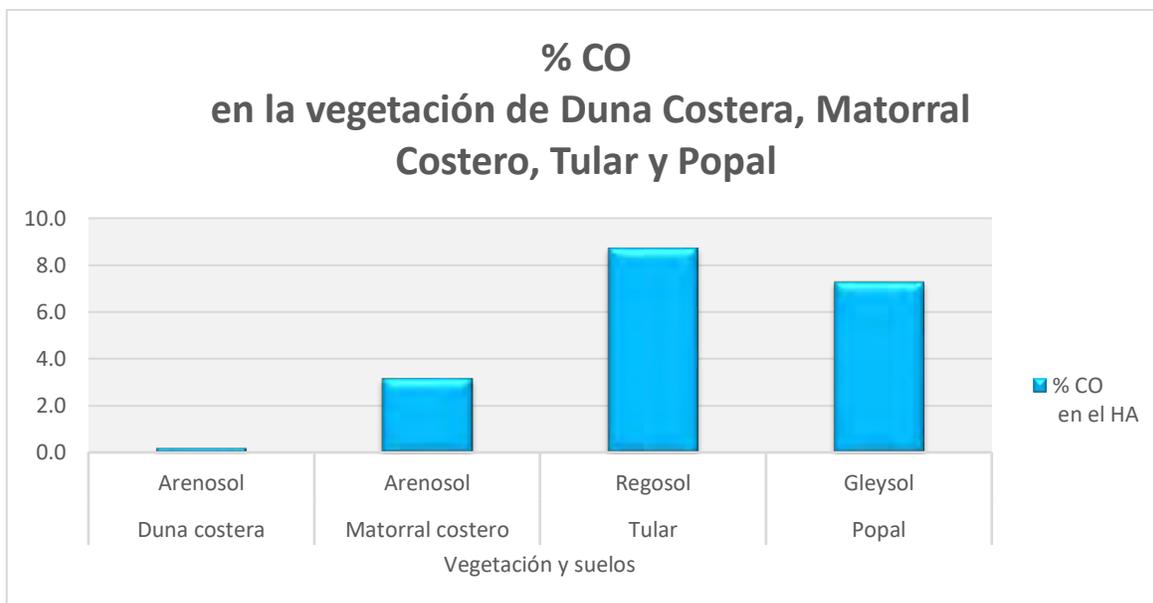


Figura 16 Porcentaje de CO en las vegetaciones de duna costera, matorral costero, tular y popal con los grupos de suelos muestreados en Quintana Roo.

En las vegetaciones de Tular, Popal, Matorral costero y Duna costera (figura 16) se tomaron muestras de un solo grupo de suelo por vegetación teniendo las siguientes combinaciones; Tular-Regosol con 8.7% A, Popal-Gleysol con 7.3%, Matorral costero-Arenosol con 3.2% y Duna costera-Arenosol con 0.2% de CO en el horizonte A. No presentaron horizonte O.

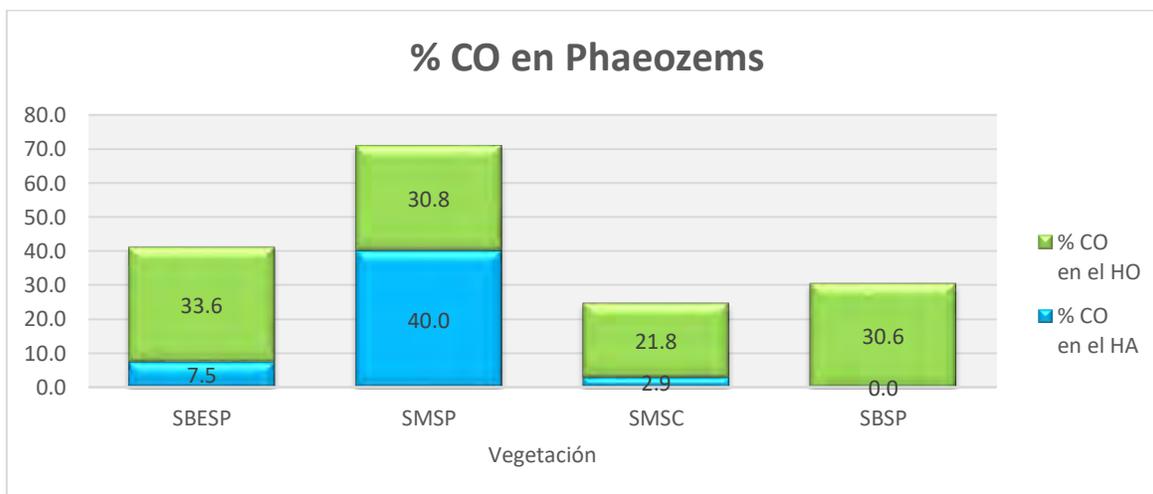


Figura 17 Porcentaje de CO en Phaeozems con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

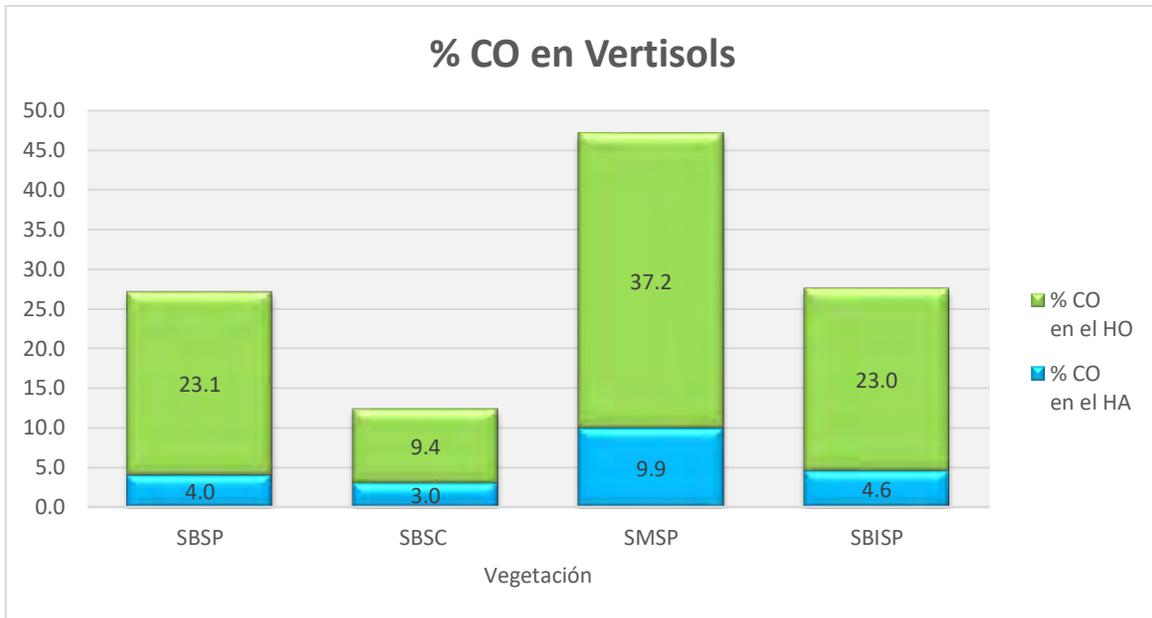


Figura 18 Porcentaje de CO en Vertisols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

