



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

GRADIENTES DE CARBONO POR TIPO DE SUELO Y  
VEGETACIÓN EN QUINTANA ROO

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA  
SARA ISABEL ALAMILLA CALIXTO

DIRECTORA DE TESIS  
DRA. PATRICIA FRAGOSO 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 TITULADO  
"GRADIENTES DE CARBONO POR TIPO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN QUINTANA ROO"

ELABORADO POR  
SARA ISABEL ALAMILLA CALIXTO

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TESIS

DIRECTORA:

  
DRA. PATRICIA FRAGOSO SERVÓN

ASESOR:

  
DR. ALBERTO PEREIRA CORONA

ASESOR:

  
M.C. BENITO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESOR:

  
M.E.S.P. JOSÉ ANTONIO OLIVARES MENDOZA

ASESOR:

  
DR. CARLOS ALBERTO NIÑO TORRES



UNIVERSIDAD DE  
QUINTANA ROO  
CONTROL ESCOLAR  
TITULACIONES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2018

## Dedicatoria

*Dedicado a mis padres, Luis Felipe Alamilla Pastrana y María Luisa Calixto Méndez, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y brindándome consejos para ser una mejor persona.*

*A mis hermanos, Felipe y Saúl, que con sus ocurrencias siempre logran sacarme sonrisas, creando momentos únicos e inolvidables.*



## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, por permitirme llegar hasta este momento, por darme una familia maravillosa y por poner personas en mi vida que me han dejado grandes enseñanzas.

Agradezco a mis padres por estar en cada momento de mi vida, por todo el esfuerzo, por cada consejo y regaño que me han dado, por todo el amor y cariño que permiten que hoy cumpla un objetivo más en mi vida. A mis hermanos por siempre escucharme y estar a mi lado para llenarme de alegrías.

A mi familia por siempre estar cuando más los necesito.

A Eduardo Solís Aguilar por ser ese amor que llegó a mi vida para cambiarla. Gracias por ser esa persona que me apoya y que me da ánimos para seguir adelante y no dejarme vencer. Gracias por creer y confiar en mí siempre.

A mis compañeros de Universidad que, a pesar de los momentos tan estresantes que tuvimos, hicieron de esta etapa la más grata y divertida que pude haber vivido.

A mis profesores de toda la carrera por todo el conocimiento y enseñanzas brindadas.

A la Dra. Patricia Fragoso Servón directora de esta tesis, por permitirme formar parte de este proyecto y por guiarme y aconsejarme durante la realización de este trabajo.

Agradezco de igual forma al Dr. Alberto Pereira Corona y al M.C. Benito Prezas Hernández por sus enseñanzas y disposición para resolver cada una de mis dudas y por las observaciones realizadas al presente documento.

Al M.E.S.P. José Antonio Olivares Mendoza y al Dr. Carlos Alberto Niño Torres por sus observaciones y sugerencias para la corrección de este trabajo.

Por último, agradezco al proyecto “Evaluación del carbono secuestrado en los suelos de Quintana Roo” por las facilidades dadas para la realización de esta investigación.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. OBJETIVOS .....	14
5. ÁREA DE ESTUDIO .....	15
a. Ubicación .....	15
b. Relieve .....	16
c. Clima.....	17
d. Vegetación.....	17
e. Suelo.....	20
6. METODOLOGÍA.....	23
a. Muestras de hojarasca y mantillo .....	23
<i>i. Método de calcinación.....</i>	<i>23</i>
b. Muestras de suelo .....	24
<i>i. Método de Walkley- Black.....</i>	<i>24</i>
c. Transferencia de carbono en unidades de masa .....	25
d. Análisis de agrupamiento .....	25
7. RESULTADOS.....	27
a. Porcentaje de carbono orgánico por estrato.....	27
b. Transferencia de carbono .....	30
c. Análisis de agrupamiento .....	35
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	37
9. DISCUSIÓN.....	40
10. CONCLUSIONES.....	41
11. BIBLIOGRAFÍA.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Municipios de Quintana Roo. Fuente: Elaboración propia. ....	15
Figura 2. Porcentaje de Carbono Orgánico por tipo de Suelo. ....	28
Figura 3. Porcentaje de Carbono Orgánico por tipo de Vegetación. ....	29
Figura 4. Porcentaje de Carbono Orgánico en suelo Leptosol. ....	30
Figura 5. Cantidad de Carbono Orgánico (Kg/m <sup>2</sup> ) por tipo de Suelo. ....	32
Figura 6. Cantidad de Carbono Orgánico (Kg/m <sup>2</sup> ) por tipo de Vegetación. ....	33
Figura 7. Cantidad de Carbono Orgánico (Kg/m <sup>2</sup> ) en suelo Leptosol. ....	34
Figura 8. Dendrograma de agrupamiento de las muestras obtenidas de suelos...	36

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Investigaciones sobre cuantificación de Carbono. Elaboración propia... 5	5
Cuadro 2. Descripción de las cinco clases obtenidas. ....	36

# 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años uno de los temas que se han debatido a nivel mundial, nacional y local por parte de investigadores, políticos y público en general es el calentamiento global y el cambio climático, fenómenos que podrían ser la causa de la desaparición de seres vivos en el planeta (Fragoso, 2011).

El cambio que ocurre en el clima se presenta debido principalmente al aumento de la temperatura del planeta, fenómeno que está relacionado con las grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) que se emiten a la atmósfera y que se concentran en ella. Estos cambios afectan la vida en el planeta, ya que se alteran todos los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas existentes.

Las altas emisiones de estos gases en los últimos años son producto de las actividades humanas como lo son el uso de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo (Ordóñez y Masera, 2001).

Es a partir de la Revolución Industrial que el hombre empezó a emitir una gran cantidad de GEI, lo cual ha originado que con el paso del tiempo las concentraciones en la atmósfera cada vez sean mayores.

En 1988 se constituyó el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para evaluar la información científica sobre el cambio climático y elaborar informes sobre ello. El primer Informe se publicó en 1990 y en él se confirmó los elementos científicos que tanto preocupaban acerca del cambio climático. A partir de esto, la Asamblea General de las Naciones Unidas decidió que en 1994 entrara en vigor la Convención Marco sobre Cambio Climático (IPCC, 2004). Para 1997 se adoptó el Protocolo de Kyoto en donde por primera vez se establecieron metas para la reducción de emisiones de GEI por los países más desarrollados e industrializados, quienes reconocen como los principales responsables de los elevados niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera a seis gases y cuyas emisiones deben ser reducidas: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) (Protocolo de Kyoto, 1998).

El dióxido de carbono es uno de los GEI cuya emisión es una de las más fuertes contribuciones al cambio climático (Bautista–Hernández y Torres–Pérez, 2003).

Debido a la preocupación mundial por los efectos que puedan tener estos GEI se ha empezado por reconocer la importancia de los ecosistemas terrestres como reservorios para la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico.

El carbono es uno de los elementos químicos con mayor abundancia en el mundo, las selvas y bosques, capturan, almacenan y liberan carbono atmosférico como resultado del proceso de fotosíntesis, de respiración y de degradación de materia (Torres-Rojo y Sanginés, 2002).

Una vez que el dióxido de carbono atmosférico se encuentra incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste forma parte de todas las estructuras que necesita el árbol para desarrollarse. Mientras que el carbono esté formando parte de algún fragmento del árbol, éste se mantendrá almacenado hasta que sea remitido a la atmósfera o al suelo por la quema de biomasa o la descomposición de la materia orgánica (Ordoñez Díaz, 2008).

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas son el suelo, la vegetación y el mantillo (FAO, 2002).

Debido a la quema de combustibles fósiles y la tala de vegetación, el ciclo del carbono se ve seriamente afectado, si se elimina la vegetación, se está emitiendo una gran cantidad de carbono almacenado en tallos, hojas o madera (Cuevas et al., 2015).

La captura de carbono es un servicio ambiental y uno de los procesos biogeoquímicos que se consideran importantes para contribuir a la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El objetivo de esta investigación es determinar la transferencia de Carbono Orgánico entre los depósitos superficiales y el primer horizonte del suelo por tipo de suelo y por tipo de vegetación en Quintana Roo.



## 2. ANTECEDENTES

Durante los últimos años, son varias las instituciones a nivel nacional e internacional, como la Comisión Nacional Forestal en México o el Centro para la Investigación Forestal Internacional, o como el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF), que han ido desarrollando iniciativas sobre la cuantificación de captura de carbono en los diferentes ecosistemas que existen. Por otro lado, son pocas las investigaciones científicas en las que se determina y cuantifica las cantidades de carbono que se encuentran en el suelo, biomasa o necromasa, en una determinada región del mundo (Cuadro 1).

Año	Lugar	Autores	Objetivo	Conclusiones
2001	Chile	Schlegel, Bastienne	Estimar factores de expansión e inventarios de carbono, el contenido de biomasa total y el carbono almacenado por bosques de tipo forestal en Chile.	Sitios de la Cordillera de los Andes acumulan más TonC/ha que los de la Cordillera de la Costa.
2004	Ecuador	Rodríguez et al.	Estimar el contenido y las formas de Carbono Orgánico en suelos andosoles y ándicos bajo vegetación de laurisilva.	La acumulación de Carbono Orgánico se relaciona con la madurez y estabilidad del ecosistema.
2011	Costa Rica	Mena et al.	Determinar el potencial en el almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales y en los bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT), Costa Rica.	El bosque secundario almacena más carbono orgánico. A medida que aumenta la altitud, aumenta el carbono orgánico en los suelos y a medida que disminuye aumenta el CO en la biomasa.
2011	Puntarenas, Costa Rica	Aguilar-Arias, Heileen	Cuantificar la biomasa sobre el suelo y Carbono Orgánico en el suelo de cuatro estadíos de sucesión de bosques.	Se almacena mayor cantidad de Carbono Orgánico en el suelo donde los bosques tienen más de 30 años.
2011	Campechito, Campeche	Sánchez-Junco et al.	Evaluar el contenido de carbón almacenado en suelo del mangle rojo asociado a Nuevo Campechito para diferentes épocas estacionales y profundidades.	No hay relación predominante entre el CO y la temporada o profundidad. El mangle rojo es importante reservorio de carbono.
2012	México	Martínez	Analizar los almacenes de carbono edáfico de sistemas productivos agrícolas y pecuarios en la	Las parcelas con menor uso agropecuarios presentan

			comunidad de Cevatí, San José del Rincón, Estado de México.	valores altos de carbono orgánico.
2013	Talamanca, Costa Rica	Cerda et al.	Determinar el carbono almacenado en sistemas agroforestales (SAF) orgánicos de cacao.	Los SAF de cacao con mayor área basal almacenan más carbono.
2013	Ecuador	Cunalata et al.	Determinar la cantidad de Carbono Orgánico en el suelo y en la biomasa.	En los primeros estratos del suelo (paja y almohadilla) se almacena más Carbono Orgánico.
2014	México	Cuevas et al.	Estimar el porcentaje de CO y CO capturado en la hojarasca de los bosques de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.	El porcentaje de carbono de la hojarasca tiene variación en el porcentaje de CO y el CO almacenado por la hojarasca en t ha <sup>-1</sup> .
2014	Argentina	Eyherabide, Mercedes et al.	Comparar métodos para determinar el carbono orgánico total del suelo.	El método con mayor veracidad y precisión fue el de Dumas (combustión seca).
2015	Ucayali, Perú	García-Soria, Diego; Del Castillo-Torres, Dennis	Estimar el almacenamiento de Carbono en bosques con presencia de bambú.	El bambú es la especie con mayor aporte de C. Por lo que se aconseja establecer sistemas de producción y conservación de esta especie.
2015	México	Bernal et al.	Estimar la captura de C en dos coberturas forestales de Selva Baja Caducifolia y dos usos de suelo en el Edo. de México.	Se almacena mayor cantidad de C en el suelo con actividad pecuaria que en la agrícola.
2016	Perú	Chuquizuta et al.	Cuantificar el carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra en la región San Martín, Perú (bosque primario, bosque secundario, pijuayo, cacao, y café),	El cambio de bosques a las plantaciones de una sola especie disminuye la capacidad de captura de Carbono.
2016	Colombia	Andrade et al.	Estimar el almacenamiento del COS en la interface entre bosques riparios y una matriz de arrozales y pasturas con manejo orgánico.	El cambio de bosques riparios a arrozales o pasturas con manejo orgánico aumenta el carbono orgánico del suelo.
2016	Argentina	Kloster et al.	Determinar el Carbono Total Orgánico e Inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana.	El método de combustión seca no funciona en suelos calcáreos.
2016	Honduras	Larrea, Paliz	Determinar el efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en los suelos de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras.	La altitud no se relaciona con la acumulación de Carbono Orgánico del suelo.

