

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Estimación de Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo, entre Rodales,
en un Bosque de *Pinus rudis*. en la Sierra el Coahuilón, Arteaga, Coahuila

Por:

ROCIO MADENI AREVALO MADRIGAL

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Estimación de Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo, entre Rodales,
en un Bosque de *Pinus rudis*. en la Sierra el Coahuilón, Arteaga, Coahuila

Por:

ROCIO MADENI AREVALO MADRIGAL

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO FORESTAL

Aprobada,

M.C. MELCHOR GARCÍA VALDEZ
ASESOR PRINCIPAL

M.C. JUAN MANUEL CEPEDA DOVALA
COASESOR

ING. SERGIO BRAHAM SABAG
COASESOR



DR. LEOBARDO BANUELOS HERRERA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo del 2015

Dedicatoria

A mis padres:

Magnolia Madrigal Pérez y Elio Arevalo Hernández. Este logro tan importante se los dedico con todo mi amor a ustedes, por haberme dado la vida, por todos sus consejos, por sus desvelos, por su confianza, por ser un ejemplo de lucha y este trabajo es para ustedes, esta es mi repuesta ante toda la confianza que depositaron en mí.

A mis Hermanos (as)

También dedico esta tesis a mis 11 hermanos, Adriana Isabel, Ubel, Luis Enrique, José Manuel, Erisel, Rubiel, Clary, Magalidia, Vianca, Velquis, johanner. Quiero decirles que fueron parte fundamental para concluir mi carrera, fueron un ejemplo para mí, siempre me demostraron que los sacrificios valen la pena, confiaron en mí y mantuvieron la unión familiar que siempre hemos tenido, de la cual me siento orgullosa, hermanos esta tesis se las dedico con todo mi amor.

Agradecimientos

A Díos:

Por darme la vida, por siempre guiarme en el camino correcto y permitir que lograra terminar mi carrera, por demostrarme que en momentos difíciles estabas a mi lado y quiero agradecerte dios de una forma especial, por permitir que este logro lo celebre con mis padres y todos mis hermanos.

A mí Alma Terra Mater:

Por a verme brindado los servicios que hicieron posible que yo terminara la carrera, por ser mi segundo hogar y brindarme durante 5 años muchos momentos de alegría.

A mis padres:

Magnolia Madrigal Pérez y Elio Arévalo Hernández, Por darme la vida, por su apoyo incondicional, por sus consejos, por preocuparse en todo momento por mi bienestar y gracias papa y mama por darme la oportunidad de estudiar una carrera, misma que hoy concluyo y me servirá para ser una persona de bien y tener un mejor futuro, gracias por todo su amor, por estar conmigo en momentos difíciles y por muchas tantas cosas buenas.

A mis hermanos (as):

Adriana Isabel, Ubel, Luis Enrique, José Manuel, Erisel, Rubiel, Clary, Magalidia, Vianca, Velquis y Johanner. Por su apoyo económico y moral, por compartir conmigo momentos difíciles, por sus consejos que me motivaban a seguir adelante, por la confianza que era lo que me impulsaba para no defraudarlos y por ser siempre un ejemplo para mí.

A mi hermana:

Velquis Elí Arevalo Madrígal, quiero hacer un agradecimiento especial para ti, por ser mi amiga, mi confidente, mi hermana y mi ejemplo a seguir, por demostrarme de que las cosas cuando se proponen se logran, por estar a mi lado estos 5 años compartiendo momentos de alegrías y de tristezas, por tus sabios consejo que me sirvieron y me seguirán sirviendo, gracia hermana sabes que te quiero mucho.

A mi novío

Antonio Santízo Sánchez, por sus consejos, por estar a mi lado en los momentos más difíciles, por su paciencia y su apoyo incondicional, gracias por creer en mí y dejarme compartir esta felicidad a tu lado.

Al M.C. Melchor García Valdez, por creer en mí, por sus consejos, por su atención y ayuda en el desarrollo de este estudio y por compartirme sus conocimientos.

Al Ingeniero Sergio Braham Sabag, por su ayuda en la realización de este estudio.

Al M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala, por su apoyo y disponibilidad para concluir este estudio y compartirme sus conocimientos.

Al M.C. Fidel Maximíno Peña Ramos, por su apoyo y disponibilidad para terminar este estudio y compartirme sus conocimientos.

A la T.A. Patricia Herrera Gaytán, por apóyame en los análisis de laboratorio, por su paciencia y disponibilidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Características del carbono.....	5
2.2 El papel de los suelos en el ciclo del carbono.....	7
2.3 Captura de Carbono en el suelo.....	11
2.4 Materia orgánica del suelo.....	14
2.5 Erosión de suelos.....	16
2.6 Relación carbono - nitrógeno en el suelo.....	17
2.7 Calentamiento global y Cambio climático.....	18
2.8 Gases de Efecto Invernadero.....	19
2.9 Protocolo de Kioto.....	22
2.10 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).....	23
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1 Descripción del área de estudio.....	24
3.1.1 Clima.....	25
3.1.2 Fisiografía.....	25
3.1.3 Geología.....	25
3.1.4 Edafología.....	26
3.1.5 Hidrología.....	26
3.1.6 Flora.....	27
3.2 Materiales.....	28

3.3	Metodología	30
3.3.1	Método para el muestreo de suelo en campo.	30
3.3.1.1	Profundidad del muestreo y número de muestras	30
3.3.2	Secado y tamizado de las muestras de suelo.	31
3.3.3	Método de laboratorio para análisis de carbono del suelo	32
3.3.4	Método para obtener densidad aparente del suelo.	36
3.3.5	Fórmula para determinar el carbono organico del suelo.	36
3.3.6	Análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo.....	37
3.3.6.1	Propiedades físicas del suelo	37
3.3.6.1.1	Textura	37
3.3.6.1.2	Densidad de solidos (Ds) por picnómetro.....	34
3.3.6.1.3	Porosidad	35
3.3.6.2	Propiedades químicas del suelo	36
3.3.6.1.3	PH	36
3.3.7	Método Estadístico.....	41
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
V	CONCLUSIONES.....	55
VI	RECOMENDACIONES	56
VII	LITERATURA CONSULTADA.....	57