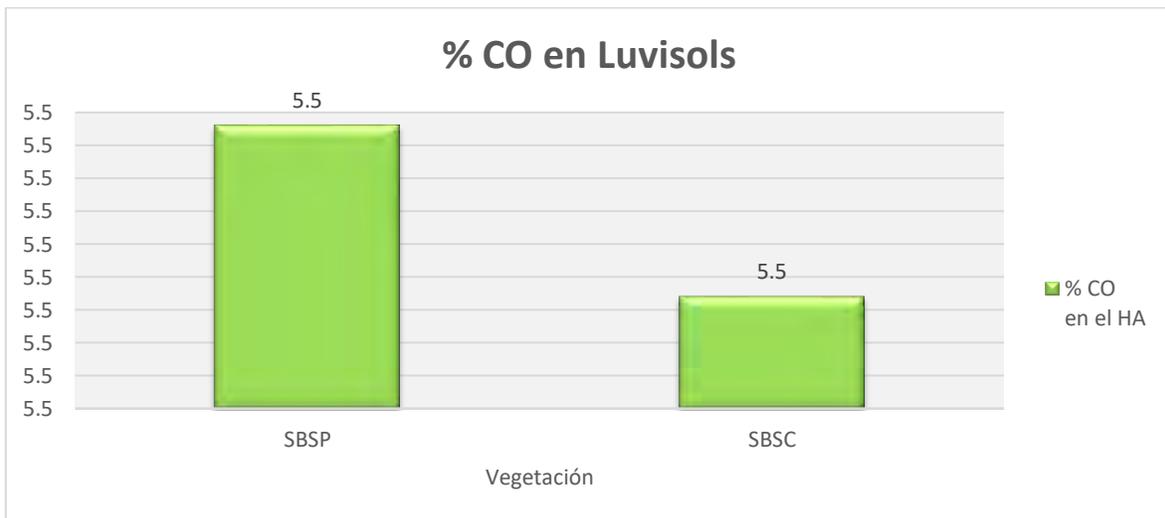


Figura 19 Porcentaje de CO en Luvisols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

Considerando a cada grupo de suelo en los Phaeozems (figura 17) y Vertisols (figura 18) se obtuvo un mayor contenido de CO en la vegetación de SMSP. Los Luvisols (figura 19) se encuentran presentes en condiciones de Selva baja y al igual que los anteriores acumularon mayor contenido en selva subperennifolia.

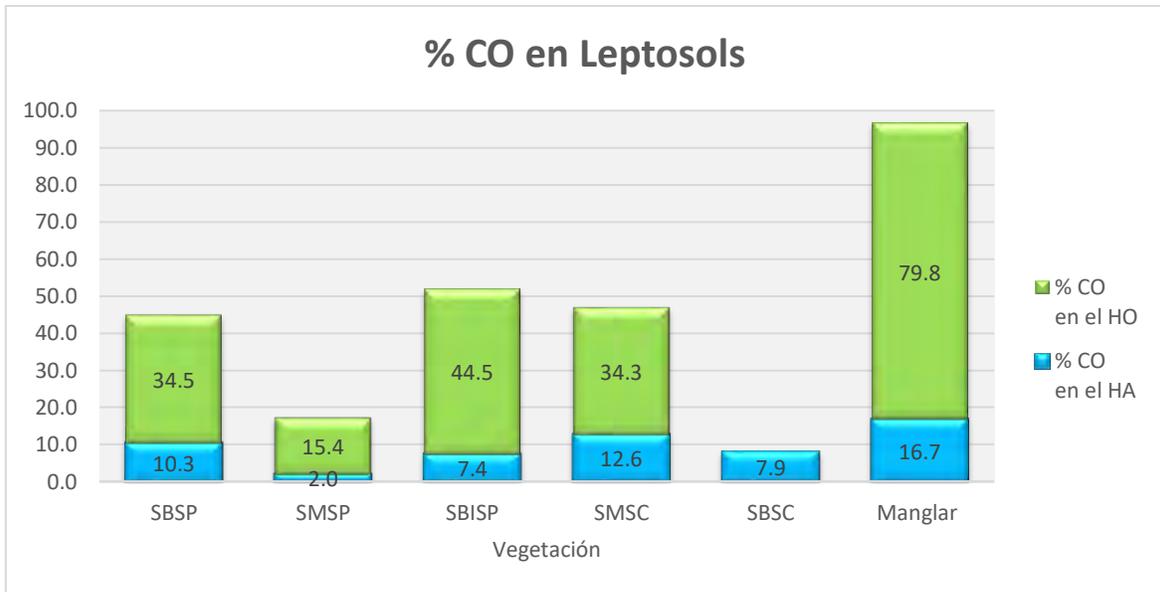


Figura 20 Porcentaje de CO en Leptosols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