2017	Aguarongo, Ecuador	López, Raisa	Evaluar la capacidad de captura de carbono en la necromasa y suelo del Bosque Protector Aguarongo.	La mayor captura de carbono se da en el suelo. las especies introducidas capturan más carbono.
------	-----------------------	-----------------	--	--

*Cuadro 1. Investigaciones sobre cuantificación de Carbono. Elaboración propia.*

En el año 2001 se cuantificó el carbono fijado en bosques templado- lluviosos en la región centro-sur de Chile en seis sitios (tres en la Precordillera de los Andes y tres en la Cordillera de la Costa). Se realizaron mediciones de raíces, sotobosque, necromasa y hojarasca obteniendo como resultado que los sitios de la Precordillera tienen una acumulación más alta (máximo 662.06 TonC/ha) que los de la Cordillera de la Costa (máxima 423.86 TonC/ha) (Schlegel, 2001).

En Ecuador, en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera, Islas Canarias) en 2004, se realizó un estudio sobre el contenido y las formas de carbono orgánico en Andosoles y suelos Ándicos bajo vegetación de laurisilva y sobre la potencialidad de aporte de carbono orgánico a través de la hojarasca y los procesos de mineralización e incorporación del mismo al suelo. En este estudio concluyeron que la acumulación y estabilización del carbono orgánico está más en relación con la madurez y estabilidad del ecosistema que con el tipo de vegetación (Rodríguez et al., 2004).

En 2011 se estimó el carbono almacenado en Sistemas Agroforestales (SAF) de café (*Coffea arabica*) -laurel (*Cordia alliodora*) y café-poró (*Erithryna poeppigiana*) y en bosques secundarios ubicados en tres pisos altitudinales (PA) del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT), Costa Rica. En este se calculó el carbono orgánico del suelo, necromasa y biomasa aérea. El carbono total almacenado fue en promedio 171,3 MgC/ha-1, de los cuales 102,0 MgC/ha-1 estuvieron en 0-30 cm de suelo, seguido de la biomasa aérea, abajo del suelo y la necromasa (53,7; 10,9 y 4,3 MgC/ha-1, respectivamente (Mena et al., 2011).

Así como los bosques almacenan carbono, de igual manera las asociaciones de manglar pueden hacerlo, como ejemplo está el estudio realizado en Nuevo Campechito, Campeche en diferentes épocas estacionales y a diferentes profundidades en suelo con asociación de mangle rojo. Se utilizó el método de

combustión seca para el porcentaje de carbono, porcentaje de nitrógeno total por micro-Kjeldahl y densidad aparente por el método de la pipeta. La relación Carbono-Nitrógeno determinaron que existe una a baja tasa de degradación de Materia orgánica. Se calculó que la mayor cantidad de carbono fue de 284,20 MgCha-1 en la temporada de secas y el menor contenido en la temporada de nortes con 255,54 MgCha-1. Se concluyó que el suelo de este ecosistema es un importante reservorio de carbono (Sánchez- Junco et al., 2011).

En un estudio realizado en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica en 2011, se cuantificó la biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo de cuatro estadios de sucesión de bosques. Se establecieron 20 parcelas de 500m<sup>2</sup> durante el 2009, 2010 y 2011. Se calculó la biomasa seca en el mantillo sobre el suelo, la madera muerta y la cantidad de carbono orgánico del suelo; y los estadios fueron: 5 a 15 años, 15 a 30 años, mayores de 30años y bosque primario. La biomasa acumulada en la capa de mantillo fue mayor en bosques primarios con 9,75 t/ha, seguido por bosques mayores de 30 años con 7,93 t/ha, 15-20 años con 5,97 t/ha y por último bosques de 5-15 años con 5,60 t/ha. En cuanto a la biomasa en la madera muerta fueron de 7,80 t/ha en bosques primarios, 5,84 t/ha en bosques de 15-30 años, 3,26 t/ha en bosques mayores de 30 años y de 3,42 en bosques de 5-15 años. El carbono orgánico almacenado en el suelo fue mayor en bosques de más de 30 años (109,24 tC/ha), seguido por bosques primarios (92,29 tC/ha), 15-30 años (88,01 tC/ha) y por último bosques de 5-15 años (78,48 tC/ha) (Aguilar-Arias, 2011).

En junio de 2012 se analizaron los almacenes de carbono edáfico en sistemas productivos agrícolas y pecuarios en la comunidad de Cevatí, San José del Rincón, Estado de México. Los sitios se eligieron por medio de entrevistas no estructuradas. Se muestrearon seis parcelas, cuatro de agricultura de temporal y dos de uso pecuario. Se hicieron análisis de color, densidad aparente, pH, y Materia orgánica. La cantidad de carbono se calculó con el método de Walkley-Black y fue entre 42.94 y 74.64 t/ha y los valores más altos fueron de la parcela con menor uso agropecuario (Martínez, 2014).

Cerda Bustillos et al., en 2013 realizaron un estudio en la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica, en el cual determinaron el carbono almacenado en sistemas agroforestales orgánicos de cacao (*Theobroma cacao*) (SAF-cacao). Se tomaron en cuenta el suelo, hojarasca, raíces, necromasa y biomasa aérea utilizando metodologías incorporadas en el IPCC. Todas las muestras fueron enviadas al laboratorio y fueron secadas a 65°C por 72 horas y por el método de Walkley & Black se obtuvo el porcentaje de carbono. También se analizaron las correlaciones de variables de sitio y composición de dosel, además se hicieron conglomerados con esas variables para saber qué grupos de estos sistemas agroforestales y con qué características son los que almacenan más carbono. Se obtuvo que los SAF-cacao de Talamanca tuvieron un promedio de carbono total de  $122 \pm 24 \text{ tC/ha}^{-1}$ , considerado como un nivel de intermedio a alto. El 43% del carbono se almacenó en la biomasa aérea y el 41% en suelo. La tasa de acumulación de carbono en biomasa aérea fue  $3,0 \pm 1,9 \text{ tC/ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En los análisis de correlación y conglomerado se obtuvo que los SAF-cacao con mayor área basal son los que más carbono almacenan (Cerda et al., 2013).

En Ecuador (2013) se realizó un estudio en el cual se determinó la cantidad de carbono orgánico en el suelo y en la biomasa, en este estudio se tomaron muestras de suelo a 0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm; y para el caso de la biomasa se extrajeron 4 tipos de muestras: paja, raíz de paja, almohadilla, y raíz de almohadilla, las cuales se analizaron con el método de Walkley-Black por la oxidación del dicromato de potasio. Los resultados arrojaron que existe mayor contenido de carbono orgánico total en los primeros estratos de suelo, en la paja y almohadilla. Y que existe mayor porcentaje del mismo en los suelos donde la cobertura vegetal no ha sido intervenida, incrementándose con la altitud (Cunalata et al., 2013).

Se han hecho de igual forma estudios en los que se comparan métodos para determinar el carbono orgánico total del suelo, como el que realizaron Eyherabide et al. (2014) en Argentina en el que se recolectaron 60 muestras de suelo provenientes de las provincias de Córdoba, Corrientes y Buenos Aires. Para lo cual utilizaron los métodos de Walkley & Black (1934), Walkley & Black modificado

(1995), Dumas (combustión seca) y calcinación. Para estos suelos de textura franca y sin presencia de carbonatos, la metodología para determinar el Carbono Orgánico Total que presentó más veracidad y precisión fue la de Dumas (Eyherabide et al., 2014).

Sobre el contenido de carbono orgánico en hojarasca, en 2014 se estimó el porcentaje de carbono orgánico (CO) y CO capturado en la hojarasca de los bosques de la sierra Chincua de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México. Para el muestreo de la hojarasca, se utilizaron ocho pequeñas parcelas con una superficie de 0.25 m<sup>2</sup>. En laboratorio se secaron en horno a 60°C, hasta peso constante, determinándose así la relación entre la masa seca y húmeda, y la cantidad de carbono, de acuerdo con la metodología de oxidación en húmedo de Walkley y Black. Donde se concluyó que el porcentaje de carbono de la hojarasca tiene una gran variación en los porcentajes de CO y el CO almacenado por la hojarasca en t/ha<sup>-1</sup> (Cuevas et al., 2015).

García-Soria y Del Castillo-Torres, (2015) realizaron un estudio en la comunidad nativa Bufo Pozo, Ucayali, Perú, la cual consistía en estimar el almacenamiento de carbono en bosques con presencia de Bambú (*Guadua sarcocarpa*). Se estudió la biomasa, necromasa y suelo. Para el caso de la necromasa se usaron tres métodos de medición: 1) la evaluación en un transecto de 50 m para madera muerta en el suelo, 2) una parcela de 5 m x 50 m para árboles muertos en pie y tocones, en ambos casos se incluyeron individuos con diámetros mayores a 5 cm y 3) se ubicaron dos cuadrantes de 0.5 x 0.5 m para hojarasca. En el caso del suelo se obtuvieron muestras a cinco profundidades, 0-15, 15-30, 30-50, 50-75 y 75-100 cm, y se calculó el carbono con el método de Walkley y Black, 1934. El contenido de C total fue de 242.66 tC/ha<sup>-1</sup>), el depósito de C con mayor contenido es el COS con 120.55 tC/ha<sup>-1</sup>, seguido de la biomasa y la necromasa con 107.73 y 14.39 tC/ha<sup>-1</sup> respectivamente. La especie de bambú fue la que más carbono almacenado presentó, por lo que se recomienda realizar sistemas de producción y conservación de la especie (García-Soria and Del Castillo-Torres, 2015).



De igual forma, en este año se realizó un estudio en el que se estimó la captura de carbono (actual) en dos coberturas forestales de selva baja caducifolia y dos usos en la localidad El Suchual de Santa Ana, municipio de Tlatlaya, Estado de México. Se eligieron dos zonas forestales y dos zonas de actividad pecuaria y agrícola; se utilizó un muestreo anidado de cluster para calcular el carbono almacenado en la parte aérea (biomasa de árboles, herbáceas y mantillos) y subterránea (raíces y suelo). En las zonas forestales se encontraron similitudes de carbono total (71.3 MgC/ha<sup>-1</sup> y 71 MgC/ha<sup>-1</sup>), en el caso de las zonas mostraron un descenso de carbono total con 67 MgC/ha<sup>-1</sup> en la pecuaria y 52.5 MgC/ha<sup>-1</sup> en la agrícola. Sin embargo, el mayor aporte de carbono fue en el reservorio suelo a una profundidad de 20 cm en la actividad pecuaria con 52 MgC.ha<sup>-1</sup> (Bernal et al., 2015).

En Perú se llevó a cabo un estudio en el que el objetivo fue cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: bosque Primario, bosque secundario, Pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth), Cacao (*Theobroma cacao* L.) y Café (*Coffea arabica* L.) en la región San Martín. El carbono total en el bosque primario y secundario fue de 398.78 y 396.78 t/ha<sup>-1</sup> en cuanto a los otros, los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 22.68, 17.46 y 17.88 t/ha<sup>-1</sup>; respectivamente. En el caso del carbono del suelo, el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 t/ha<sup>-1</sup>, el bosque primario tuvo el 81%; y mientras que los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 43.4%, 48.7% y 49.81% respectivamente. Con estos resultados llegaron a la conclusión de que el cambio de bosques a plantaciones va a disminuir la capacidad de capturar carbono (Chuquizuta et al., 2016).

En ese mismo año, pero en Colombia se llevó cabo un estudio para estimar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) en la interface entre bosques riparios y una matriz de arrozales y pasturas con manejo orgánico. Se determinó la densidad aparente y la cantidad de carbono orgánico entre mayo y julio de 2013, además se estimó el potencial de cambio en el carbono orgánico del suelo por algún cambio en el uso del suelo entre el arroz, pastura y bosques riparios. Se

almacenaron en promedio 65,6 (arroz-bosque ripario) y 61,3 tC/ha (pastura-bosque ripario) sin diferencias significativas. Y en caso del cambio de bosques riparios a arrozales o pasturas con manejo orgánico no emite gases de efecto invernadero, por el contrario, aumenta el carbono orgánico del suelo en 3,2 tC/ha (Andrade et al., 2016).