Correo electronic; Rocio Madeni Arevalo Madrigal,
ross.bella@live.com.mx

INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1. Almacenamiento de carbono debajo y sobre la superficie.....	6
Figura 2. El ciclo terrestre del carbono: el carbono del suelo y el carbono global disponible.....	9
Figura 3. Gases de efecto invernadero.....	21
Figura 4. Ubicación geográfica del municipio de arteaga y del sitio experimental sierra el Coahuión.....	25
Figura 5. Región Hidrológica RH-24 Bravo-Conchos.....	27
Figura 6. Método de muestreo en zig zag.....	31
Figura 7. Secado y tamizado de las muestras.....	32
Figura 8. Peso de la muestra de suelo.....	28
Figura 9. Color que muestra la solución después de la oxidación de la materia orgánica.....	28
Figura 10. Color que muestra la solución del testigo antes de la titulación.....	29
Figura 11. Mililitros de sulfato ferroso gastado para la titulación de la muestra.....	29
Figura 12. Color rojo marrón que muestra la solución después del proceso de titulación.....	29
Figura 13. Triángulo de texturas.....	39
Grafica 1. Contenido de arena, limo y arcilla para el rodal 1.....	42
Grafica 2. Contenido de arena, limo y arcilla para el rodal 2.....	38
Grafica 3. Valores de pH para el del rodal 1.....	45
Grafica 4. Valores de pH para el del rodal 2.....	46
Grafica 5. Porcentajes de porosidad total (Pt) para el rodal 1.....	47
Grafica 6. Porcentajes de porosidad total (Pt) para el rodal 2.....	48
Grafica 7. Valores de densidad sólidos (Ds) para el rodal 1.....	49

Grafica 8. Valores de densidad sólidos (Ds) para el rodal 2.	50
Grafica 9. Resultados de Densidad aparente y porcentaje de materia orgánica para el rodal 1.	47
Grafica 10. Resultados de Densidad aparente y porcentaje de materia orgánica para el rodal 2.	48
Graficas 11. Correlación entre materia orgánica con carbono orgánico.	55
Grafica 12. Correlación entre densidad de sólidos y porosidad total.	56
Grafica 13. Comparación de carbono orgánico en el suelo (COS) entre rodales de estudio.	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de COS promedio de las Regiones Ecológicas Mayores de México.....	6
Cuadro 2. Parámetros de la relación carbono / nitrógeno C:N.....	17
Cuadro 3. Los seis gases de efecto invernadero considerados por el Protocolo de Kioto.....	19
Cuadro 4. Clasificación de clases texturales.....	39
Cuadro 5. Resultados de densidad aparente D_a y materia orgánica, para los dos rodales evaluados.	51
Cuadro 6. Matriz de correlación entre las propiedades físicoquímicas del suelo.	49
Cuadro 7. Resultados de COS ($Mg\ ha^{-1}$) en cada sitio de muestreo para el rodal 1.....	56
Cuadro 8. Resultados de COS ($Mg\ ha^{-1}$) en cada sitio de muestreo para el rodal 2.....	57
Cuadro 9. Medias de Contenido de Carbono orgánico en suelo ($Mg\ ha^{-1}$), por rodal.....	53

RESUMEN

El almacenamiento de carbono en el suelo, es el proceso de transformación del carbono del aire al carbono orgánico. En México se conoce muy poco sobre la dinámica de acumulación de carbono orgánico en el suelo (COS). Es por eso que el objetivo del presente estudio es comparar la concentración de carbono orgánico en el suelo entre rodales, en un bosque de *Pinus rudis*.

El estudio se realizó en la sierra el Coahuilón, perteneciente al Municipio de Arteaga, Coahuila. Se establecieron dos rodales: bosque de regeneración y bosque maduro, para ambos rodales se seleccionaron 5 has. Se realizó un muestreo en zig zag, en donde se obtuvieron 8 muestra de suelo por rodal, es decir, un total de 16 muestras. Todas las muestras se obtuvieron a una profundidad de 0-20 cm; el porcentaje de materia orgánica en el suelo se calculó utilizando el Método de Walkley-Black 1934, la densidad aparente se determinó a través del método de la probeta. Para calcular el carbono orgánico del suelo se utilizó la ecuación propuesta por acosta por Acosta (2003): $COS = PC \times Da \times P$. COS: Carbono orgánico del suelo (Mg/ha), PC: Carbono en el suelo (%), Da: Densidad aparente (gr/cm³), P: Profundidad del suelo (cm).

Los resultados mostraron que existe diferencia significativa entre rodales, siendo el bosque maduro el que más carbono orgánico almacena. El promedio de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) para el rodal 1. Bosque de regeneración, fue 44.2338 (Mg ha⁻¹) y el rodal 2. Bosque maduro, almacena en promedio 70.6629 (Mg ha⁻¹). El bosque maduro tiene la ventaja de tener muchos más años almacenando materia orgánica, en comparación con el bosque de regeneración, es por eso que el contenido de carbono orgánico es mayor.

Palabras claves: Bosque maduro, bosque de regeneración, carbono orgánico,

Pinus rudis, rodales.

ABSTRACT

Carbon storage in soil, is the transformation of organic carbon to carbon air. In Mexico, very little is known about the dynamics of accumulation of organic carbon in the soil (COS). That is why the objective of this study is to compare the concentration of organic carbon in the soil from stands in a forest of *Pinus rudis*.

The study was conducted in the Coahuilón sierra, in the municipality of Arteaga, Coahuila. two stands were established: forest regeneration and mature forest, for both stands 5 hectares were selected. sampling zigzag, where soil sample 8 were obtained by the stand, that is, a total of 16 samples was performed. All samples were obtained at a depth of 0-20 cm; the percentage of organic matter in the soil was calculated using the method of Walkley-Black 1934, the bulk density was determined by the method of the specimen. $COS = PC \times Da \times P$. COS: soil organic carbon (Mg / ha), PC: the equation proposed by Acosta Acosta (2003) was used to calculate the soil organic carbon in soil carbon (%), Da: Bulk density (g / cm³), P: Soil depth (cm).