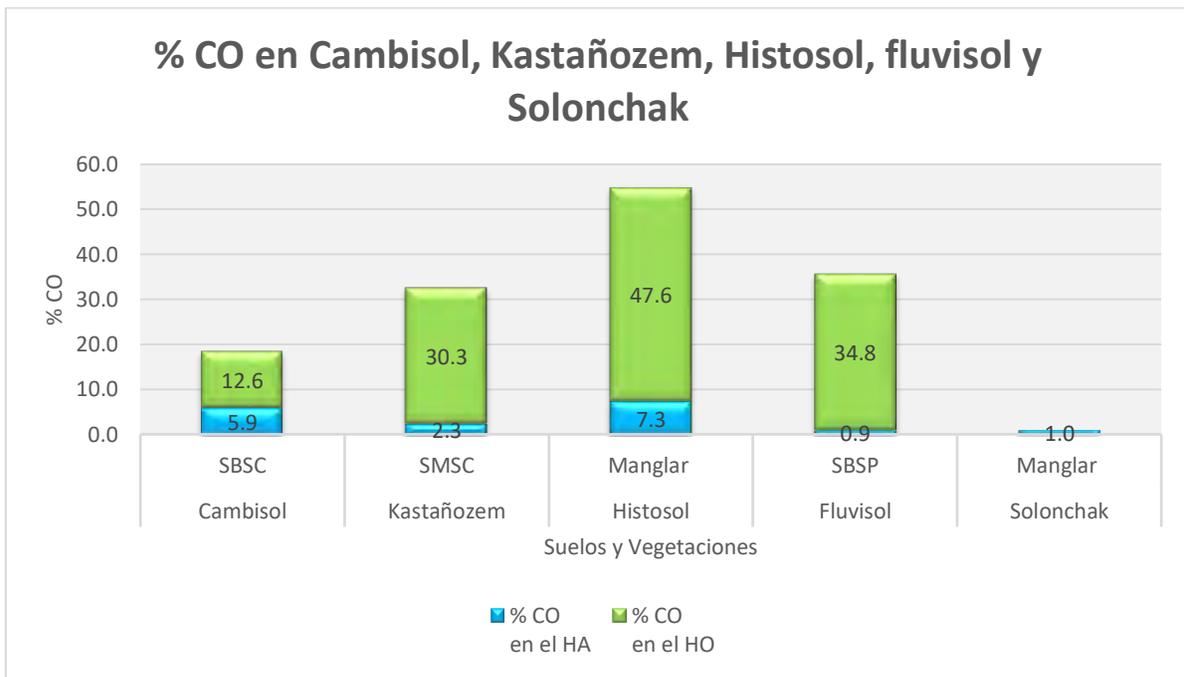


Figura 21 Porcentaje de CO en Cambisols, Kastañozems, Histosols, Fluvisols y Solonchaks con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

Para los Leptosols, e Histosols es en la vegetación de manglar en donde obtienen los valores más altos (figuras 20 y 21).

Los Gleysols con vegetación de manglar es donde obtuvieron el valor más bajo, estos suelos acumularon mayor cantidad de CO en la selva baja espinosa y puede observarse en la figura 22 que solo en este tipo de vegetación presentan horizonte O y el contenido de CO es menor en el horizonte A comparado con las otras vegetaciones.

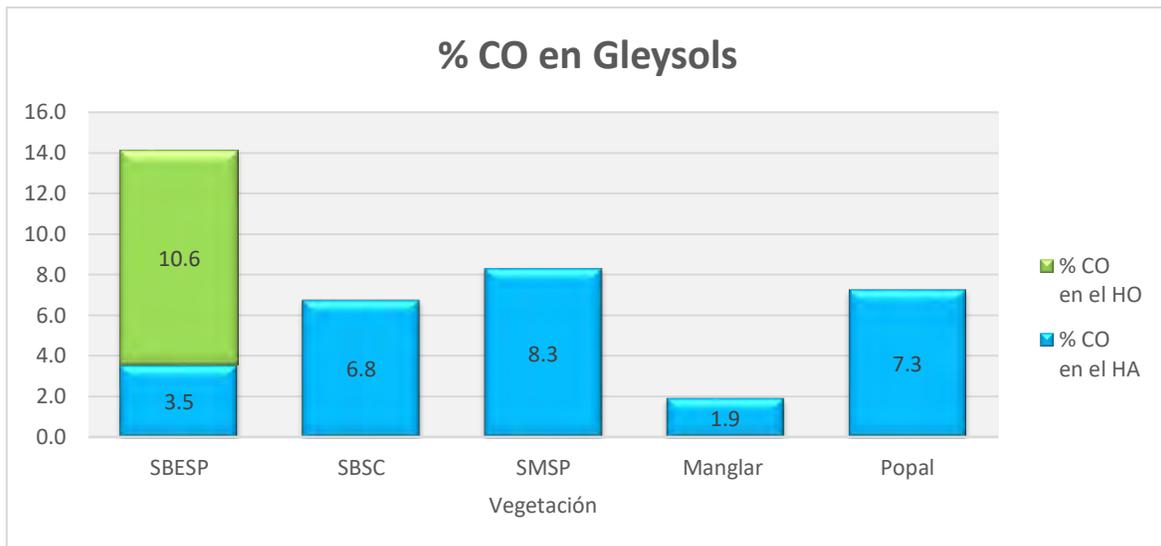


Figura 22 Porcentaje de CO en Gleysols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

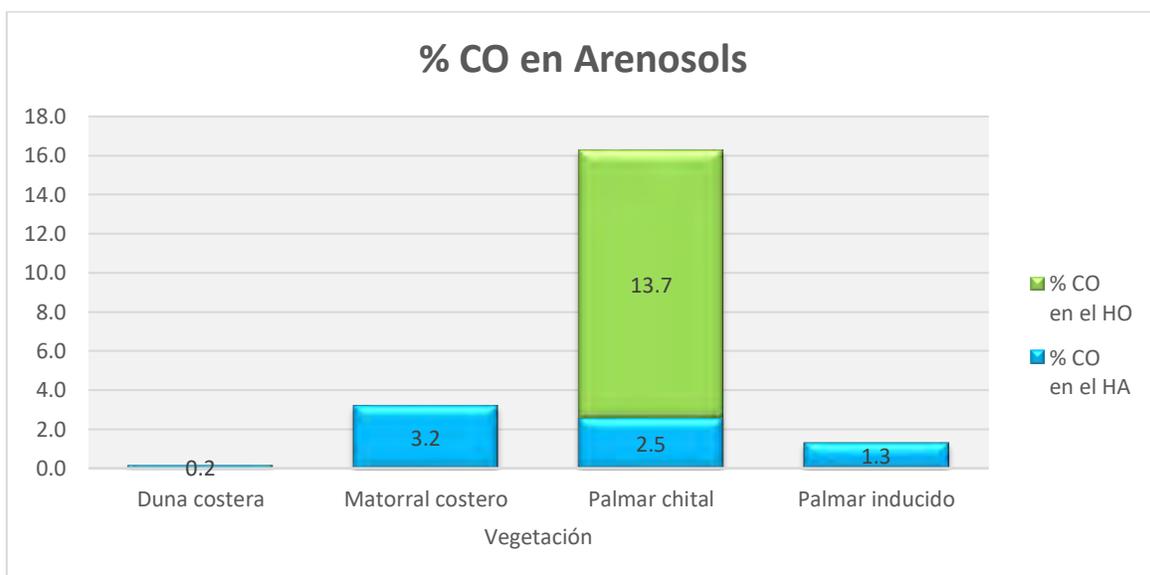


Figura 23 Porcentaje de CO en Arenosols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