Debido a la gran demanda por determinar las cantidades de carbono presentes en el suelo, se han hecho estudios en los que se utilizan diversos métodos para calcularlo. En este caso, Kloster et al. (2016) realizaron estudios en Argentina, donde determinaron el carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana. Se utilizó el método instrumental de combustión seca empleando un equipo LECO Truspec CN para el análisis de Carbono Total (CT), de Carbono orgánico y de Carbono inorgánico y se compararon los resultados obtenidos con el método clásico de oxidación húmeda para Carbono orgánico y con el método de titulación simple para Carbono inorgánico. En este caso los resultados obtenidos dicen que el método de combustión seca no es preciso para la determinación directa del Carbono orgánico en muestras de suelo calcáreo (Kloster et al., 2016).

Existen varios factores que pueden influir en la cantidad de carbono que un ecosistema puede reservar. Uno de estos factores puede ser la altitud, un estudio realizado por Larrea e Ignacio (2016) en la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras. El resultado arrojó que entre el carbono orgánico del suelo y la altitud no hay una evidente correlación, tampoco entre el carbono orgánico de suelo y las texturas arenosas y arcillosas. Entonces concluyeron que la cantidad de carbono en el suelo no muestra una acumulación clara respecto a la altitud, pero se va modificando debido a la intervención y uso que se le ha ido dando (Páliz, 2016).

En 2017 se realizó un estudio para evaluar la capacidad de captura de carbono en la necromasa y suelo del Bosque Protector Aguarongo. Para la necromasa se tomó la muestra y se colocó en crisoles para secar en una mufla a 70°C alcanzando un peso constante en 24 horas, se determinó la humedad de las submuestras y se

calculó la biomasa total. En el caso del suelo se utilizó el método de Walkley- Black- El mayor contenido de carbono en el suelo fue de 262.42 tC/ha y 1.11 tC/ha en la necromasa (López, 2017).

Sin embargo, actualmente son escasos los estudios relacionados a la captura de carbono en los que se evalúen los gradientes de carbono por tipos de suelos y vegetación, es decir, la transferencia de Carbono Orgánico entre los depósitos superficiales de Materia Orgánica y el primer horizonte orgánico mineral del suelo (Horizonte A).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los bosques son parte importante del ciclo global del carbono, ya que tienen la capacidad para almacenarlo en la vegetación y en el suelo durante largos periodos. La cantidad de almacenamiento de estos ecosistemas varía de acuerdo a variabilidad de sus especies, el tipo de suelo, el clima y otras características específicas (Sánchez, 2016).

Los bosques tropicales se encuentran bajo amenaza en cuanto a su estabilidad, esto debido principalmente a los cambios de uso de suelo y al aprovechamiento no sostenible de áreas forestales (Vilanova-Torre et al., 2010).

Una de las actividades que provocan grandes transformaciones en el entorno natural, es la deforestación, la cual ha generado grandes cambios en la cubierta terrestre, contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero que favorecen al cambio climático. La deforestación reduce las cantidades de carbono ya que disminuye la hojarasca y leña del suelo interrumpiendo la aportación de materia orgánica. Lo anterior ocasiona que el suelo se erosione facilitando la oxidación de componentes orgánicos, lo que provoca una liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Pérez-Ramírez et al., 2013).

Además de la deforestación, el uso de combustibles fósiles, la producción industrial y minera, así como la agricultura han generado grandes emisiones de dióxido de carbono y en menor cantidad emisiones de metano y óxido nitroso (Yáñez and Vargas-Mena Amescua, 2004).

El cambio climático es causado por los gases de efecto invernadero, principalmente por el CO<sub>2</sub>, que, aunque se presente en menor cantidad, tiene una mayor capacidad para retener el calor y grandes periodos de permanencia que los demás gases (Bautista-Hernández y Torres-Pérez, 2003).

Durante los últimos años el cambio climático ha tenido ciertas implicaciones que han llevado a la búsqueda de opciones para mitigar sus impactos. Una de estas

opciones es la captura y almacenamiento de carbono para estabilizar las concentraciones de gases en la atmósfera (Conde, 2007).

El suelo almacena una gran cantidad de carbono, siendo casi el doble de lo que almacena la atmósfera y la vegetación (Robert, 2001). Un óptimo manejo y aprovechamiento forestal es de suma importancia para determinar la cantidad y calidad de la materia orgánica, en su descomposición, y en el ciclo del carbono. Es por lo anterior que un manejo sustentable de las áreas forestales contribuye a la conservación de grandes reservas de carbono en el suelo y a la biodiversidad que habitan en él (Pérez-Ramírez et al., 2013).

La preocupación por mitigar este problema ha puesto a pensar en la elaboración de estrategias que permitan disminuir la cantidad de estos gases presentes en la atmósfera. En este caso, los bosques son un factor muy importante debido a su alta capacidad para almacenar carbono, al igual que el recurso suelo.

La importancia de conocer la dinámica de carbono que se encuentra y que es transferido en cada nivel, desde la hojarasca, pasando por el mantillo, hasta el suelo, radica en que gracias a esto se pueden elaborar estrategias y acciones de manejo que permitan la captura y mantenimiento del carbono almacenado en estos lugares, evitando su concentración en la atmósfera.

Los programas y/o proyectos sobre captura de carbono ofrecen grandes beneficios para la mitigación de CO<sub>2</sub> y para el bienestar del ser humano, además de que son un paso para llegar a un desarrollo sustentable.

Es por esto que es necesario llevar a cabo estudios sobre captura de carbono en ecosistemas forestales que aún se encuentran conservados para conocer las cantidades de carbono que se encuentran asociadas a los distintos tipos de vegetación y tipos de suelos y de esta forma establecer medidas de mitigación de gases de efecto invernadero (Benjamín y Masera, 2001).

## 4. OBJETIVOS

### a. Objetivo General

Determinar la transferencia de Carbono Orgánico entre los depósitos superficiales (Hojarasca, Mantillo) y el primer horizonte mineral del suelo (Horizonte A) por tipo de suelo y por tipo de vegetación en Quintana Roo.

### b. Objetivos Específicos

- Determinar los contenidos de Carbono Orgánico de la hojarasca y mantillo por el método de calcinación.
- Determinar el Carbono Orgánico del Horizonte A por el método de Walkley-Black.
- Relacionar los contenidos de Carbono Orgánico del Mantillo, Hojarasca y el Horizonte A.
- Comparar las secuencias de transferencias por tipo de suelo y vegetación.



## 5. ÁREA DE ESTUDIO

### a. Ubicación

El estado de Quintana Roo se localiza en el sur del país, en la porción oriental de la Península de Yucatán. Al norte colinda con el Golfo de México, al este con el Mar Caribe, al sur con Belice y Guatemala y al noroeste con el estado de Campeche y Yucatán. Sus coordenadas son: al norte 21°36', al sur 17°49' de latitud norte; al este 86°43' y al oeste 89°25' de longitud oeste (Pozo et al., 2011).

El estado cuenta con 11 municipios: Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad, Tulum, Othón P. Blanco, Bacalar y Puerto Morelos. (Figura 1)

Su capital es la ciudad de Chetumal, ubicada en el municipio de Othón P. Blanco, al sur del estado.

En Quintana Roo, de acuerdo a la Encuesta Intercensal 2015 hay 1, 501, 562 habitantes, de los cuales 751, 538 son hombres y 750, 024 son mujeres. Su índice de crecimiento poblacional es de 2.7% (Consejo Estatal de Población, 2015).

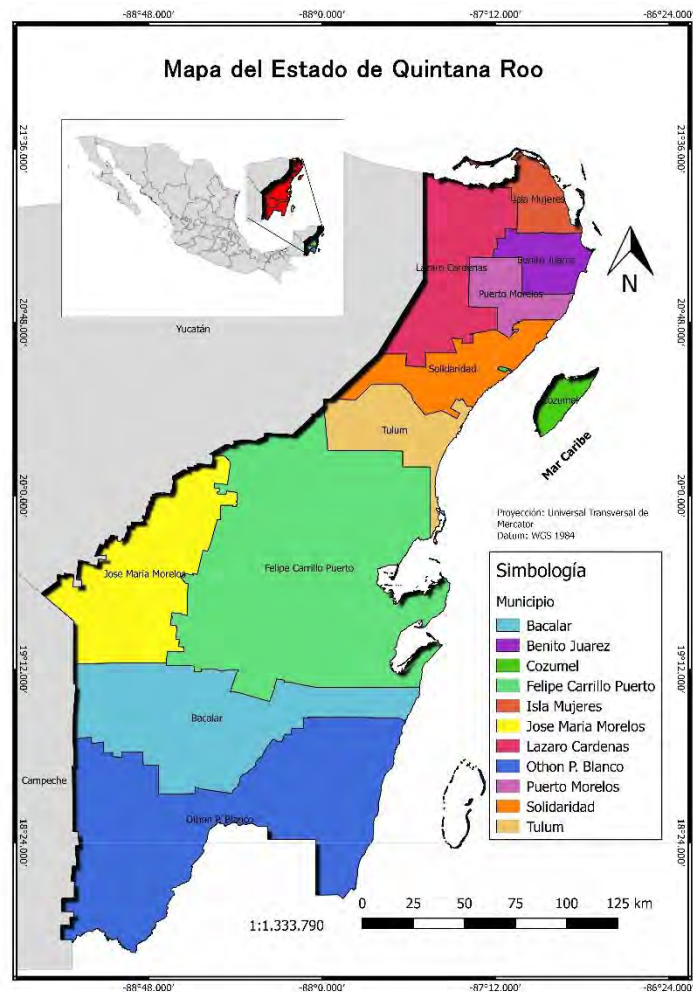


Figura 1. Municipios de Quintana Roo.  
Fuente: Elaboración propia.

## b. Relieve

El estado de Quintana Roo es una estructura que tiene un origen sedimentario formado en el Mesozoico, se formó a partir de arenas y estructuras marinas de origen orgánico en el Terciario. Esta plataforma fue ascendiendo durante el Cenozoico y estaba formada por rocas carbonatadas, evaporíticas y clásticas como caliza, dolomita, yeso y arenisca (Rodríguez y Crespo, 2010).

Después de esto, en el Eoceno, como resultado de una serie de eventos geológicos los estratos de calizas recién formados se plegaron y así dieron origen al relieve ondulado del sur de la Península de Yucatán (Bautista et al., 2005).

La altura del estado de Quintana Roo va desde el nivel del mar hasta los 380 m en el sur. De este a oeste y de norte a sur las alturas van ascendiendo, y en la parte del suroeste es donde se encuentran las partes más altas. La Isla de Cozumel y zonas del norte tienen una altura por debajo de los 10 msnm. La mayor parte del territorio Quintanarroense se encuentra por debajo de los 100 msnm. En la zona norte y oriental se localiza la planicie costera la cual continúa en una zona donde va aumentando la altura hacia el sur y oeste atravesando colinas y lomeríos, donde luego se presentan terrenos escarpados con diferencias de altura de 200 y 250 m/km<sup>2</sup> y que son los lugares donde el estado tienen mayor altitud. (Fragoso-Servón et al., 2014)

En el estado existen 2890 depresiones kársticas ocupando 1147.04 km<sup>2</sup>. El 58.8% con uvalas, el 35.1% dolinas y solamente el 5.9% poljes. Las uvalas ocupan 223.3km<sup>2</sup>, las dolinas 20.3 km<sup>2</sup>, mientras que los poljes abarcan 904.3km<sup>2</sup>. La presencia de estas depresiones kársticas disminuye cerca de las zonas costeras. La mayor parte de estas depresiones se encuentran por debajo de los 50 msnm en las zonas con menor relieve esto debido a la acción de los factores estructural, climático y vegetación que con ayuda del agua subsuperficial favorecen la rápida disolución de la roca caliza (Fragoso-Servón et al., 2014).