The results showed that there are significant differences between stands, being the mature forest that more organic carbon stored. The average storage of soil organic carbon (SOC) to the stand 1. Forest regeneration was 44.2338 (Mg ha⁻¹) and the stand 2. mature forest stores an average of 70.6629 (Mg ha⁻¹). The mature forest has the advantage of having many more years storing organic matter compared to the forest regeneration is why the organic carbon content is higher.

Key words: mature forest, forest regeneration, organic carbon, *Pinus rudis*, stands.

I INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido al gran impacto negativo que está causando en condiciones climáticas, actividades económicas, en el bienestar del ser humano, en la capacidad de los ecosistemas para seguir proveyendo productos y servicios ambientales, y en el futuro el impacto será aún mayor. (Warner, *et al.*, 2006; Eguren, 2004).

El cambio climático global va mucho más allá de una modificación climática. Afecta al conjunto de interrelaciones e interconexiones que vinculan los procesos y autorregulan al Sistema Tierra. Debe más bien denominarse y entenderse como un cambio global (Warner, *et al.*, 2006).

El cambio climático es inducido principalmente por gases de efecto invernadero, como el metano, el óxido nitroso y el dióxido de carbono, al incrementar su concentración en la atmósfera (Ibrahim *et al.*, 2007). Las concentraciones de estos gases se deben principalmente a la combustión de fuentes de energía fósiles, el cambio de uso de suelo y las actividades industriales. Esto quiere decir que también somos parte del problema. (SEMARNAT, 2009). El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI antropógeno más importante. Sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. (IPCC, 2007).

La segunda causa del proceso de acumulación de CO₂ en la atmósfera es el cambio de uso del suelo. La deforestación anual se calcula en 17 millones de hectáreas, lo que significa una liberación anual de cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono por año; es decir, cerca del 20% del total de las emisiones antropogénicas. (Montoya, *et al.*, 1995).

Los cambios de uso de la tierra y de la cubierta terrestre, influyen en los flujos de carbono y en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que alteran directamente la composición de la atmósfera (OMM, 2006).

Los gases de invernadero podrían reducirse a través de dos procesos: reducción de emisiones antropogénicas de CO₂ o creación y/o mejoramiento de los sumideros de carbono en la biosfera. La forestería puede contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, el secuestro y almacenamiento y la sustitución de carbono (IPCC, 2001).

Un proceso importante para mitigar efectos del cambio climático es la acumulación de carbono orgánico en el suelo (COS), ya que el suelo, además de ser un sumidero, es un reservorio de carbono estabilizado (Etchevers et al., 2006). Los suelos contienen más carbono que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera; el carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica. (FAO, 2002).

El aumento de almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres, se ha promovido como un medio por el cual grandes cantidades de CO₂ pueden ser removidos de la atmósfera. En el pasado había opiniones variadas respecto a si la captura de carbono en los suelos sería realista, práctica y una opción a largo plazo. En los últimos años, se ha acumulado evidencia en favor de esos aspectos. (Jiménez *et al*, 2012).

La mayoría del carbono entra a los ecosistemas vía fotosíntesis, siendo más evidente el almacenamiento cuando se da en la biomasa superficial; sin embargo los suelos son los que poseen la mayor cantidad de este elemento, ya que más de la mitad del que es asimilado finalmente llega a la parte subterránea por medio del crecimiento, el movimiento y los exudados de las raíces de las plantas, además de la descomposición de hojarasca (Montagnini y Nair, 2004).

1.1 Objetivos

Objetivo general

- Comparar la concentración de carbono orgánico en el suelo, entre rodales, a una profundidad determinada, en un bosque de *Pinus rudis*.

Objetivos específicos

- Estimar el almacenamiento de carbono orgánico a una profundidad de 0-20 en un bosque de *Pinus rudis*.
- Determinar propiedades físico-químicas del suelo en los dos rodales de estudio.
- Determinar la correlación existente entre propiedades físicas y químicas del suelo.

1.2 Hipótesis

H_0 .

No existe variación significativa en la concentración de carbono orgánico en el suelo entre rodales.

Ha.

Existe variación significativa en la concentración de carbono orgánico en el suelo entre rodales.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características del carbono

El carbono (C) es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos presente en el planeta, se encuentra almacenado en cinco grandes depósitos (reservorios); las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal (Gallardo y Merino, 2007; Rüginitz *et al*, 2009), Los sistemas terrestres acumulan muy diferente cantidad de Carbono orgánico edáfico (COS), dependiendo fundamentalmente de las diferentes condiciones climáticas (que, a su vez, afectan a la actividad de los microorganismos del suelo responsables de la descomposición de los restos vegetales y de la materia orgánica del suelo (MOS), independientemente de la cantidad de biomasa vegetal (García-Oliva *et al.*, 2006).

El carbono de los sistemas terrestres usualmente se fracciona en cuatro principales componentes: Biomasa aérea (compuesta por arbustos, hierbas, por árboles y arbustos que se componen de troncos, de corteza, de ramas y hojas), sistemas radiculares, mantillo (hojarasca y pequeños organismos animales) y Carbono orgánico edáfico (Locatelli y Leonard, 2001; Snowdon *et al.*, 2002).

Masera *et al.* (2000). Definen al carbono en el suelo, como el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal: este suelo es originado por fragmentación de la roca madre expuesta (materia parental), donde se establece un organismo vegetal, que a lo largo del tiempo va formando capas por depósitos de materiales, las que al irse acumulando y compactando, almacenan una cierta cantidad de carbono misma que se incrementará por la continuidad del proceso de formación del suelo.