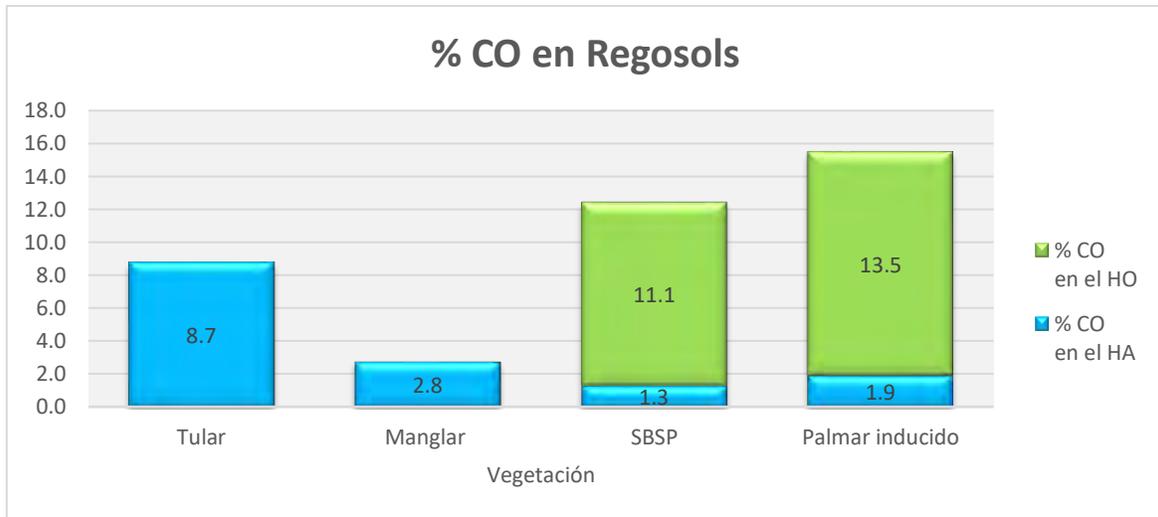


Figura 24 Porcentaje de CO en Regosols con las diferentes vegetaciones muestreadas en Quintana Roo.

Los Arenosols y Regosols presentaron mayores contenidos de CO en presencia de vegetación de palmar (figuras 23 y 24).

Finalmente, Kastañozems, Fluvisols, Cambisols, Histosols y Solonchaks solo se muestrearon en un tipo de vegetación en esta investigación (figura 21).

En el gráfico de cajas y bigotes del horizonte O (figura 25) se observa que el valor máximo es representado por el grupo de los Leptosols y el valor mínimo por el grupo de los Vertisols. Al igual nos muestra que los datos de los Vertisols tienen menor dispersión que los datos de los Leptosols y no existen valores máximos y mínimos muy alejados de la tendencia en ninguno de los grupos de suelos.

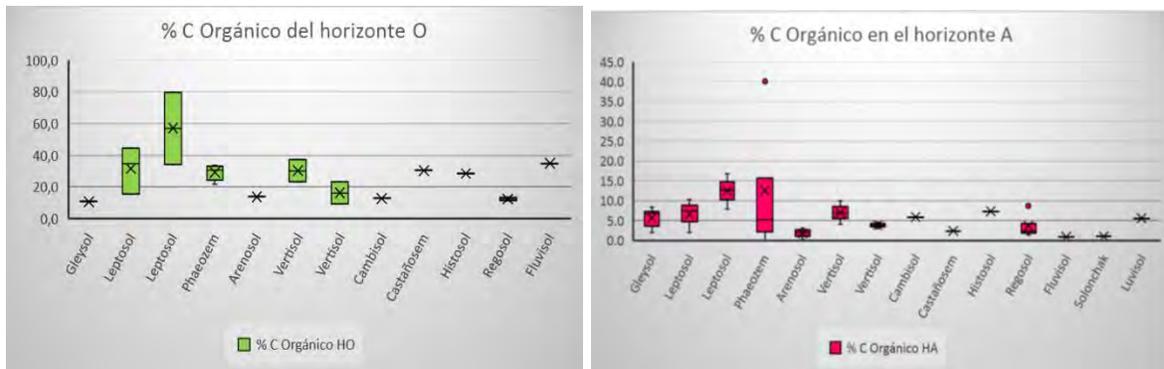


Figura 25 Variabilidad del conjunto de datos de los horizontes O y A.

En el horizonte A se muestra que el valor máximo es representado por el grupo de los Leptosols y el valor mínimo por los Arenosols. El grupo de los Phaeozems mostró dos extremos, el valor máximo al igual que el valor más bajo por lo que posee una mayor dispersión en sus datos, además de la posibilidad de valores atípicos que alargan las líneas de máximo y mínimo.

En el análisis del agrupamiento jerárquico aglomerativo, los suelos observados en el horizonte O (figura 26) fueron clasificados en tres grupos (C1, C2 y C3). El primer grupo Gleysol 1.1, Leptosol 1.3, Phaeozem 4.3, Arenosol 2.5, Vertisol 3.4, Vertisol 4.1, Vertisol 5.1, Cambisol 4.2, Regosol 6.7, Regosol 6.10 y alcanzaron valores de 9.4 a 23.1% de C orgánico.

El segundo grupo Leptosol 1.2, Leptosol 3.5, Leptosol 4.4, Phaeozem 2.2, Phaeozem 3.1, Phaeozem 7.1, Vertisol 4.5, Castañosem 5.2, Histosol 6.6, Fluvisol 7.4, en este cluster predominaron los suelos que presentaron altos porcentajes de C orgánico de los sitios muestreados con valores altos que van de 30.3 a 47.6 % de C orgánico.

El tercer grupo con un solo miembro y la observación más distante al resto de los grupos siendo la que más porcentaje de C orgánico presentó con 79.8%, perteneciendo al Leptosol del punto 6.5.