### c. Clima

El Estado de Quintana Roo presenta los siguientes tipos de clima de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García (Fragoso-Servón, 2015):

- En la Isla de Cozumel se encuentra el clima cálido húmedo con lluvias todo el año, es el tipo de clima en el que la diferencia entre el mes más caliente y el más frío es menor a 5°C. Am (f)i
- Desde Puerto Morelos hasta Xcalak y en los límites con Belice y Guatemala, se encuentra el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, siendo el más húmedo de esta categoría, lluvia invernal mayor a 10.2 mm, se presenta sequía intraestival. Aw<sub>2</sub>(x') i w"
- En el norte y sur de la entidad se encuentra el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y con más de 10.2 mm de lluvia invernal, con presencia de sequía intraestival. Aw<sub>1</sub> (x') i w"
- La mayor parte del territorio está ocupada por un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano, lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm, presenta sequía intraestival. Aw<sub>1</sub> i w"
- En la parte norte del Estado está el clima cálido subhúmedo, siendo el menos húmedo de esta categoría, lluvia invernal con más de 10.2 mm, presenta sequía intraestival. De igual forma se localiza en otras dos pequeñas zonas de la entidad (al oeste de Felipe Carrillo Puerto y al oeste de la Laguna de Bacalar) Aw<sub>0</sub>(x') i w"
- En el centro oeste de Quintana Roo está el clima cálido subhúmedo, siendo el menos húmedo de los húmedos, presenta lluvias en verano, lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm y presenta sequía intraestival. Aw<sub>0</sub> i w"

### d. Vegetación

De acuerdo a Ek (2011), Quintana Roo cuenta con doce comunidades vegetales, las cuales se encuentran determinadas por el clima, la topografía, la geología y los tipos de suelos presentes en la entidad. Estas comunidades son:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1. Selva alta subperennifolia             | 7. Palmar                        |
| 2. Selva mediana subperennifolia          | 8. Manglar                       |
| 3. Selva mediana subcaducifolia           | 9. Sabana                        |
| 4. Selva baja espinosa<br>subperennifolia | 10. Vegetación de dunas costeras |
| 5. Selva baja subcaducifolia              | 11. Petén                        |
| 6. Selva baja caducifolia                 | 12. Tular                        |

La *selva alta subperennifolia* se encuentra en el suroeste del Estado. La principal característica de este tipo de selva es que los árboles miden 30 metros de altura o más. Además, tiene presencia de arbustos y plantas epífitas. Ejemplos de especies: caoba (*Swietenia macrophylla*), chicozapote (*Manilkara zapota*), ramón (*Brosimum alicastrum*), caimito (*Chrysophyllum mexicanum*), tzalam (*Lysiloma latisiliquum*).

La *selva mediana subperennifolia* es la selva más abundante de la entidad, se localiza de norte a sur y de este a oeste. Sus árboles tienen una altura de aproximadamente 15 a 25 metros. De igual forma, presenta una gran cantidad de epífitas. Ejemplo de especies: ramón (*Brosimum alicastrum*), chicozapote (*Manilkara zapota*), chacá (*Bursera simaruba*), ya axnik (*Vitex gaumeri*).

La *selva mediana subcaducifolia* se distribuye al norte del Estado en el centro oeste. El estrato arbóreo alcanza alturas de entre 20 y 25 metros. Este tipo de vegetación se desarrolla particularmente en suelos rocosos. Ejemplos de especies: pich (*Enterolobium cyclocarpum*), nance (*Byrsonima crassifolia*), ciricote (*Cordia dodecandra*), capulín (*Prunus serotina*).

La *selva baja espinosa subperennifolia* se encuentra en zonas bajas y planas, localizándose del centro al sur de manera dispersa. Los árboles alcanzan alturas de entre 4 a 8 metros. Ejemplo de especies: palo de tinte (*Haematoxylum campechianum*), pucté (*Bucidas buceras*), jobo (*Spondias mombin*).

La *selva baja subcaducifolia* se localiza a lo largo de la costa en pequeños manchones. En comparación con la selva baja caducifolia, ésta conserva un poco más su follaje. Ejemplo de especies: tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), chacá (*Bursera simaruba*), akits (*Thevetia gaumeri*).

La *selva baja caducifolia* se distribuye en la parte norte de la entidad, en este tipo de selvas la temporada de lluvias puede durar de 7 a 8 meses. Los árboles llegan a medir de entre 4 a 15 metros de altura. Ejemplo de especies: bonete (*Jacaratia mexicana*), ciricote (*Cordia dodecandra*), pepino kat (*Parmentiera aculeata*), jabín (*Piscidia piscipula*) y especies de suculentas.

El *palmar* es una asociación de plantas de la familia *Arecaceae* y se encuentra de manera dispersa en el sur del estado. Ejemplo de especies: guano (*Sabal mexicana*), corozo (*Orbignya cohune*), tasiste (*Acoelorrhaphe wrightii*), cocoyol (*Acrocomia mexicana*), palma real (*Roystonea regia*), el xiat (*Chamaedorea seifrizii*).

En el *manglar* como su nombre lo dice, predominan árboles de mangle. Su distribución está dada por toda la costa de Quintana Roo, siendo de Sian Ka'an hasta Xcalak la zona donde se encuentra la mayor proporción. Pueden llegar a medir de 80 cm hasta más de 15 metros. Se distinguen cuatro tipos: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*).

La *sabana* se encuentra del centro al sur en pequeñas cantidades. Los árboles son muy bajos, llegando a medir entre 3 y 6 metros de altura. Ejemplo de especies: pepino kat (*Parmentiera aculeata*), jícaro (*Crescentia cujete*), pastizales.

La *vegetación de dunas costeras* al igual que el manglar, se distribuye por la zona costera del estado. Habitan plantas herbáceas y arbustivas, que pueden soportar fuertes vientos y alta salinidad. Ejemplo de especies: mulche (*Bumelia retusa*), uva

de mar (*Coccoloba uvifera*), ciricote playero (*Cordia sebestena*), frijolillo (*Canavalia rosea*).

Los *petenes* se encuentran dentro de la reserva de la Biósfera de Sian Ka'an cerca de las bahías de Ascensión y Espíritu Santo, además de cuerpos de agua como la Laguna de Bacalar, el Río Hondo y la Bahía de Chetumal. Son pequeñas islas de vegetación que pueden ser de selvas en medio de manglar, donde a veces se pueden mezclar las especies del manglar con las de la selva. Su altura es de uno a dos metros. Ejemplo de especies: mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), tasiste (*Acoelorrhaphe wrightii*), chicozapote (*Manilkara zapota*), chit (*Thrinax radiata*).

En el *tular* las plantas pueden medir de 80 cm hasta 2.5 metros de altura. Se desarrolla en lagunas y lagos de muy poca profundidad. Se encuentra distribuido en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. Ejemplo de especies: tule (*Typha dominguensis*) y tutillo (*Scirpus sp.*).

Existen otros tipos de vegetación, pero que se encuentran en menor cantidad en el estado. Tal es el caso del popal, tasistal y sabana con pino caribeño.

El *popal* se encuentra en lugares pantanosos y combinado con el tular. Ejemplo de especies: quentó (*Thalia geniculata*), Popal, platanillo y especies de gramíneas.

El *tasistal* se encuentra dentro de la selva baja como un islote, la principal especie que habita ahí es el tasiste (*Acoelorrhaphe wrightii*), pero se puede encontrar el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*).

Existe una pequeña comunidad de pino caribeño (*Pinus caribaea*) en sabana en el ejido de Caobas, al suroeste del estado. En las regiones tropicales es el único pino que crece cerca del nivel de mar.

#### e. Suelo

De acuerdo a Fragosó-Servón et al. (2017) existen en el estado de Quintana Roo 14 grupos principales de suelos. Los que ocupan mayor área son los Leptosols, los



cuales ocupan un 48.47% de territorio; luego están los Gleysols con el 15.47%, siguen los Phaeozems ocupando el 11.38%; los Vertisols con 7.46%; los Luvisols con 5.50%; los Cambisols con 5.04%; los Solonchaks con 2.26%; los Histosols con 1.25%; los Arenosols con 1.04%; luego está el Nitisol, Calcisol, Kastanozem, Regosol y Fluvisol que ocupan menos del 1% cada uno.

A continuación se describen las principales características de los suelos de Quintana Roo de acuerdo a la IUSS Working Group WRB (2015):

Los Leptosols (LP) son suelos delgados con menos de 25cm de espesor, presenta más de un 80% de piedras. Dominan principalmente la parte norte y centro del estado.

Los Gleysols (GL) son suelos que tienen mal drenaje lo que provoca inundaciones. Son suelos grises. Se pueden encontrar en zonas costeras del norte y del centro.

Los Phaeozems (PH) son suelos oscuros y ricos en materia orgánica. Se encuentran principalmente en el occidente del estado. Normalmente se encuentran asociados a los Leptosoles y Vertisoles.

Los Vertisols (VR) son suelos arcillosos y profundos de color café. Se encuentran en zonas dedicadas en la agricultura, especialmente en el sur y sureste del Estado.

Los Luvisols (LV) son suelos utilizados para la agricultura y para actividades forestales, son suelos de color rojo. Se encuentran en pequeñas partes del norte y en el centro y sur. Son suelo con uso agrícola y forestal.

Los Cambisols (CM) tienen un desarrollo mínimo en sus horizontes, con coloración principalmente parduzca. Se encuentra en pequeños manchones del centro del estado cerca de Yucatán.

Los Solonchaks (SC) su principal característica es su alto contenido de sales, están en las zonas costeras del Estado.

Los Histosols (HS) son suelos con materiales orgánicos, tienen aproximadamente 40cm de espesor o más.

Los Arenosols (AR) tienen una textura gruesa, están presentes en las costas del norte, centro y en Mahahual.

Los Nitisols (NT) se encuentran en el centro del Estado. Son suelos profundos, bien drenados de un color rojo.

Calcisols (CL) son suelos con una acumulación sustancial de carbonatos secundarios y se encuentran en el sur del estado.

Kastañozem (KS) son suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Se encuentran en el centro muy cerca del estado de Yucatán.

Los Regosols (RG) han tenido poco desarrollo por lo que son suelos jóvenes.

Los Fluvisols (FL) se originan a partir de sedimentos fluviales, lacustre o marinos, pueden presentar estratos de arena.

## 6. METODOLOGÍA

Se tomó el Mapa Digital de Suelos de Quintana Roo (Fragoso-Servón et al., 2017) y el Mapa de Vegetación del INEGI y se distinguieron los tipos de suelos y su presencia en las diferentes zonas de vegetación y con la ayuda de un sistema de información geográfica se seleccionaron los puntos de acuerdo a las combinaciones posibles de suelo y vegetación.

Se obtuvieron 44 puntos de muestreo para todo el estado.

Considerando los puntos seleccionados, en campo se eligieron las zonas donde la cobertura vegetal estuviera mejor conservada, además, antes de tomar las muestras se confirmaba que estuvieran presentes las combinaciones de suelo y vegetación que los mapas nos señalaban.

Se tomaron las coordenadas geográficas del sitio y la toma de muestras se realizó de la siguiente manera:

### a. Muestras de hojarasca y mantillo

En cada sitio seleccionado y verificado el tipo de suelo y la vegetación se tomaron tres muestras con ayuda de un cuadrado de  $1\text{m}^2$ , todo el contenido de hojarasca dentro del cuadrado se recogió guardándolo en bolsas negras y etiquetando. Posteriormente del mismo cuadro se recogió el mantillo guardándolo y etiquetándolo en otra bolsa.

### *i. Método de calcinación*

Llegando al laboratorio ambas muestras eran colocadas en charolas con papel estraza en el fondo para que las muestras pudieran secarse hasta peso constante. Las muestras secas se pesaron en una balanza analítica y se anotó el valor de cada una.

Después de pesarlas, se procedió a quemarlas en carbonizadores rústicos con ayuda de etanol. El producto de la hojarasca quemada se pesó y el valor se registró.

El siguiente paso fue calcinar las muestras en una mufla, para lo cual lo primero que se hizo fue pesar de 2 a 3 gramos de muestra en un crisol; se hizo tres veces para cada muestra. Cada peso se registró. Posteriormente se metían a la mufla para calcinarlos a 800°C por 30 minutos. Se dejaban enfriar por un momento y luego se colocaban dentro de una desecadora. Cuando ya los crisoles estaban completamente fríos se pesaban tres veces, con un intervalo de tiempo de 10 a 15 minutos. Todos estos valores se registraron.

#### b. Muestras de suelo

Para las muestras de suelo se siguió la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, donde se establecen las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

En el caso de las muestras de suelo, se escogió el sitio representativo donde se realizó una calicata y se tomaron las muestras del horizonte A. Se estimó la pedregosidad y se utilizó un cilindro para obtener las muestras para determinar la densidad. Todas las muestras se guardaron en bolsas negras, se etiquetaron y transportaron al laboratorio para sus análisis.

En el laboratorio, las muestras se colocaban en charolas con papel estraza en el fondo, para que éstas pudieran secarse. Una vez secas se molieron y tamizaron.

Para determinar la densidad se pesaron en húmedo, se secaron en la estufa a 105°C hasta peso constante y se pesaron ya secas, con estos datos y el volumen del cilindro utilizado se calculó la densidad.

#### *i. Método de Walkley- Black*

Se utilizó el método de Walkley- Black para el horizonte A, que de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un tiempo la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de  $Fe^{3+}$  y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo (SEMARNAT, 2000).

c. Transferencia de carbono en unidades de masa

Para obtener la transferencia de CO, se transformaron los porcentajes obtenidos a unidades de masa ( $Kg/m^2$ ). Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$COSt = \sum \left( \left[ \left( BD_i * TH_i * \left[ 1 - \frac{CR_i}{100} \right] \right) * C_i \right] * 100 \right)$$

Donde:

COS<sub>t</sub>: Contenido de carbono orgánico del horizonte A.