Dentro del suelo se pueden contemplar diferentes subsectores de carbono orgánico en el suelo (COS), delimitando los horizontes húmicos (Ah) y minerales (B, C). A los anteriores hay que añadir otro compartimento diferente que es el carbono orgánico del mantillo forestal; se le suele denominar horizonte L u O), que varía de acuerdo con dos factores, la producción anual (caída natural de la hojarasca) y la descomposición del mantillo (Bravo *et al.*, 2007; Oliva y García-Oliva, 1998). El contenido de carbono en los suelos del mundo es cerca de tres veces superior al contenido en la vegetación. Por este motivo, el carbono orgánico del suelo desempeña un papel crítico en el balance global del carbono (Gallardo y Merino, 2007).

Cuadro 1. Contenido de COS promedio de las Regiones Ecológicas Mayores de México. (Segura *et al.*, 2005).

Región ecológica	Extensión %	COS (Mg ha ⁻¹)	Contribución total %
Bosques de coníferas y encinos.	22.32	65.5	27.24

Bosques mesófilos de montaña.	0.84	104.9	1.64
Chaparrales	0.61	30.6	0.35
Manglares	1.43	106.1	2.84
Matorrales espinosos	4.30	30.0	2.40
Matorrales submontanos	1.25	55.5	1.29
Matorrales xerófilos	39.86	24.0	17.83
Pantanos	0.32	62.0	0.37
Pastizales	0.18	21.4	0.07
Selvas húmedas	11.21	110.5	23.07
Selvas secas	17.68	69.6	22.91

COS = carbono orgánico del suelo.

2.2 El papel de los suelos en el ciclo del carbono

Los aspectos del ciclo del carbono estudiados en México están asociados principalmente a la biomasa aérea (Acosta Mireles et al., 2002; García-Oliva y Masera, 2004), pero poco se conoce sobre la dinámica de acumulación de COS (García-Oliva y Masera, 2004; Luis-Mejía *et al.*, 2007).

El ciclo de carbono comienza con la fijación del bióxido de carbono (CO₂) atmosférico, a través de los procesos de fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el bióxido de carbono y el agua se reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el bióxido de carbono es liberado como producto de este proceso, lo hace a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte son consumidos por los animales, que también respiran y liberan bióxido de carbono. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del

suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera. (Smith *et al.*, 1993).

Oliva y García (1998), mencionan que en los ecosistemas terrestres, la vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación y el suelo debe ser biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente. Este flujo involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases atmósfera planta suelo (figura 1).

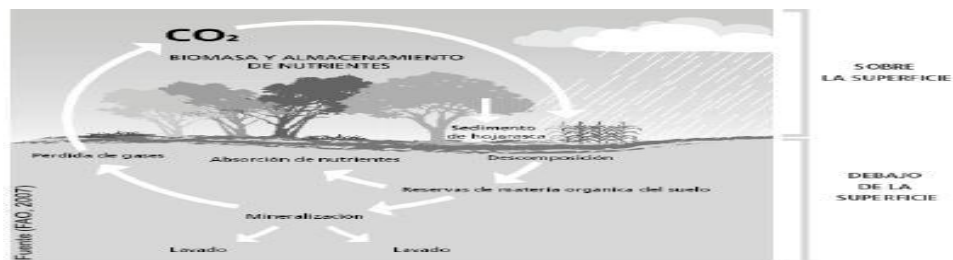


Figura 1. Almacenamiento de carbono debajo y sobre la superficie.

En la figura anterior se muestra que los principales componentes de almacenamiento de carbono, en el uso de la tierra son: el carbono orgánico del suelo (COS) y la biomasa aérea. La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis, de igual manera, el suelo participa en el reciclaje y almacén de carbono en estos sistemas (Andrade e Ibrahim, 2004; FAO, 2002; Ibrahim *et al.*, 2007).

El ciclo terrestre del carbono se presenta en la Figura 2. En este ciclo, el carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera, y se estima que se almacena cerca de 1 500 Petagramo (Pg) de Carbono a 1 metro (m) de profundidad (Pg = 1000, 000,000 de tonelada de

carbono almacenado). El carbono inorgánico representa cerca de 1 700 Pg pero es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos. (FAO, 2002).

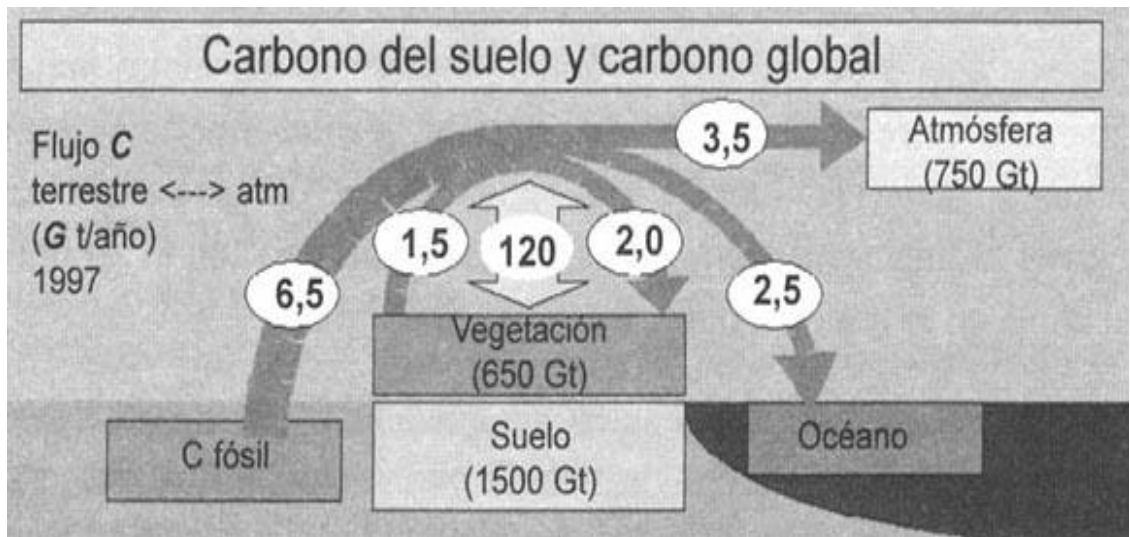


Figura 2. El ciclo terrestre del carbono: el carbono del suelo y el carbono global disponible.