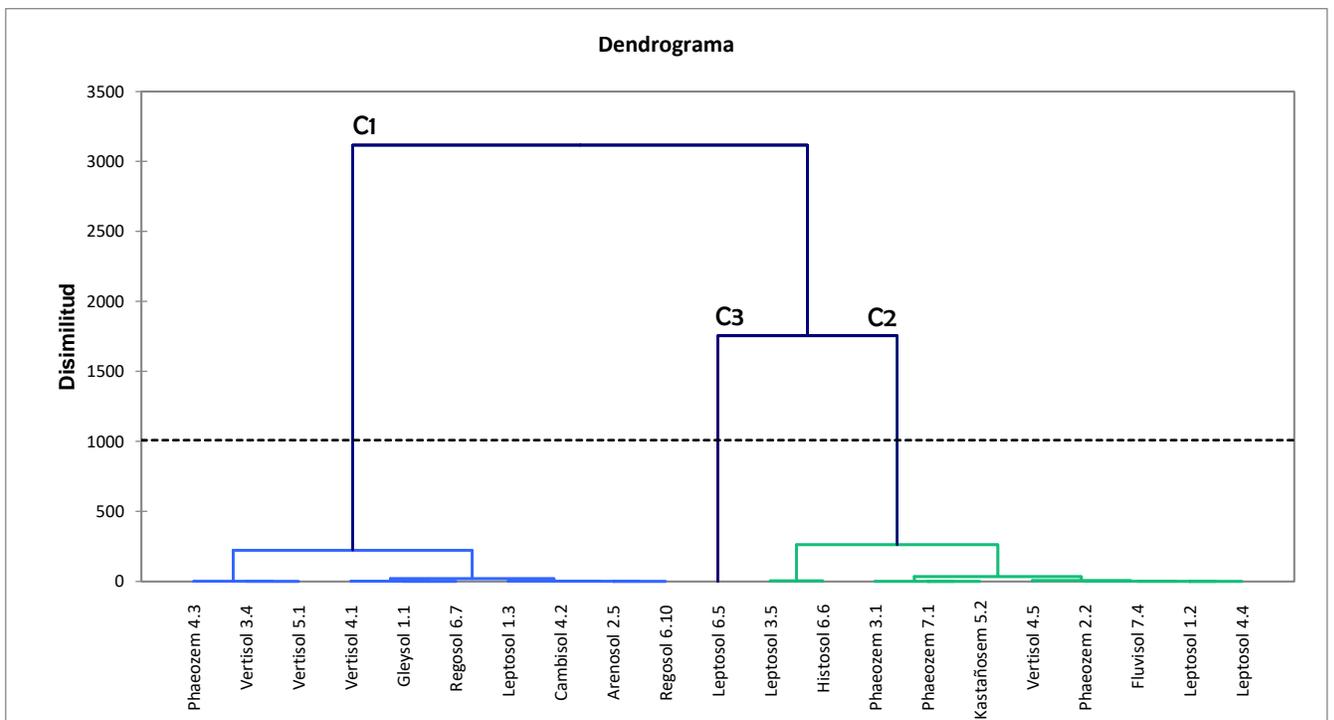


Figura 26 Dendrograma de disimilitud usando la distancia euclídea con el método de Ward en el horizonte O. Se observan 3 grupos por su % de C orgánico.

Las observaciones del dendrograma del horizonte A (figura 27) fueron clasificadas en cuatro grupos (C1, C2, C3 y C4). En el C1 se encuentran aglomerados 17 sitios de muestreos (Gleysol 1.1, Gleysol 6.8, Leptosol 1.3, Phaeozem 4.3, Phaeozem 7.1, Arenosol 2.3, Arenosol 2.4, Arenosol 2.5, Arenosol 6.9, Vertisol 3.4, Vertisol 4.1, Vertisol 5.1, Castañosem 5.2, Regosol 6.2, Regosol 6.7, Regosol 6.10, Fluvisol 7.4) los cuales presentaron el menor % de C orgánico (0 – 4.5%).

En el C2 están presentes 15 sitios de muestreo (Gleysol 5.5, Gleysol 5.6, Gleysol 7.8, Leptosol 1.2, Leptosol 3.5, Leptosol 4.4, Leptosol 5.3, Leptosol 6.5, Phaeozem 2.2, Vertisol 4.5, Cambisol 4.2, Histosol 6.6, Regosol 6.1, Luvisol 7.2, Luvisol 7.3) con valores que van de 5.5 a 16.7% de C orgánico. En el C3 tiene un solo sitio el cual es Phaeozem 3.1 con 40% de C orgánico siendo el valor más alto que se registró. Por último, el C4 que al igual mantiene un solo sitio con 27.11% de C orgánico (Solonchak 2.1).

Se puede considerar que en general se tienen unos datos bastante homogéneos, esto debido a que la mayoría se encuentran en una distancia inferior a 200, sin embargo, hay datos que se alejan significativamente como es el caso del Leptosol 6.5 en el horizonte O.