BD<sub>i</sub>: densidad aparente del horizonte i.

TH<sub>i</sub>: espesor del horizonte i.

CR: pedregosidad.

C<sub>i</sub>: porcentaje de carbono orgánico del horizonte i.

d. Análisis de agrupamiento

Con los datos obtenidos de la transferencia de carbono, se llevó a cabo un análisis de agrupamientos usando la k-ésima media como métrica y un agrupamiento por el centroide con el software estadístico XLSTAT para Microsoft Excel, para obtener el número de clases considerando todas las muestras. Además, se obtuvieron las

distancias entre estas clases, lo que permitió la elaboración de un dendrograma en el que se puede observar cuáles clases son similares y cuáles son diferentes.

## 7. RESULTADOS

### a. Porcentaje de carbono orgánico por estrato

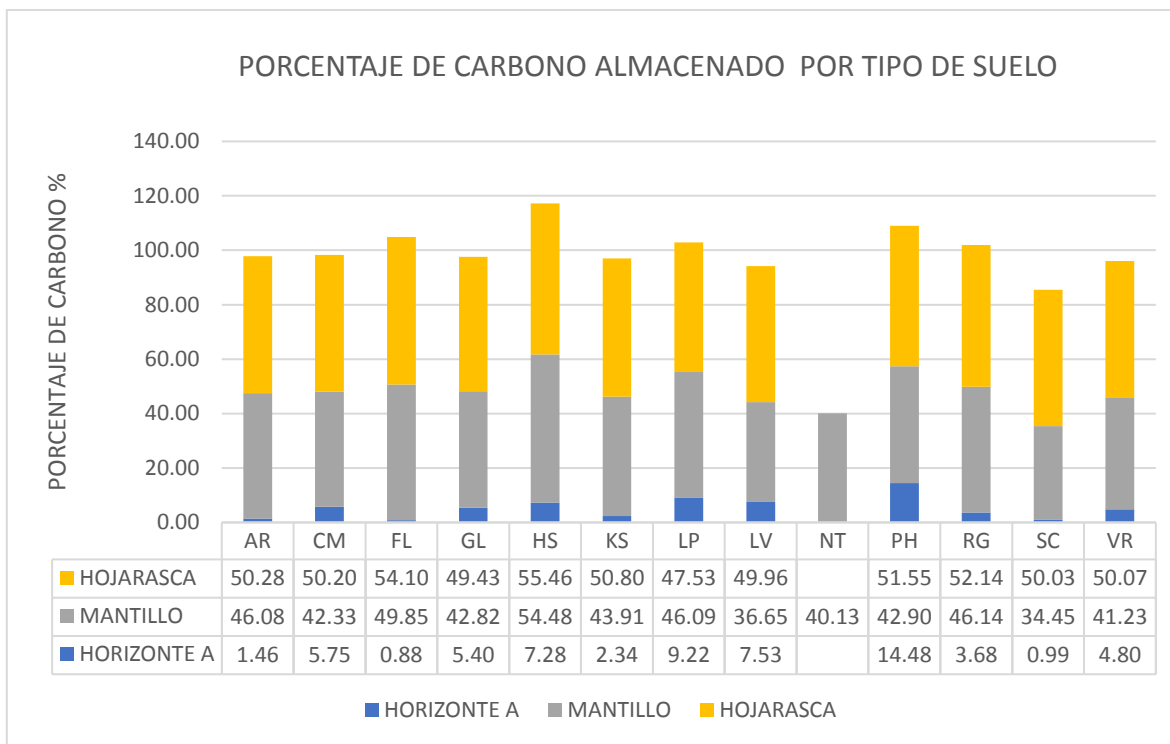
En la Figura 2 se puede observar que el estrato que tiene más porcentaje en el contenido de Carbono Orgánico (CO) es la hojarasca, seguido del mantillo y por último el horizonte A.

Considerando los tres estratos, el tipo de suelo con mayor cantidad de CO es el Histosol (HS), en segundo lugar, está el Phaeozem (PH) y el tercer lugar lo ocupa el Fluvisol (FL).

En cuanto a la cantidad presente de CO en la hojarasca, es el Histosol el que, con un 55.46%, ocupa el primer lugar, le siguen el Fluvisol y el Regosol con 54.10% y 52.14%, respectivamente. Por el contrario, son el Gleysol (GL) y el Leptosol (LP) los que presentan menos cantidad de CO.

En el mantillo son nuevamente el Histosol, Fluvisol y Regosol, los que tienen más CO con 54.48%, 49.85% y 46.14%, respectivamente; y son el Luvisol (LV) (36.65%) y el Solonchak (SC) (34.45%) los suelos con menos CO.

Por último, en el Horizonte A el Phaeozem (14.48%) es el que mayor contenido de CO presenta, luego siguen el Leptosol y el Luvisol con 9.22% y 7.53% respectivamente. Los dos con menos cantidad de CO en este horizonte es el Solonchak (0.99%) y el Fluvisol (0.88%). El Nitisol (NT) no presenta Horizonte A.



*Figura 2. Porcentaje de Carbono Orgánico por tipo de Suelo.*

En la Figura 3 se presentan los contenidos de CO en porcentaje por tipo de vegetación, se observa que existe una tendencia similar a la Figura 2, la hojarasca es la que almacena más cantidad de CO, luego el Mantillo y finalmente el Horizonte A.

Considerando los tres estratos es en el Mangle Negro (VMN) donde existe mayor contenido de CO, seguido del Tular (VT) y de la Selva Baja Espinosa (SBK).

Para la hojarasca es el Mangle Negro, con 55.46%, el que mayor cantidad de CO presenta, seguido del Palmar (VPN) con 53.03% y de la Selva Baja Espinosa (SBK) con 52.21%, los que menos CO tienen son la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) (47.90%) y el Manglar (VM) (37.38%).

Al igual que en la Hojarasca, en el Mantillo el Mangle Negro con 54.48% concentra el mayor porcentaje de CO, le sigue el Tular (VT) con 48.46% y el Palmar Inducido (VPI) con 48.19%, por el contrario, los que menos CO tienen son la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) con 39.24% y el Manglar (VM) con 20.61%. La Duna Costera y el Popal (VA) no presentan este depósito superficial.



Por último, en el Horizonte A, la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) con 15.07% es el que más CO presenta, le sigue el Tular con 8.74% y el Mangle Negro y el Popal con 7.28% cada uno. En este Horizonte los que menos CO tienen son el Palmar Inducido con 1.53% y la Duna Costera con 0.18%.

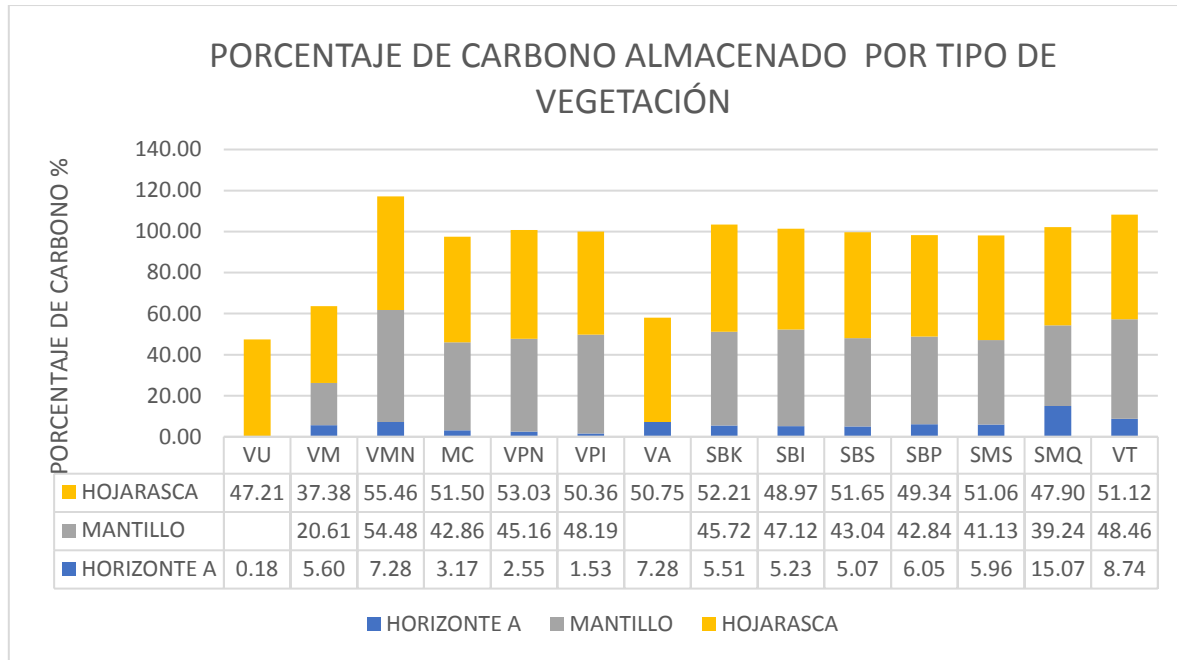


Figura 3. Porcentaje de Carbono Orgánico por tipo de Vegetación.

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos para el grupo de suelos más abundante en el estado, el Leptosol en los diferentes tipos de vegetación en que está presente.

Considerando los tres estratos se observa que los Leptosols con vegetación de Manglar presentan el mayor contenido de CO. En cuanto al contenido en la Hojarasca es en el Manglar (VM) donde tiene una gran cantidad de CO siendo ésta de 52.87%, luego le sigue la Selva Baja Subcaducifolia (SBS) con 52.25% y la Selva Mediana Subcaducifolia (SMS) con 50.86%; en los más bajos se encuentran la Selva Baja Subperennifolia (SBP) con 42.63% y la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) con 41.26%.

En el Mantillo vemos que los Leptosols en la Selva Baja Inundable (SBI) acumulan mayor cantidad de CO que en la Hojarasca, teniendo un valor de 54.49%; le sigue la Selva Baja Subcaducifolia (SBS) con 50.06% y en el Manglar acumulan menos que el anterior siendo 48.00% la cantidad de CO que presenta; en este caso son en las Selvas Medianas en las que acumulan menos CO donde la Subcaducifolia presenta un 42.07% y la Subperennifolia 38.38%.

Por último, en el Horizonte A se observa que los Leptosols con vegetación de Manglar presentan los mayores contenidos de CO con 16.74%, después se encuentra los suelos con Selva Mediana Subcaducifolia con 12.64% y luego en la Selva Baja Subperennifolia con 8.94%. En la Selva Baja Inundable y en la Selva Mediana Subperennifolia es donde se presentan los menores contenidos de CO con 7.38% y 1.98%, respectivamente.

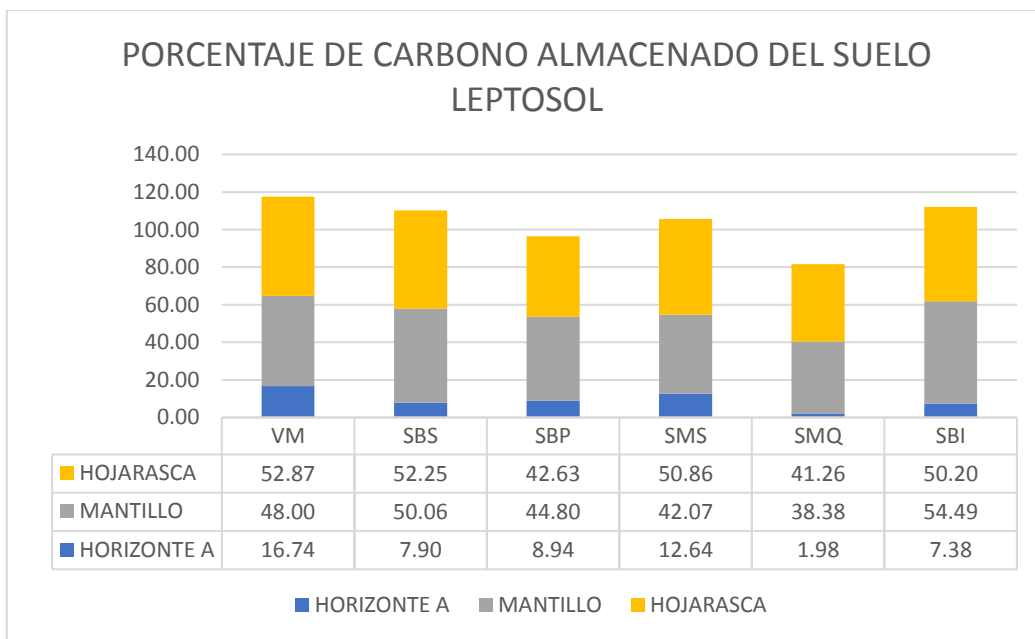


Figura 4. Porcentaje de Carbono Orgánico en suelo Leptosol.