El carbono presente en el suelo, está ampliamente relacionado al proceso de descomposición de la biomasa por las actividades bacterianas. Parte del carbono presente en el suelo, regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización del carbono orgánico. De forma natural, otra parte

del carbono orgánico es llevado por los ríos hasta llegar a los océanos, donde se deposita en forma de carbonatos (CO_3) (Rügnitz *et al*, 2009).

Saugier y Pontailier (2006). Mencionan que en el curso de tiempos geológicos, la absorción del CO_2 por la fotosíntesis y la incorporación de grandes cantidades de carbono en las rocas sedimentarias, redujeron progresivamente el contenido de CO_2 del aire.

Una parte importante del ciclo del carbono, es la biodegradación de polímeros de origen vegetal por medio de las poblaciones microbianas. Las plantas son la principal fuente de carbono orgánico en el suelo y los microorganismos son los principales responsables de la degradación de polímeros estructurales (Oliva y Garcia-Olivas, 1998).

Oliva y García-Oliva (1998), mencionan que el resultado de la actividad microbiana es una transformación de carbono, el cual puede ser:

- a) Reintroducción a la atmósfera como CO_2 , resultado de la respiración microbiana;
- b) Formación de compuestos orgánicos más sencillos, fácilmente aprovechables por otras poblaciones microbianas;
- c) Producción de biomasa y compuestos microbianos, tales como enzimas; y
- d) Formación de material húmico estable por medio de uniones con compuestos inorgánicos del suelo. Algunos de los polímeros reciclados mediante la degradación microbiana en el suelo son: celulosa, hemicelulosa y lignina.

2.3 Captura de Carbono en el suelo

En el pasado había opiniones variadas respecto a si la captura de carbono en los suelos sería realista, práctica y una opción a largo plazo. En los últimos años, se ha acumulado evidencia en favor de esos aspectos (Jiménez *et al.*, 2012).

El secuestro de carbono en el suelo es el proceso de transformación del carbono del aire al carbono orgánico, almacenado en el suelo. A través del secuestro de carbono, los niveles de CO₂ atmosférico pueden reducirse en la medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan (Jiménez *et al.*, 2012).

La captura de carbono puede ayudar a resolver algunos de los graves problemas ambientales que enfrentamos: el cambio climático, efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono. Es posible retirar el CO₂ de la atmósfera, mediante su captura y retención con acciones adecuadas y su efecto benéfico dependerá del tiempo que el CO₂ se mantenga almacenado en las plantas, árboles, o productos de madera (SEMARNAT, 2004).

La captura de carbono adquiere una importancia crucial: ya que puede contribuir a mantener en equilibrio la temperatura de la tierra disminuyendo la acumulación de CO₂ en la atmósfera. Su efecto benéfico dependerá del tiempo que el carbono se mantenga almacenado en la biomasa de los diversos ecosistemas ya que permitirá que el carbono también se concentre en el suelo (Maser *et al.*, 2000).

El aumento de almacenamiento de carbono en los ecosistemas terrestres, se ha promovido como un medio por el cual grandes cantidades de CO₂ pueden ser removidos de la atmósfera (Jiménez *et al.*, 2012).

Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos que contienen cerca del 40 por ciento del total del carbono- son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques (FAO, 2002).

La captura de carbono es un importante servicio ambiental que proporcionan bosques y selvas. Su relevancia es de primer orden, porque se relaciona con los más graves problemas ambientales que hoy afectan al planeta en su conjunto: el cambio climático, el efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono (SEMARNAT, 2004).

La acumulación de carbono del suelo (CS) es un proceso importante para mitigar el efecto del cambio climático, ya que la superficie terrestre, además de ser un sumidero, es un reservorio de carbono estabilizado (Etchevers et al., 2006).

Uno de los sumideros terrestres más importantes del almacenamiento de carbono y del intercambio con el CO₂ atmosférico, es el carbono orgánico del suelo (COS), y la Agricultura de Conservación puede desempeñar un papel importante en su aumento, mejorando al mismo tiempo la calidad ambiental en los sistemas de producción, (Reicosky, 2007)

La finalidad principal de la fijación del carbono en el suelo, no solo está relacionada con el cambio climático, sino también con la reducción de la contaminación medioambiental y con la degradación de los recursos naturales, y en definitiva con la salud y el bienestar de la sociedad (De Benito y Sombrero, 2008).

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales, representa el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1500 Pg). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca del 40% del total del carbono) son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. (Zambrano *et al.*, 2004).

La captura y retención de carbono en el suelo depende de factores definidos, limitantes o reductores. Los factores definidos se refieren al origen del material parental, las características geomorfológicas (pendiente y orientación de ladera) y a la composición mineral del suelo. Estas características están asociadas con la textura, profundidad, densidad aparente, fragmentos de roca, drenaje y grado de erodabilidad (Fisher, 2000; Robert, 2001). Los factores limitantes son la producción primaria neta, la composición del bosque y el clima (temperatura y humedad); mientras que los factores reductores incluyen la erosión, deforestación y uso del suelo, los cuales pueden disminuir la acumulación de carbono en el suelo (Fisher, 2000).

Varios estudios han demostrado que en ecosistemas forestales aproximadamente 50 % del carbono se encuentra en los primeros 40 cm de suelo (Post y Kwon, 2000). Sin embargo, un estudio a escala mundial mostró que los bosques de coníferas almacenan 47 % del COS en los primeros 20 cm del suelo, y que los bosques de latifoliadas contienen 52 % de COS a esa misma profundidad (Jobbágy y Jackson, 2000).

2.4 Materia orgánica del suelo

Se conoce como materia orgánica del suelo a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. En la materia orgánica del suelo se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. (Jiménez *et al.*, 2012).