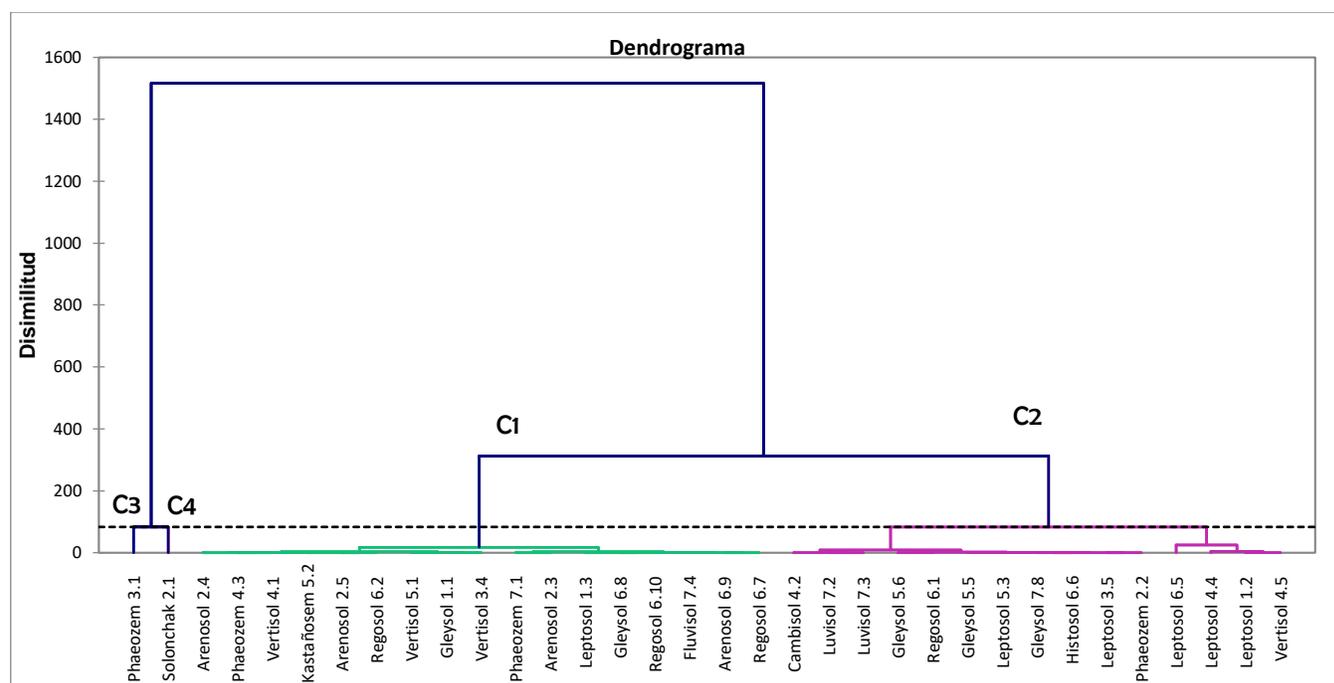


Figura 27 Análisis de disimilitud usando la distancia euclidiana con el método agrupación flexible de Ward para el horizonte A. Se observan 4 grupos por su % de C orgánico.

DISCUSIÓN

Los Histosols son el grupo que presentan mayor porcentaje de CO con 54.9% en Quintana Roo, seguido del Leptosol con 51.2% y Phaeozem con 41.8%. Lo cual concuerda con otros estudios realizados por Martínez H. et al., (2008) y Moreno C. et al., (2002).

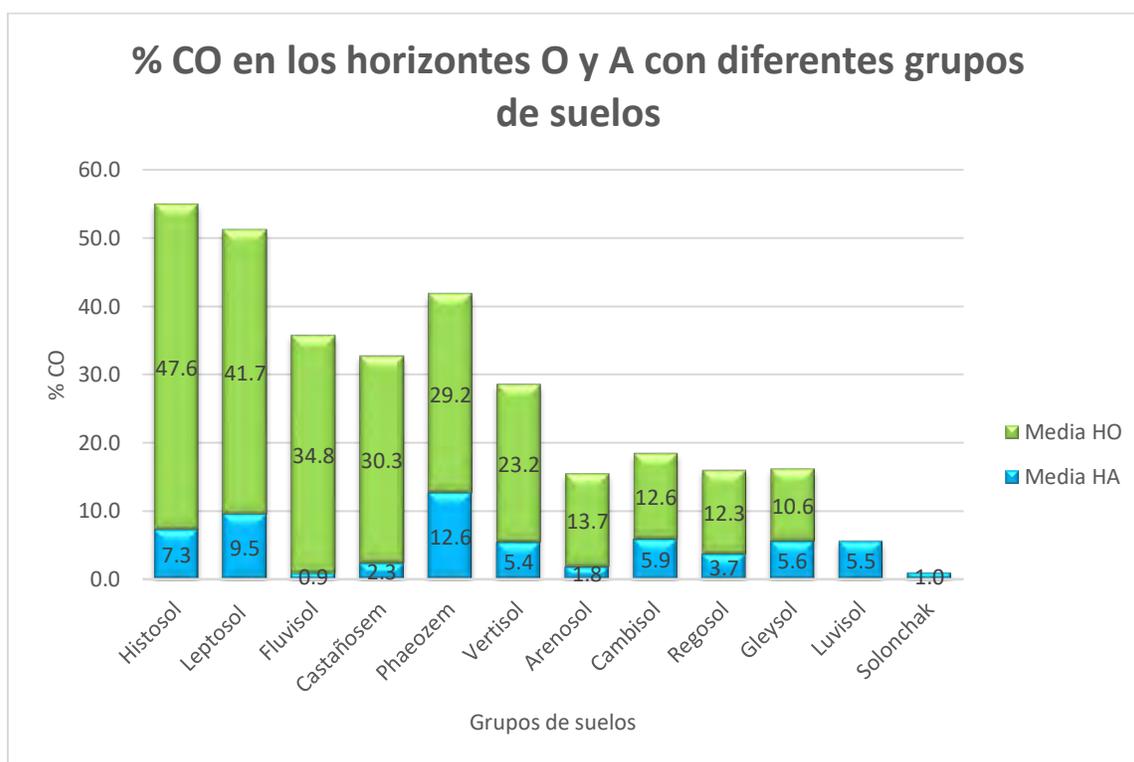


Figura 28 Porcentaje de carbono orgánico en suelos de Quintana Roo. Estratificando los horizontes O y A.

Las primeras capas del suelo son la que mayor porcentaje de CO hay acumulado, siendo en el horizonte O donde hay una mayor acumulación yendo de 10.6 a 47.6%, mientras que en el horizonte A van de 0.9 a 12.6% de CO (Figura 28); en un estudio con palma aceitera se registró que es en los primeros cinco centímetros donde se encontró el mayor contenido de CO (Leblanc et al., 2006). Se observó que el grupo de los Solonchaks y los Luvisols no reportaron horizonte O.

El grosor de los horizontes no influye en el contenido de carbono orgánico debido a que no se encontró un patrón que relacione las dos variables; Durán, A. (1998) menciona que los horizontes profundos no contribuyen significativamente el contenido de carbono orgánico del suelo y que su consideración no afecta su cifra.

El Manglar es la cobertura vegetal en la relación vegetación-suelo que mayor porcentaje de carbono orgánico presenta con 69.9%, seguido de la selva mediana subperennifolia con 42.9%. Mientras las que menor porcentaje de CO aportan son la duna costera (0.2), palmar inducido (1.6) y el matorral costero (3.2) (Figura 29). Segura-Castruita, M. et al (2005) cita a diversos autores que indican que el tipo de vegetación es otro factor determinante en las evaluaciones de CO de los suelos.

Con esta información se puede sugerir una propuesta sobre la existencia de un manejo diferenciado por cada suelo.