#### b. Transferencia de carbono

En la Figura 5, se presentan los resultados obtenidos del contenido de CO expresado como KgCO/m<sup>2</sup> por tipo de suelo, puede observarse que en ellos existe

una tendencia donde el que presenta mayor cantidad es el Horizonte A, seguido de la Hojarasca y por último el Mantillo.

Considerando los tres estratos, se muestra que el grupo de suelos Phaeozem es el que más  $\text{KgCO/m}^2$  presenta y el que menos tiene son los Nitisols.

En el estrato Hojarasca, son los grupos Histosol (HS), Kastañozem (KS) y el Leptosol (LP) los que mayor cantidad de CO tienen con 0.38, 0.38 y 0.33  $\text{Kg/m}^2$  respectivamente. Los que menos CO tienen son el Gleysol (GL) con 0.24  $\text{Kg/m}^2$ , el Solonchak (SC) con 0.21  $\text{Kg/m}^2$  y el Luvisol (LV) con 0.19  $\text{Kg/m}^2$ .

En el Mantillo es el Histosol el que con 0.27  $\text{Kg/m}^2$  es el que más CO presenta, le sigue el Kastañozem con 0.25  $\text{Kg/m}^2$  y en tercer lugar se encuentra el Leptosol con 0.21  $\text{Kg/m}^2$ . De los que menos CO tienen está el Arenosol (AR) y el Nitisol (NT) con 0.08  $\text{Kg/m}^2$ , luego le siguen el Regosol (RG) y Solonchak con 0.07  $\text{Kg/m}^2$  y por último se encuentra el Luvisol con 0.05  $\text{Kg/m}^2$ .

En el Horizonte A se notan las grandes diferencias de CO que existen en los suelos, en primer lugar, se encuentra el Phaeozem con 29.37  $\text{Kg/m}^2$ , seguido del Luvisol con 13.12  $\text{Kg/m}^2$  y del Vertisol con 7.73  $\text{Kg/m}^2$ . Los que menos presentan son el Kastañozem con 3.02  $\text{Kg/m}^2$ , el Solonchak con 2.93  $\text{Kg/m}^2$  y el Fluvisol que solamente presenta 0.94  $\text{Kg/m}^2$ . El Nitisol no presenta este Horizonte.

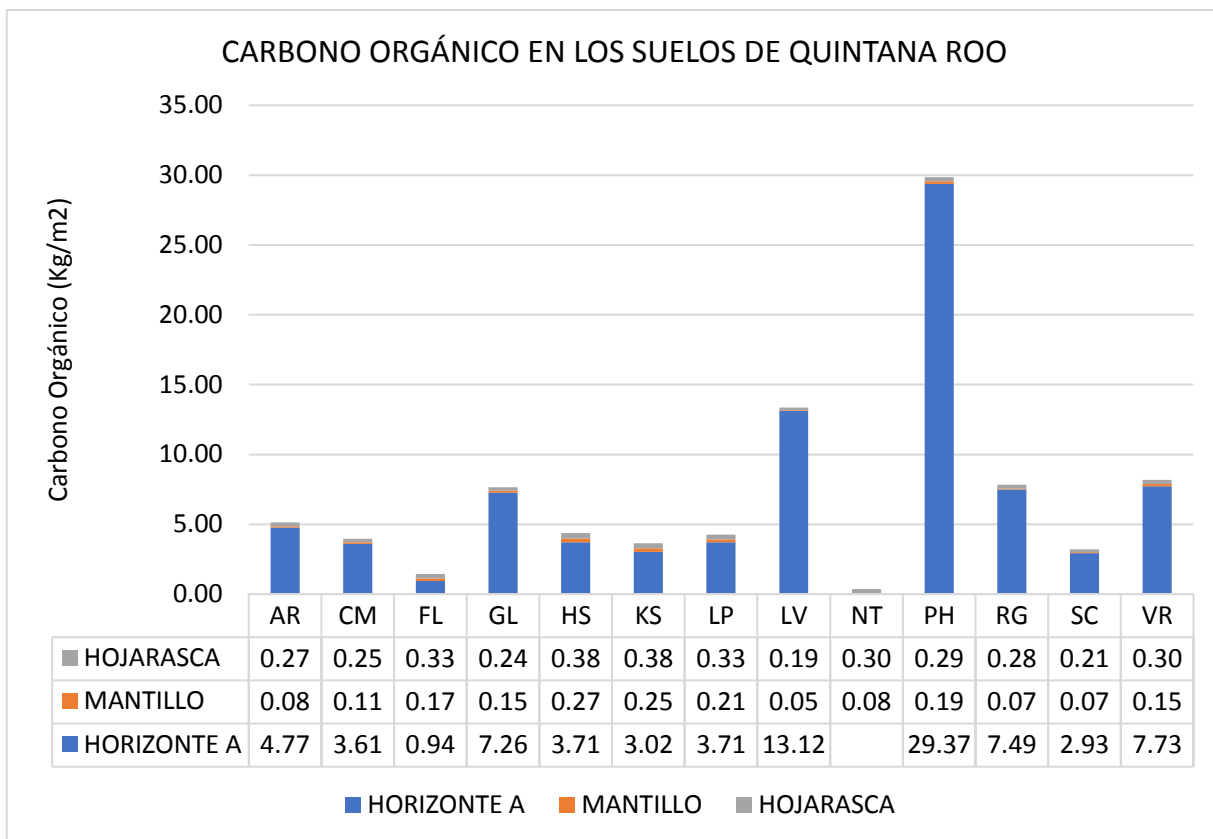


Figura 5. Cantidad de Carbono Orgánico (Kg/m<sup>2</sup>) por tipo de Suelo.

En la Figura 6 se presentan los resultados de CO en los distintos tipos de vegetación del estado. Puede observarse que es el Horizonte A el que mayor cantidad de KgCO/m<sup>2</sup> presenta y es la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) la vegetación que mayor cantidad de KgCO/m<sup>2</sup> presenta y la Duna Costera (VU) es el menos tiene.

Considerando los estratos de manera individual, en cuanto a la Hojarasca el Matorral Costero (MC) es el que ocupa el primer lugar con 0.54 KgCO/m<sup>2</sup>, seguido de la Selva Baja Inundable (SBI) con 0.48 KgCO/m<sup>2</sup> y en tercer lugar la Selva Baja Espinosa (SBK) con 0.41 KgCO/m<sup>2</sup>. Por el contrario a estos resultados, los tres tipos de vegetación que menos CO presentan son, el Manglar (VM) con 0.18 KgCO/m<sup>2</sup>, el Popal (VA) y el Tular (VT) con 0.04 KgCO/m<sup>2</sup>, quedando en último lugar la Duna Costera con solamente 0.02 KgCO/m<sup>2</sup>.

En el caso del Mantillo las tres vegetaciones con mayor contenido de KgCO/m<sup>2</sup> son, el Manglar Negro (VMN) con 0.27 KgCO/m<sup>2</sup>, la Selva Baja Espinosa con 0.23

KgCO/m<sup>2</sup> y la Selva Mediana Subcaducifolia (SMS) con 0.17 KgCO/m<sup>2</sup>. De las que menos presentan está el Palmar (VPN) con 0.13 KgCO/m<sup>2</sup>, luego le sigue el Palmar Inducido (VPI) con 0.04 KgCO/m<sup>2</sup> y por último está el Tular con 0.03 KgCO/m<sup>2</sup>.

Por último, en el Horizonte A son la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ), el Tular y el Popal (VA) los que más CO presentan con 28.54, 9.70 y 8.74 KgCO/m<sup>2</sup>, respectivamente. Por el contrario, los que menos tienen son la Selva Baja Subcaducifolia (SBS), el Palmar Inducido y el Manglar Negro con 4.11, 4.10 y 3.71 KgCO/m<sup>2</sup>, respectivamente.

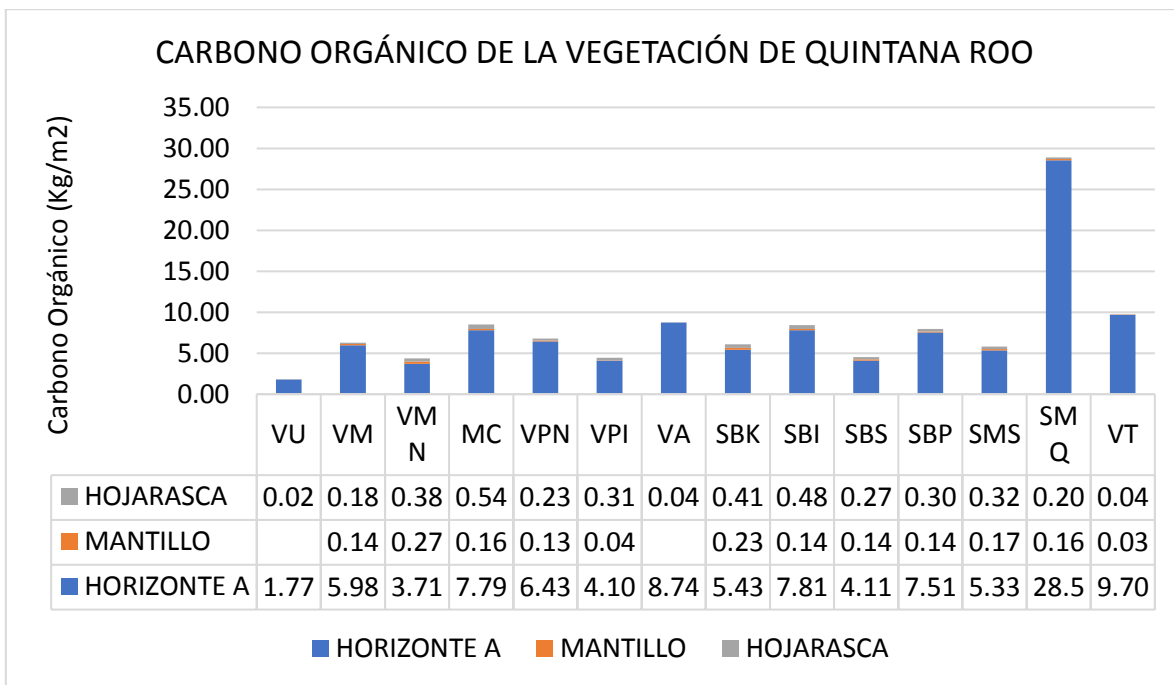


Figura 6. Cantidad de Carbono Orgánico (Kg/m<sup>2</sup>) por tipo de Vegetación.

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos en el suelo Leptosol con los distintos tipos de vegetación en los que se encuentra presente. Como primer punto, se observa que el Leptosol con Selva Mediana Subcaducifolia (SMS) es el que más CO presenta, siendo la Selva Baja Subcaducifolia (SBS) la que menos tiene.

En el caso de la Hojarasca son la Selva Baja Inundable (SBI), la Selva Mediana Subperennifolia (SMQ) y la Selva Baja Subcaducifolia los que más CO presentan con 0.65, 0.35 y 0.31 KgCO/m<sup>2</sup>, respectivamente. Los que menos tienen son la

Selva Mediana Subcaducifolia con 0.27 KgCO/m<sup>2</sup>, el Manglar (VM) con 0.26 KgCO/m<sup>2</sup> y por último la Selva Baja Subperennifolia (SBP) con 0.25 KgCO/m<sup>2</sup>.

En el Mantillo los que ocupan los tres primeros lugares con más cantidad de CO son la Selva Baja Subcaducifolia, seguido del Manglar y de la Selva Baja Subperennifolia, con 0.37, 0.21 y 0.20 KgCO/m<sup>2</sup>. Por el contrario, son la Selva Mediana Subperennifolia, la Selva Baja Inundable y la Selva Mediana Subcaducifolia los que presentan menos CO, con 0.17, 0.17 y 0.13 KgCO/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Por último, en el Horizonte A es la Selva Mediana Subcaducifolia la que presenta mayor cantidad de CO, con 6.27 KgCO/m<sup>2</sup>; le siguen la Selva Baja Inundable y la Selva Baja Subperennifolia con 5.56 y 4.62 KgCO/m<sup>2</sup>, respectivamente. El Manglar con 2.28 KgCO/m<sup>2</sup>, la Selva Mediana Subperennifolia con 1.73 KgCO/m<sup>2</sup> y la Selva Baja Subcaducifolia con 0.94 KgCO/m<sup>2</sup>, son los tres tipos de vegetación en las que los Leptosoles presentan menos cantidad de CO.