El almacenamiento en los ecosistemas terrestres está limitado principalmente a la madera de los árboles y a la materia orgánica de los suelos, que juntas representan una reserva de carbono, que es alrededor de tres veces la reserva de carbono del CO₂ atmosférico (Saugier y Pontailier, 2006). Los suelos de México tienen en promedio, 1.8 % de Carbono Orgánico (CO) (3.1 % de materia orgánica del suelo), lo que representa un contenido total de 10.5 Pg de carbono orgánico (Segura *et al.*, 2005).

Fisher (2000). Menciona que el carbono en el suelo puede estar presente en dos formas: Carbono Orgánico del Suelo (COS) y Carbono Inorgánico del Suelo (CIS). El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS).

Este mismo autor divide la materia orgánica del suelo (MOS) en dos grupos: húmico y no húmico. Las sustancias húmicas son del 60 al 80% del total de la MOS y las más resistentes al ataque de los microorganismos. Las sustancias húmicas pueden ser clasificadas en tres subgrupos: ácido fúlvico, ácido húmico y huminas.

El grupo de sustancias no húmicas, corresponde del 20 al 30 % de materia orgánica. Estos compuestos son menos complejos y resistentes al ataque de microorganismos. Tienen características físicas bien definidas. Algunas de estas sustancias son modificadas solamente por la acción de microorganismos mientras que otras son sintetizadas por los mismos. Entre las sustancias no húmicas están los polisacáridos, los ácidos orgánicos, los materiales proteicos y las poliuronidas (Fisher, 2000).

Las condiciones climáticas, especialmente temperatura y precipitación, influyen en la cantidad de MOS. El contenido de materia orgánica aumenta a medida que la temperatura disminuye. La humedad de suelo también tiene un efecto positivo en la acumulación de MOS: a medida que la humedad en el suelo se incrementa, la MOS también lo hace (Fisher, 2000).

La producción de CO₂ puede cambiar con la calidad del material orgánico aportado al suelo (Delaney et al., 1996; Arrigo et al., 2002) y con las variaciones estacionales definidas por el clima (Swift et al., 1979).

2.5 Erosión de suelos

El Suelo es un recurso natural no renovable, por lo complejo y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado o deteriorado física o químicamente, sin embargo en México el suelo es un patrimonio subestimado, un recurso que hemos malgastado y cuya pérdida, de continuar, pone en peligro nuestra viabilidad como nación. La falta de atención y regulación de su uso se refleja, en los altos niveles de degradación y las repercusiones sociales, económicas y ambientales, que aunque graves no se han valorado en su totalidad, estudios recientes indican que el 64% de los suelos de México presentan problemas de degradación en diferentes niveles que va de ligera a extrema donde 13% son terrenos desérticos o rocosos y zonas abandonadas o improductivas y solo el 23% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen actividades productivas sustentables sin degradación aparente (CONAGUA, 2007).

La erosión del suelo, favorecida por la disminución de la materia orgánica en el suelo MOS y de los residuos orgánicos que cubren el suelo, disminuye la capacidad productiva del sistema. La erosión es comúnmente apreciada ya que hay remoción física de suelo perdiéndose parte de la capa superficial. La productividad del suelo baja en función a la magnitud de suelo removida por erosión ya que son las capas más superficiales del suelo las que concentran la mayor concentración de carbono y de nutrientes (Acevedo y Martínez, 2003).

Una reducción del contenido de materia orgánica en el suelo (MOS), puede generar un efecto perjudicial en el medio ambiente debido a que frecuentemente resulta en una disminución de la fertilidad, aumento de la erosión, disminución del rendimiento, infiltración de agua, y capacidad de retención de agua del suelo (Reicosky et al., 1997).

nitrógeno en el suelo

La relación carbono nitrógeno es considerada como la cantidad de carbono con respecto a la cantidad nitrógeno que tiene un material (Román *et al.*, 2013).

El carbono es aproximadamente el 50% de la masa celular, así como fuente de energía metabólica. El Nitrógeno es un componente decisivo de las proteínas. Las bacterias, cuya biomasa está formada en un 50 % por proteínas, necesitan mucho Nitrógeno para su rápido desarrollo (Álvarez, 2010).

Para que los microorganismos trabajen de manera adecuada deben tener a su disposición una buena cantidad y relación de nutrientes (macro y micro). La más importante es la de carbono/nitrógeno, por ser macronutrientes, la cual para procesos de biorremediación va de 10:1 a 30:1. Aunque con relaciones mayores la atenuación natural ocurre a velocidades menores, gracias a bacterias fijadoras de nitrógeno, según informan (Acuña *et al.*, 2008).

Cuadro 2. Parámetros de la relación carbono / nitrógeno C:N.

C:N	Causas Asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 – 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín).

		amoniac liberado.	
--	--	-------------------	--

Fuente: Román *et al.*, 2013.

2.7 Calentamiento global y Cambio climático

El cambio climático es definido por la alteración de manera significativa a nivel global de todos los factores del clima, debido a un incremento en la concentración de los gases de invernadero (GI) en la atmósfera. En su cuarto Informe de Evaluación el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por su siglas en inglés), presentó pruebas irrefutables en el sentido que el clima mundial está cambiando debido a las actividades antropogénicas principalmente, y es a partir de la revolución industrial que se observan esos cambios en la alteración de los patrones del clima, debido principalmente por la combustión de combustibles fósiles. (IPCC, 2007).

La energía que genera el Sol es una de las fuerzas motoras del clima en nuestro planeta. Al llegar a la Tierra, calienta la superficie y hace que el planeta refleje una parte de la energía recibida hacia el espacio; aproximadamente la tercera parte de la radiación solar que incide en el planeta es devuelta al espacio. De las dos terceras partes restantes, la mayoría es absorbida por la tierra y los océanos y el resto por la atmósfera. Así, se calienta la superficie de la Tierra y emite una radiación infrarroja (Warner *et al.*, 2006).

El cambio climático es un problema mundial que afecta los procesos ecológicos, económicos y sociales que rigen el planeta (IPCC, 2001). El cambio

climático es inducido principalmente por gases de efecto invernadero como el metano, el óxido nitroso y el dióxido de carbono, al incrementar su concentración en la atmósfera (Ibrahim *et al.*, 2007).