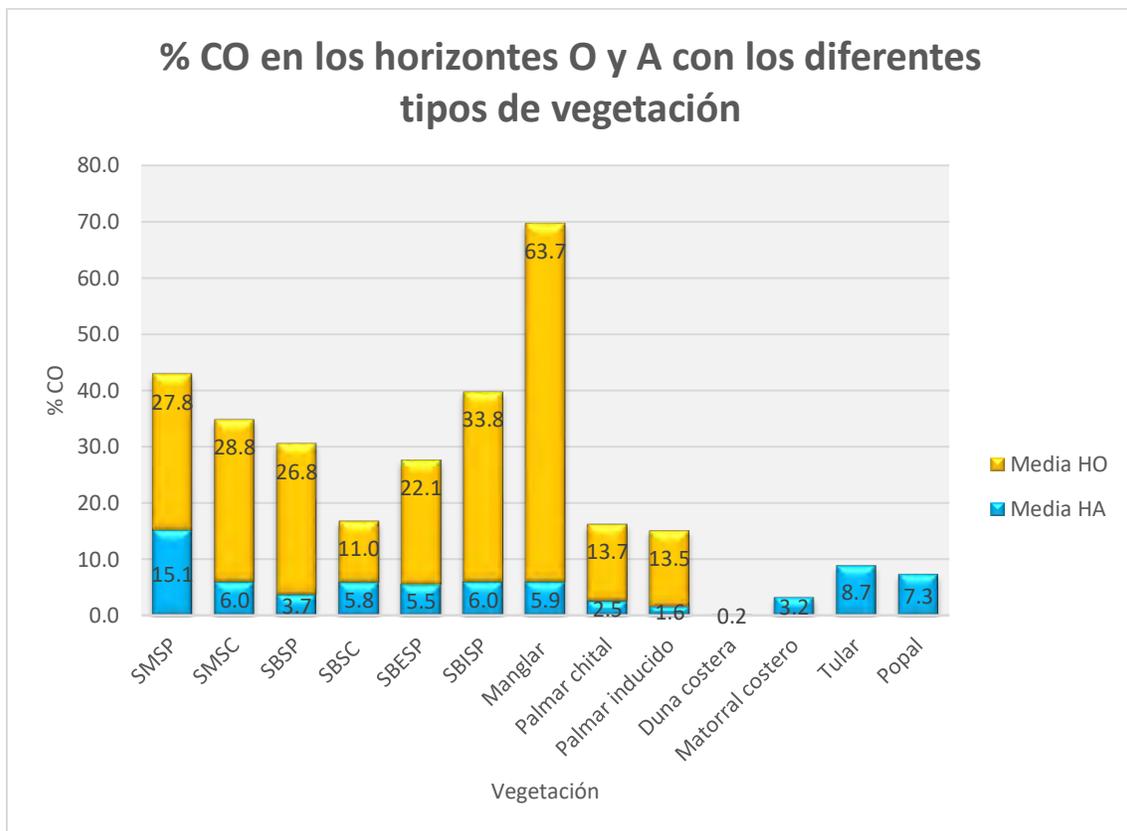


Figura 29 Porcentaje de carbono orgánico en la vegetación presente en Quintana Roo. Estratificando los horizontes O y A.

CONCLUSIONES

En el horizonte O los suelos con mayor contenido de CO son los Histosols (47.6%), los Leptosols (41.7%) y Fluvisols (34.8%). Los suelos que presentaron menor contenido son los Gleysols (10.6%), Regosols (12.3%) y Cambisols (12.6%). En el horizonte A los suelos que reportaron mayor contenido de CO son los Phaeozems (12.6%), Leptosols (9.5%) y Histosol (7.3%). Mientras que los de menor fueron los Fluvisols (0.9%), Solonchak (0.98%) y Arenosols (1.8%) en el estado de Quintana Roo.

El contenido promedio de CO en el horizonte O es de 25.60% y en el horizonte A es de 5.12%. Tomando en cuenta que no todos los grupos de suelos muestreados presentaron horizonte O, como es el caso de los Solonchaks y los Luvisols. En el caso de los Luvisols, una muestra no presentó horizonte A. Se observó que el grupo de los Nitisols no presentó horizonte O ni A, por lo que no se tomó en cuenta para la obtención de datos.

Los Histosols son los suelos que tiene mayor contenido de CO con 54.9% en Quintana Roo, presentan un horizonte H y sobre ellos se desarrolla vegetación de manglar negro. Estos suelos almacenan grandes contenidos de materia orgánica bajo condiciones de saturación de agua, es por esto por lo que en el horizonte A decrece considerablemente a 7.3%.

Los Solonchaks presentaron el más bajo contenido de CO en Quintana Roo con 0.98%, desarrollados en vegetación de manglar, por lo que la acumulación de sales es más intensa y no se reportó horizonte O.

Considerando los horizontes O y A, son los Phaeozems los que tienen mayor contenido de CO en selvas medianas subperennifolias (70.8%) y en selvas bajas espinosas subperennifolias (41.1%). Los Leptosols en selvas bajas subperennifolias (44.8%), selvas medianas subcaducifolias (46.9%), selvas bajas inundables subperennifolias (51.9%) y manglar (96.5%). Los Cambisols en selvas bajas subcaducifolias (18.5%). En zonas costeras se presentaron Regosols, Arenosols y Gleysols donde la mayor parte no reportó horizonte O.

Tomando en cuenta todos los tipos de vegetación en Quintana Roo, son los Leptosols el grupo de suelo que está presente en la mayor parte de la vegetación y tiene mayor variabilidad en cuanto a los contenidos de CO en el horizonte O. Mientras que en el horizonte A son los Phaeozems.

Las estimaciones que hasta ahora se tienen del contenido de CO son a nivel climas tropicales. Con los datos obtenidos en este estudio pueden tomarse como punto de comparación hacia otros trabajos relacionados a la captura y almacenamiento del carbono orgánico en Quintana Roo. Ya que los datos que se manejan a nivel nacional están muy por encima de los que en realidad hay en el estado.