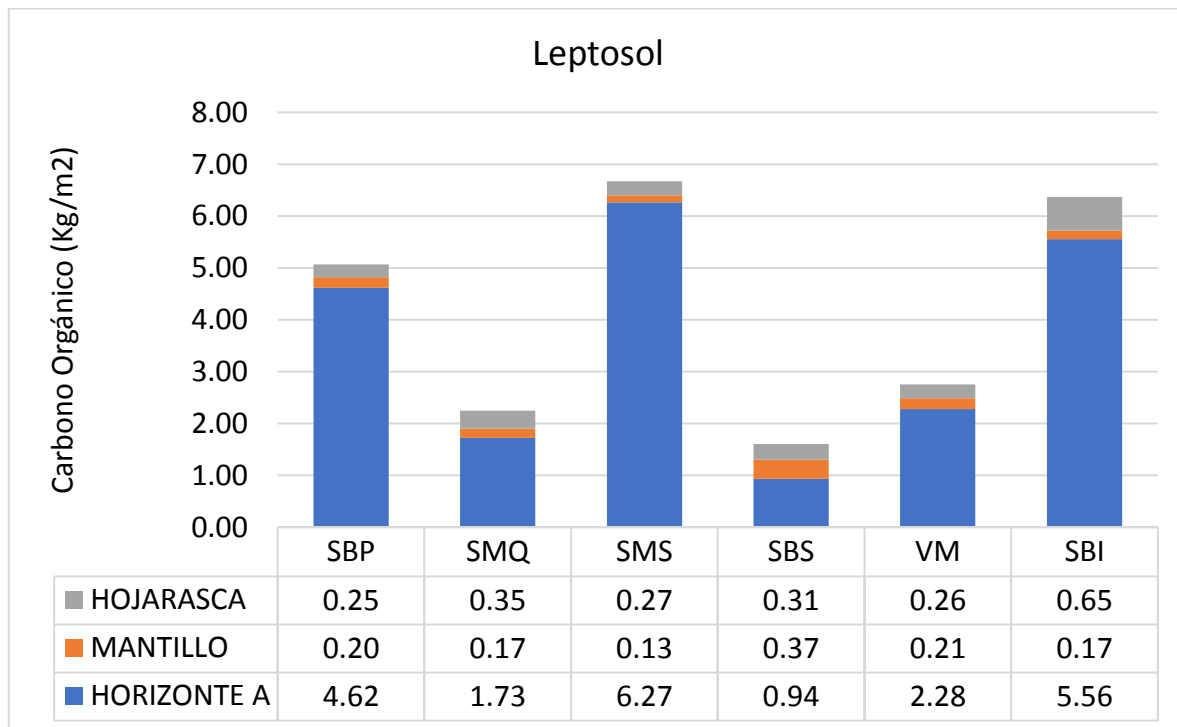


Figura 7. Cantidad de Carbono Orgánico (Kg/m<sup>2</sup>) en suelo Leptosol.

### c. Análisis de agrupamiento

Con los datos obtenidos de la cantidad de CO en KgCO/m<sup>2</sup>, al realizar el análisis de agrupamiento se obtuvieron cinco clases.

La clase 1 en su mayoría es Selva baja subperennifolia, con suelo Leptosol, presenta 3.23 KgCO/m<sup>2</sup> en el Horizonte A, en el Mantillo tiene 0.14 KgCO/m<sup>2</sup> y en la Hojarasca presenta 0.31 KgCO/m<sup>2</sup>. La clase 2 presenta un suelo tipo Gleysol con 5.14 KgCO/m<sup>2</sup>, 0.12 KgCO/m<sup>2</sup> en Mantillo y 0.21 KgCO/m<sup>2</sup> en Hojarasca. La clase 3 es representada por una vegetación de Selva baja subcaducifolia con suelo Leptosol, en el Horizonte A presenta 1.34 KgCO/m<sup>2</sup>, en Mantillo 0.19 KgCO/m<sup>2</sup>, y 0.30 KgCO/m<sup>2</sup> en Hojarasca. La vegetación de la clase 4 es la Selva Baja Inundable con suelo Vertisol, presenta 6.15 KgCO/m<sup>2</sup> en Horizonte A, 0.14 KgCO/m<sup>2</sup> en Mantillo y 0.39 KgCO/m<sup>2</sup> en la Hojarasca. Por último, la Selva Mediana Subperennifolia y el suelo Phaeozem representan a la clase 5, en cuanto al CO presenta 18.39 KgCO/m<sup>2</sup> en el Horizonte A, 0.14 KgCO/m<sup>2</sup> en el Mantillo y 0.23 KgCO/m<sup>2</sup> en la Hojarasca.

El dendrograma (Figura 8) nos permite diferenciar dos grupos de acuerdo con la cantidad de CO que se almacena en el Horizonte A.

El primer grupo que se puede diferenciar es el de la clase 1 y 3 en el que ambos presentan Selvas Bajas, en el caso de la clase 1 es Subperennifolia y en la clase 3 es Subcaducifolia. En las dos clases el suelo que los representa es el Leptosol. Ambas clases forman parte del grupo que menos KgCO/m<sup>2</sup> almacena en el Horizonte A.

El otro grupo está conformado por las clases 2, 4 y 5. La 2 y la 4 están representadas por selvas bajas, pero por suelos diferentes, Gleysols y Vertisols, respectivamente. Por último, en este grupo también está incluida la clase 5 ya que es la que más KgCO/m<sup>2</sup> almacena en el Horizonte A, su vegetación representativa es la Selva Mediana Subperennifolia con suelo Phaeozem.

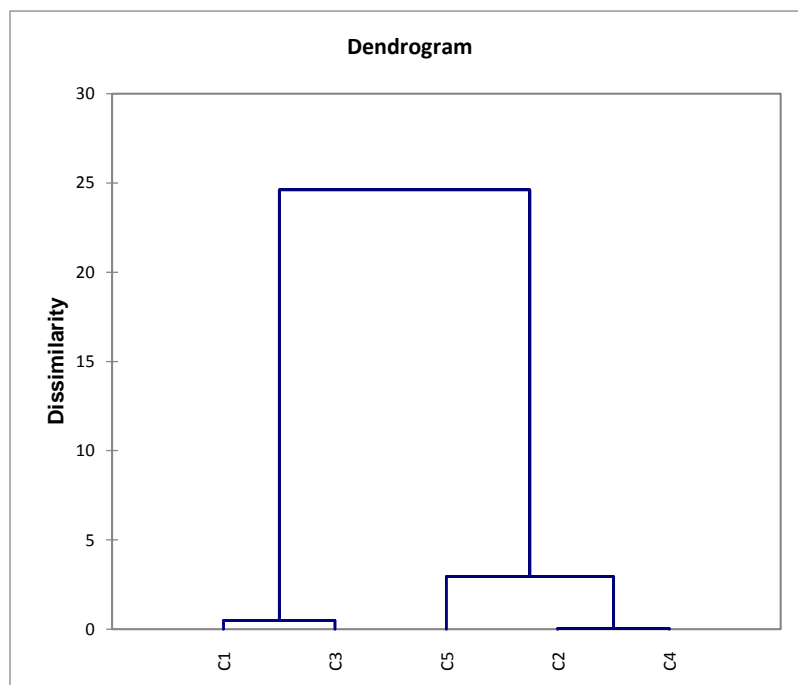


Figura 8. Dendrograma de agrupamiento de las muestras obtenidas de suelos.

En el Cuadro 2, se observa el número de objetos que se encuentran en cada clase, además de la suma de los pesos, la varianza dentro de la clase y la distancia mínima, promedio y máxima al centroide.

Clase	1	2	3	4	5
Objetos	19	5	12	7	1
Sema de pesos	19	5	12	7	1
Varianza interna	13.747	8.974	40.578	7.075	0.000
Distancia mínima al centroide	0.191	0.103	0.532	0.914	0.000
Distancia media al centroide	2.977	2.099	4.334	2.183	0.000
Distancia máxima al centroide	7.775	4.648	17.149	3.693	0.000

Cuadro 2. Descripción de las cinco clases obtenidas.

Este análisis es importante porque nos permite visualizar la existencia de dos clases o grupos principales, uno que tiene altos porcentajes de carbono y valores absolutos pequeños de acumulación de CO en el horizonte A y otro grupo con las condiciones



opuestas que en general tiene suelos de mayor profundidad de formaciones vegetales más ricas en taninos y de maderas más duras.

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El carbono se incorpora al suelo por la disponibilidad de materia orgánica que proviene principalmente de la vegetación y se puede perder en la atmósfera en forma gaseosa como CO<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub>. (Martínez et al., 2008) Sin embargo, el suelo no solo actúa como una fuente de carbono, sino también como reservorio de este, esta reserva se da cuando el carbono es transferido entre los depósitos superficiales, pasando por el horizonte O y acumulándose en el Horizonte mineral (A).

Según los datos de las transferencias que se obtuvieron, los suelos que más retienen carbono son los Phaeozems y los que menos carbono retienen y que están emitiendo más son los Fluvisols.

Un suelo de tipo Phaeozem con vegetación de Selva Mediana Subperennifolia presenta un comportamiento donde el porcentaje de CO del Horizonte O es menor que el del Horizonte A, esto significa que existe una gran transferencia de CO del Horizonte O al Horizonte A. Ecológicamente hablando se infiere que esta transferencia de carbono se debe a que las especies que existen en la Selva Mediana Subperennifolia, como lo son el ramón (*Brosimum alicastrum*), el chicozapote (*Manilkara zapota*) y el chacá (*Bursera simaruba*), son árboles de maderas duras, por lo que son ricos en taninos, lo que provoca que produzcan un humus que es difícil de degradar, lo que ocasiona que el CO se vaya transfiriendo de manera más eficiente al horizonte mineral. Cuando este tipo de suelo se encuentra en otro tipo de vegetación, como lo es la Selva Baja Espinosa, la Selva Mediana Subcaducifolia y la Selva Baja Subperennifolia, la transferencia del HO al HA es menor, posiblemente debido a que el humus formado es de más fácil oxidación.

En los Leptosols con asociación de Manglar es en donde la acumulación de carbono orgánico en el Horizonte A es mayor en comparación con las otras vegetaciones que tienen presencia de este suelo. Además, comparándolo con el suelo Solonchak que de igual forma tiene asociación con vegetación de Manglar, el Leptosol retiene una mayor cantidad de porcentaje en el Horizonte A, esto debido a que el Solonchak es un suelo salino donde los niveles de carbono orgánico son bajos debido a que no existe un crecimiento alto de vegetación y de que la Materia Orgánica se ve afectada en su descomposición por este factor. (Setia et al., 2011)

El suelo tipo Arenosol presentó porcentajes muy bajos en todas las coberturas vegetales en las que se presentó, esto debido a que son suelos con una textura gruesa, lo que provoca que exista muy baja capacidad de retener agua y de almacenar nutrientes, ya que es pobre en bases y en actividad biológica lo que ocasiona que la tasa de humificación sea escasa. (INEGI, 2004)

En el caso de los suelos Fluvisols, estos suelos presentaron bajo porcentaje de carbono en el Horizonte A, debido a que son suelos que presentan capas de arena con piedras o gravas redondeadas lo que ocasiona que no pueda retener agua ni nutrientes.

Se puede hacer una comparación, en la que nos damos cuenta que el suelo influye mucho en la acumulación de carbono, y no solo depende de la vegetación. Tal es el caso de los suelos Cambisol, Luvisol y Fluvisol, que presentan la misma vegetación de Selva Baja Subperennifolia, sin embargo, la diferencia en el porcentaje de carbono almacenado es muy notoria. El Cambisol y Luvisol presentaron porcentajes muy similares, esto porque tienen presencia de acumulación de arcilla. Los suelos arcillosos retienen más materia orgánica que los arenosos. (Matus et al., 2000)

El mangle rojo, debido al grosor de sus hojas y a la presencia de taninos en ellas, tiene una descomposición de MO más baja en comparación con el mangle negro, por lo que teóricamente sería el suelo del mangle rojo el que almacene más carbono. (Milena Agudelo et al., 2015). Sin embargo, en los resultados de transferencias se puede observar que es el mangle negro el que tiene un mayor

porcentaje de carbono que el mangle rojo en el horizonte A. Lo anterior puede ser por las características de los suelos. En el caso del mangle rojo, el suelo en el que se encuentra es el Regosol, en cambio el mangle negro presenta un suelo de tipo Histosol, que es un suelo con alto contenido de materia orgánica con una alta capacidad para retener humedad, lo que favorece una lenta descomposición, permitiendo que se vaya transfiriendo en los depósitos superficiales hasta el horizonte mineral.