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial, es el cambio climático derivado del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero mismos que provocan el incremento de la temperatura global de la atmósfera (Zamora, 2003).

El cambio climático es un tema que mayor cantidad de actividad científica y política internacional ha generado y refiriéndose exclusivamente al terreno medio ambiental, es sin duda el aspecto de mayor alcance jamás planteado a escala mundial (Protocolo de Kioto, 1994).

2.8 Gases de Efecto Invernadero

Por su definición se denomina efecto invernadero, al fenómeno natural por el cual la atmósfera y los gases que la componen retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentada por la radiación solar (Monkhouse, 1978).

Salati (1990), determina que, nuestro planeta está rodeado por una delgada capa de gases denominada atmósfera. Esta atmósfera, se compone actualmente por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.03%) y otros gases en cantidades menores como helio, neón, xenón.

El efecto invernadero es natural y es esencial para la vida del planeta: sin los GEI la temperatura media de la Tierra sería unos 33 °C menos, lo que haría imposible la vida en la tierra. Los científicos consideran que los aumentos en las concentraciones de estos gases se deben principalmente a la combustión de fuentes de energía fósiles, a actividades industriales y a la deforestación. El dióxido de carbono se libera a la atmósfera cuando se queman combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), basura sólida y madera o material vegetal. El metano se origina durante la producción y transporte de carbón, gas natural e hidrocarburos, así como por la descomposición de desperdicios orgánicos en los rellenos de basura (inclusive los rellenos sanitarios) y la producción de ganado. El óxido nitroso es producto de actividades agrícolas e industriales, así como de la quema de basura y combustibles fósiles (Warner *et al.*, 2006).

El efecto invernadero se debe a que ciertos gases en la atmósfera, permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que absorben y remiten parte de la radiación infrarroja que el planeta emite de regreso al espacio exterior. Figura (3). Cuanto mayor es la concentración de los gases de invernadero, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta emite libremente al espacio exterior. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta (Zamora, 2003)



Figura 3. Gases de efecto invernadero

La cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera pueden influenciar las temperaturas mundiales, por lo tanto, si estos gases aumentaran en su concentración en la atmosfera, la temperatura a nivel global tenderá a subir; en cambio, si estas concentraciones disminuyen la temperatura global también bajará (Ciesla, 1996).

Cuadro 3. Los seis gases de efecto invernadero considerados por el Protocolo de Kioto.

GEI	Composición molecular	ORIGEN
Bióxido de carbono	CO ₂	Quema de combustibles fósiles, incendios forestales.
Metano	CH ₄	Cultivo de arroz, producción pecuaria,

		residuos municipales, emisiones fugitivas.
Óxido nitroso	N ₂ O	Uso de fertilizantes, degradación de suelos.
Per-fluoro-carbonos	PFC	Refrigerantes industriales, aire acondicionado, solventes, aerosoles
Hidro-fluoro- carbonos	HFC	Refrigerantes industriales, aire acondicionado, solventes, aerosoles
Hexa-fluoruro de azufre	SF ₆	Refrigerantes industriales

2.9 Protocolo de Kioto

ARTÍCULO 3.3

Los cambios netos en las emisiones de gas de invernadero por las fuentes y la absorción por los sumideros que se deban a la actividad humana directamente relacionada con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura, limitada a la forestación, reforestación y deforestación desde 1990, calculadas como variaciones verificables del carbono almacenado en cada período de compromiso, serán utilizadas a los efectos de cumplir los compromisos de cada Parte incluida en el Anexo 1 dimanantes del presente artículo. Se informará de las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero que guarden relación con esas actividades de una manera transparente y verificable (Protocolo de Kioto, 1998).

2.10 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El Mecanismo de Desarrollo Limpio es regulado y supervisado por el Consejo Ejecutivo de MDL de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (<http://cambioclimatico.inecc.gob.mx>). El Mecanismo de Desarrollo Limpio es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su compromiso de reducción propio (IPCC, 2001).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio.

El sitio de estudio en donde fueron colectadas las muestras de suelo, es en un bosque de *Pinus rudis* en la Sierra denominada El Coahuilón, perteneciente al ejido Mesa de las tablas, municipio de Arteaga, Coahuila. Aproximadamente a unos 80 kilómetros al sw. De Saltillo, Coah. Con un rango altitudinal de 2400 a los 3560 m.s.n.m. Presenta laderas de exposición Norte y Sur, con pendientes muy pronunciadas de 10 a 70 %, la sierra El Coahuilón se encuentra entre las siguientes coordenadas 25°14'38"N y 100°23' 20" W (CETENAL, 1976).