El manejo que se le pueda dar al uso del suelo dependerá en mucho de que tanto sabemos de él, es por esto la importancia de tener estos datos de campo reales, y utilizarlos como base para comparar los niveles de CO bajo diferentes usos, buscando el aprovechamiento óptimo. Ya sea trabajando y modificando el entorno o dejarlo como reservorio natural.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Díaz Lavariega, M., 2009. Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et cham. *Terra Latinoamericana* 27, 105–114.
- Benjamín, J. y Maser, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, [en línea] 7(1), pp.3-12. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>
- CONAFOR-SEMARNAT, 2013. INVENTARIO ESTATAL FORESTAL Y DE SUELOS - QUINTANA ROO 2013.
- De Paz, M., Gobbi, M. y Raffaele, E. (2013) Mantillo de las especies leñosas de matorrales del NO de la Patagonia: abundancia, composición, estructura y heterogeneidad. *Bol. Soc. Argent. Bot.*, [en línea] 48 (3-4), pp. 525-541. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722013000300013
- Durán, A. (1998) Contenido y distribución geográfica de carbono en los suelos del Uruguay. *Agrociencia*. [en línea] 2(1), pp. 37-47. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/index.php/directorio/article/view/612/513>
- Escobar, N., Armando, 1986. Geografía general del Estado de Quintana Roo. Fondo de Fomento Editorial del Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Esquivel, I., 2002. Estudio hidrológico del estado de Quintana Roo.
- Etchevers B., J. (2001) Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Montecillo, Estado de México.
- FAO. (2001) Soil carbon sequestration for improved land management. *World soil reports* 96.
- Federal, P. E. (1996). Programa Hidráulico 1995-2000. Dirección de Comunicación Social SEMARNAP y Unidad de Comunicación de la CNA. México.
- Fragoso-Servón, P., 2015. Análisis espacial de los suelos de Quintana Roo con un enfoque geomorfoedafológico. Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana roo, México.
- Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., Pereira, A., 2014. Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1: 50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas* 31, 127–137.
- Fragoso-Servón, P., Pereira Corona, A., Bautista Zúñiga, F., & Zapata Buenfil, G. D. J. (2017). Digital soil map of Quintana Roo, Mexico. *Journal of Maps* 13(2) pp. 449-456.
- Gay, C. (2000) El Cambio climático, el problema global más importante del futuro. *Gaceta UNAM*, 3411, pp. 12-13.
- Gay, C., Martínez, C., 1995. Mitigation of emissions of greenhouse gases in Mexico. *Interciencia* 20, 336–42.
- Griscom, B., D. Ganz, N. Virgilio, F. Price, J. Hayward, R. Corte, G. Dodge, J. Hurd, F. L. Lowenstein and B. Stanley. (2009) *The Hidden Frontier of Forest Degradation. Review of the Science, Policy and Practice of Reducing Degradation Emissions.* The Nature Conservancy.
- Herrán, C., 2012. El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert-FES. México.

- Hontoria, C., Rodríguez-Murillo, J. C., y Saa, A. (2004) Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *Edafología [en línea]* 11(2), pp. 149-155. <http://www.secs.com.es/data/Revista%20edafo/articulo%203.pdf>
- INEGI. Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2017.
- INEGI. Estudio hidrológico del estado de Quintana Roo. 2002.
- Inventario Nacional Forestal y de Suelo 2013.
- IPCC. (1995) A REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.
- IPCC. (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary. U.K.: WMO-UNEP. Cambridge University Press.
- IPCC. (2013) Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Leblanc, H., Russo, R., Cueva, J.J., Subía, E., 2006. Fijación de carbono en palma aceitera en la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical* 2, 197–202.
- Martínez H, E., E, F., Pablo, J., Acevedo H, E., 2008. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8, 68–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mayo, R.I.R., López, J.B., 2014. El proceso histórico de conformación de la antigua Payo Obispo (Hoy Chetumal) como espacio urbano fronterizo durante la etapa de Quintana Roo como territorio federal. *Península* 9, 125–140.
- Montoya, G., Soto, L., de Jong, B., Nelson, K., Farias, P., Yakactic, P., Taylor, J.H., Tipper, R., 1995a. Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Cuadernos de trabajo 4.
- Montoya, G., Soto, L., de Jong, B., Nelson, K., Farias, P., Yakactic, P., Taylor, J.H., Tipper, R., 1995b. Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Cuadernos de trabajo 4.
- Ordóñez, A. (1999) Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F.
- Ordóñez-Fernández, R., Carbonell, R., González-Fernández, P. y Perea, F. (2008) Influencia de la Climatología y el Manejo del Suelo en las Emisiones de CO₂ en un Suelo Arcilloso de la Vega de Carmona. *Revista de estudios locales, [en línea]* VI (6), pp. 2339-2354. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2738299>
- Ordóñez, J.A.B., Masera, O., 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques* 7, 3–12.
- Ordóñez, J.A.B.O., 2008. Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias* 90.
- Pereira Corona, A., Prezas Hernández, B., Olivares Mendoza, J.A., Fragoso servón, P., Niño Torres, C.A., 2013. PROGRAMA ESTATAL DE ACCION ANTE EL CAMBIO CLIMATICO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO.pdf.
- Poorter, L., Bongers, F., Aide, T.M., Almeyda Zambrano, A.M., Balvanera, P., Becknell, J.M., Boukili, V., Brancalion, P.H.S., Broadbent, E.N., Chazdon, R.L., Craven, D., de Almeida-Cortez, J.S., Cabral, G.A.L., de Jong, B.H.J., Denslow, J.S., Dent, D.H., DeWalt, S.J., Dupuy, J.M., Durán, S.M., Espírito-Santo, M.M., Fandino, M.C., César, R.G., Hall, J.S., Hernandez-Stefanoni, J.L., Jakovac, C.C., Junqueira, A.B., Kennard, D., Letcher, S.G., Licona, J.-C., Lohbeck, M., Marín-Spiotta, E., Martínez-Ramos, M., Massoca, P., Meave, J.A., Mesquita, R., Mora, F., Muñoz, R., Muscarella, R., Nunes, Y.R.F., Ochoa-Gaona, S., de Oliveira, A.A., Orihuela-Belmonte, E., Peña-Claros, M., Pérez-García, E.A., Piotta, D., Powers, J.S., Rodríguez-Velázquez, J., Romero-Pérez, I.E., Ruíz, J., Saldarriaga, J.G., Sanchez-

- Azofeifa, A., Schwartz, N.B., Steininger, M.K., Swenson, N.G., Toledo, M., Uriarte, M., van Breugel, M., van der Wal, H., Veloso, M.D.M., Vester, H.F.M., Vicentini, A., Vieira, I.C.G., Bentos, T.V., Williamson, G.B., Rozendaal, D.M.A., 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature* 530, 211.
- Schlegel, B., Gayoso, J., y Guerra, J. (2001) Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Segura-Castruita, M.A., Sánchez-Guzmán, P., Ortiz-Solorio, C.A., Gutiérrez-Castorena, M.C., 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23, 21–28.
- Sedjo, R., Sohngen, B. (2012) Carbon sequestration in forests and soils. *Annual Review of Resource Economics* 4 (4) pp. 126-143.
- Swift, R. (2001) Sequestration of Carbon by Soil. *Soil Science*, [en línea] 166 (11), pp. 858-871. Disponible en: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2001/11000/Sequestration_of_Carbon_By_Soil.10.aspx
- Torres Rojo, J. y Guevara Sanginés, A. (2002) El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*, [en línea] (63), pp.40-59. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906303>
- Van Breemen, N. y Feijtel, T. C. J. (1990) Soil processes and properties involved in the production of greenhouse gases, with special relevance to soil taxonomic systems. *Soils and the greenhouse effect*, [en línea] pp. 195-223. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19911953594>
- Villers R., L. e I. Trejo V. (1997) Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* 9, pp. 87- 93.