## 9. DISCUSIÓN

En 2015 Bernal et al., realizaron un estudio de investigación en el que se estimó la captura de carbono (actual) en dos coberturas forestales de selva baja caducifolia la localidad El Suchual de Santa Ana, municipio de Tlatlaya, Estado de México, en el mantillo se obtuvo  $4.2 \text{ MgC/ha}^{-1}$ , comparándolo con la selva baja Subcaducifolia del estado de Quintana Roo, podemos ver que existe una gran diferencia, ya que el valor obtenido fue de  $0.14 \text{ Kg/m}^2$  ( $1.4 \text{ MgC/ha}^{-1}$ ).

Delgado-Carranza et al. (2017) en un estudio que realizaron en la Península de Yucatán en suelos de tipo Leptosol obtuvieron un valor medio de  $48.56 \text{ tC/ha}^{-1}$ , un valor por arriba de lo que se obtuvo aquí en Quintana Roo que fue de  $3.71 \text{ Kg/m}^2$  ( $37.1 \text{ tC/ha}^{-1}$ ).

Por otro lado la FAO (2002) reporta  $38 \text{ tC/ha}^{-1}$  para suelos tropicales secos y  $36 \text{ tC/ha}^{-1}$  para Lithic Leptosols.

El autor Sánchez- Junco et al. (2011) en su estudio realizado en Nuevo Campechito, Campeche sobre el carbono almacenado en suelo con asociación de mangle rojo determinaron que el CS fue de  $284,20 \text{ MgCha}^{-1}$  en la temporada de secas y el menor contenido en la temporada de nortes con  $255,54 \text{ MgCha}^{-1}$ , mientras que en este estudio realizado en Quintana Roo el COS en manglar fue de  $5.98 \text{ Kg/m}^2$  ( $59.8 \text{ MgC/ha}^{-1}$ ), un valor muy por debajo del obtenido en Campeche.

No existen muchos estudios en los que se haya determinado el CO en hojarasca, mantillo y suelo en zonas tropicales o kársticas, bajo distintos tipos de suelos y de vegetación. Y se puede observar que los resultados encontrados para Quintana Roo están por debajo de los reportados para otros estados o por otros autores.

## 10. CONCLUSIONES

El porcentaje de Carbono Orgánico que cada estrato presenta (Hojarasca, Mantillo y Horizonte A), es diferente en este estudio, el comportamiento que se observó fue que en la Hojarasca es donde más porcentaje de CO hay, seguido del mantillo y por último el Horizonte A.

Los porcentajes de Carbono en la Hojarasca y el Mantillo se comportan de manera similar.

Los suelos que presentaron mayor porcentaje de CO en los estratos hojarasca y mantillo son los Histosol, Fluvisol y Regosol, en cambio los que menor contenido presentaron en el caso de la hojarasca son el Luvisol, Gleysol y el Leptosol; en el mantillo son el Nitisol, Luvisol y Solonchak.

En cambio, en el horizonte A, son los Phaeozem, Luvisol e Histosol los que presentaron los contenidos más altos y los menores contenidos correspondieron a los Solonchaks y Fluvisols.

La vegetación es una de las razones que va a determinar cuánto CO se encuentra en un determinado lugar, en este estudio la vegetación que proporciona más porcentaje de CO en los tres estratos analizados es el Manglar negro.

Si consideramos a la hojarasca y el mantillo es el Manglar negro, Palmar y las Selvas Bajas (espinosa en la hojarasca y la inundable en el mantillo) los que presentan mayor porcentaje y la vegetación de Manglar el que aporta menor porcentaje. En cambio, en el horizonte A del suelo, los porcentajes más altos se encontraron en la Selva Mediana Subperennifolia, el Tular y el Mangle Negro junto con el Popal, y los valores con menor porcentaje lo tienen los Palmares junto con la Duna Costera.

En los resultados expresados en  $\text{KgCO}/\text{m}^2$  por tipo de suelo, existe una tendencia donde el que presenta mayor cantidad es el Horizonte A, seguido de la Hojarasca y por último el Mantillo.

Los suelos que transfirieron mayor cantidad de Carbono al Horizonte A son, el Phaeozem, Leptosol y Luvisol. Por otro lado, los que transfirieron menos CO son el Arenosol, Solonchak y el Fluvisol.

A pesar de que las Selvas bajas y el manglar concentran mayor masa de carbono en la superficie de los suelos, es bajo la vegetación de selva mediana subperennifolia en donde se presentan los mayores contenidos de CO en el horizonte A ya que en su mayoría son árboles de maderas duras ricas en taninos lo que provoca una descomposición más lenta de la materia orgánica.

De acuerdo con secuencias de transferencias se determinó que en Quintana Roo, son los suelos tipo Phaeozem junto con la vegetación de Selva Mediana Subperennifolia los que retienen y almacenan mayor contenido de carbono en el horizonte A, evitando así que sea emitido a la atmósfera como CO<sub>2</sub>.

Con el análisis de agrupamiento se determinaron dos grupos de acuerdo a los KgCO/m<sup>2</sup> que se acumulan en el horizonte A, el primer grupo presenta altos porcentajes de carbono, pero una poca acumulación de CO en el horizonte A, el otro grupo es lo opuesto a este primero, ya que son suelos con mayor profundidad y con vegetación que es rica en taninos y de maderas duras.

Conocer la disponibilidad de materia orgánica y de carbono almacenado en un ecosistema nos permite conocer la calidad del suelo y de esta manera aplicar acciones y estrategias para su conservación y/o manejo.

Este estudio da partida a que se realicen más investigaciones en diferentes zonas tropicales y kársticas sobre la transferencia de carbono en diferentes tipos de suelo y vegetación.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Arias, H., 2011. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica.
- Andrade, H.J., Madrigal, S., Rojas, A.S., 2016. Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. Vol 27, 233–241.
- Bautista, F., Palacio, G., Ortíz- Pérez, M., Batllori-Sampedro, D., Castillo- González, M., 2005. El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán., in: Caracterización Y Manejo de Suelos En La Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales Y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 33–58.
- Bautista-Hernández, J., Torres-Pérez, J., 2003. Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9, 69–75.
- Benjamín, J.A., Maser, O., 2001. Captura de Carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7.
- Bernal, I., Orozco, M.E., Míreles, P., 2015. Estimación de los almacenes de carbono en suelos forestales y uso agropecuario en la Localidad El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México.
- Cerda, R., Espin, T., Cifuentes, M., 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de talamanca, Costa Rica.
- Chuquizuta, P.D., Ruiz, G.F., Salas, C.T., López, L.A., 2016. Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. Rinderesu (Revista Internacional De Desarrollo Regional Sustentable) 1, 57–67.
- Conde, C., 2007. México y el cambio climático global. Semarnat, México.
- Consejo Estatal de Población, 2015. Encuesta Intercensal 2015 [WWW Document]. URL <http://qroo.gob.mx/segob/coespo/encusta-intercensal-inegi-2015> (accessed 11.6.17).
- Cuevas, R.S., Martínez, S.A., García, J.L., Román, D.F., 2015. Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) 5, 29–45.
- Cunalata, C., Inga, C., Alvarez, G., Recalde, C., Echeverría, M., 2013. Determinación del contenido de carbono orgánico total presente en el suelo y la biomasa (cobertura vegetal) de los páramos de las comunidades de Chimborazo y Shobol Llinllí en Ecuador.
- Delgado-Carranza, C., Bautista-Zúñiga, F., Calvo-Iraben, L.M., Guadalupe, Y., Aguilar-Duarte, J.G.M.-T., 2017. El carbono orgánico en Leptosols con distribución discontinua en la península de Yucatán The organic carbon stock in Leptosols with discontinuous distribution in the Peninsula of Yucatan.

- Ek, A.D., 2011. Vegetación, in: Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un Análisis Para Su Conservación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones -México, México, D.F.
- Eyherabide, M., Saínz, H., Barbieri, P., Echeverría, H.E., 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo* 32, 13–19.
- FAO, 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Food & Agriculture Org.
- Fragoso, D.G.G., 2011. Captura de Carbono en Cafetales de la Cuenca Alta del Río Pijijiapan, Chiapas. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Fragoso-Servón, P., 2015. Análisis espacial de los suelos de Quintana Roo con un enfoque geomorfoedafológico. Universidad de 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., Bautista, F., Pereira Corona, A., Zapata, G., 2017. Digital soil map of Quintana Roo, Mexico. *Journal of Maps* 13.
- García-Soria, D., Del Castillo-Torres, D., 2015. Estimación del almacenamiento de carbono y estructura en bosques con presencia de bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la comunidad nativa Bufe Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica* 22, 105–113.
- INEGI, 2004. Unidades y subunidades de suelo, in: Guía Para La Interpretación de Cartografía. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, pp. 11–20.
- IPCC, 2004. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.
- Kloster, N., Pérez, M., Bono, A., 2016. Análisis del carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana Argentina. *Ciencia del suelo* 34, 365–372.
- López, R.M., 2017. Valoración de carbono en la necromasa y suelo del bosque protector Aguarongo, provincia del Azuay, Ecuador (B.S. thesis).
- Martínez, E., Fuentes, E., Pablo, J., Acevedo, 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>
- Martínez, J.C., 2014. Almacenes de carbono edáfico en sistemas productivos en la comunidad de Cevatí, San José del Rincón, Estado de México.



Matus, F.J., G, M., R, C., 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica* 60, 112–126. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072000000200003>

Mena, V.E., Castañeda, H.J.A., Delgado, J.M., 2011. Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinales en Costa Rica. *Revista Agroforestería Neotropical* 1.

Milena Agudelo, C., Bolívar, J., Polanía, J., Urrego, L.E., Yepes, A., Sierra, A., 2015. Estructura y composición florística de los manglares de la bahía de Cispatá, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical* 63.

Ordoñez, J.A.B., 2008. Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Ciencias* 90.

Ordóñez, J.A.B., Masera, O., 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques* 7, 3–12.

Páliz, P.I.L., 2016. Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras. Municipalidad de San Antonio de Oriente/Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

Pérez-Ramírez, S., Ramírez, M., Jaramillo-López, P., Bautista, F., 2013. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* XIX, 157–173.

Pozo, C., Armijo, N., Calmé, S., 2011. Riqueza biológica de Quintana Roo: un análisis para su conservación. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd), México, D.F.

Protocolo de Kyoto, 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Robert, M., 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. FAO, Roma (Italia).

Rodríguez, M.G., Crespo, I.O., 2010. Formas kársticas comunes de los cenotes del Estado de Quintana Roo (México). M+A. *Revista Electrónica de Medioambiente* 15–35. <https://doi.org/10.5209/MARE.15875>

Rodríguez, R.A., Arbelo, C.D., Notario, J.S., Mora, J.L., Guerra, J.A., Armas, C.M., 2004. Contenidos y formas de carbono orgánico en andosoles forestales: aproximación a su dinámica. *Edafología. Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, SECS* 11, 67–102.

Sánchez, D.F., 2016. Evaluación del carbono almacenado en la biomasa, necromasa y carbono orgánico del suelo de tres diferentes hábitats en la Península de Osa, Costa Rica.

Sánchez- Junco, R.C., Damián- Hernández, D.L., Cerón- Bretón, R.M., Cerón- Bretón, J., Guerra- Santos, J.J., Rangel- Marrón, M., Zavala- Loría, J.C., 2011. Determinación del

carbono almacenado en suelo con asociación de mangle rojo en Nuevo Campechito, Campeche. UNACAR TECNOCENCIA 1–7.

Schlegel, B., 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde, in: Simposio Internacional Medición Y Monitoreo de La Captura de Carbono En Ecosistemas Forestales.

SEMARNAT, 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México.

Setia, R., Marschner, P., Baldock, J., Chittleborough, D., Smith, P., Smith, J., 2011. Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 19th International Symposium on Environmental Biogeochemistry 43, 1908–1916. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.013>

Torres-Rojo, J.M., Sanginés, A.G., 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta ecológica* 40–59.

Vilanova-Torre, E., Ramírez-Angulo, H., Torres-Lezama, A., 2010. El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como indicador del impacto del aprovechamiento de maderas en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia* 35.

Yáñez, A., Vargas-Mena Amescua, A., 2004. La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*.