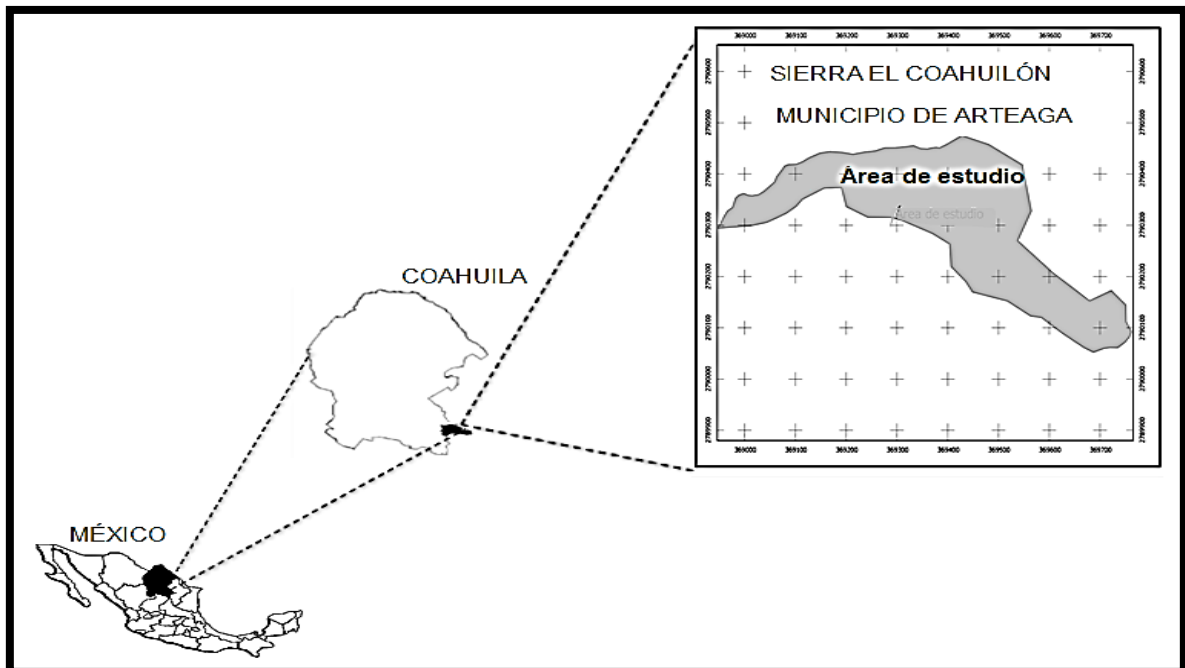


Figura 4. Ubicación geográfica del municipio de arteaga y del sitio experimental sierra el Coahuión.

3.1.1 Clima

Presenta un clima templado subhúmedo (C(w1)), con veranos frescos largos, temperatura media anual entre 5° C y 12 °C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2% del total anual. (Martínez, 2006; CONABIO, 1998).

3.1.2 Fisiografía

La superficie de interés se ubica dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y comprende parte de las subprovincia fisiográfica Gran Sierra Plegada. En el área destaca un sistema de sierras plegadas flexionadas, con bajadas formadas entre las serranías. (Martínez, 2006).

3.1.3 Geología

Las rocas que se encuentran en el área datan desde las eras geológicas Cuaternaria y Cretácica; están conformadas, en su gran mayoría, por rocas sedimentarias y suelos de origen aluvial. Las sierras están

compuestas por rocas sedimentarias, sobresaliendo las de tipo caliza y, en menor proporción, lutita. (Martínez, 2006).

3.1.4 Edafología

Dentro de los macizos montañosos y lomeríos existen suelos de tipo Litosol sin fase física o química y pueden estar en mayor o menor grado asociados con Rendzinas o Regosoles. En pie de monte predominan Rendzina normalmente en fase física petrocálcica, éste normalmente subyace sobre rocas calizas en mayor o menor grado (Martínez, 2006; INIFAP y CONABIO, 1995).

3.1.5 Hidrología

El área de estudio se encuentra dentro de la Región Hidrológica RH-24 Bravo-Conchos, en la cuenca “B” Río Bravo – San Juan, subcuenca Río pilón. Se localiza al sureste del estado de Coahuila y comprende gran parte de los municipios de Saltillo, Arteaga, General Cepeda y una pequeña porción del municipio de Castaños y de Cuatro Ciénegas, en el estado de Coahuila. Se trata de una cuenca exorreica con un patrón de drenaje de tipo dendrítico con corrientes intermitentes que desaparecen. Está delimitada al norte por el parteaguas de la Sierra de la Gavia y las estribaciones de la Sierra de San Marcos y Pinos; al noroeste por la Sierra de la Paila, al suroeste por la Sierra de Parras y al sureste por las Sierras de Zapalinamé y Arteaga. (Martínez, 2006; INEGI, 2010).

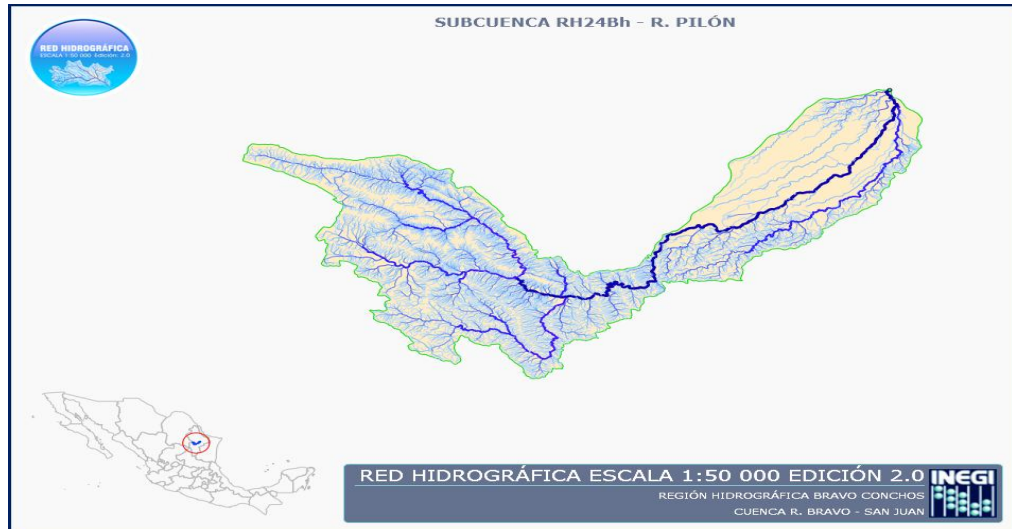


Figura 5. Región Hidrológica RH-24 Bravo-Conchos.

3.1.6 Flora

Dentro de la comunidad se desarrollan variados tipos de vegetación, como son el matorral desértico micrófilo, rosetófilo, chaparral y bosque de pino. Este último y el matorral submontano o chaparral. Tiene un bosque de altura de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pseudotsuga mensiensi*, *pinus rudis* y *Picea mexicana*. En la parte media se encuentran *Pinus gregii* y *Cupresus arizonica* y la parte inicial predomina un bosque de *Pinus cembroides*, también predomina un matorral rosetófilo que comprende especies como: *Yucca sp.*, incluyendo mezclas de pino piñonero en la parte baja y *pinus culminicola* en los riscos más

altos. La importancia de esta zona radica en que esta sierra cuenta con una de las especies como lo es la *Picea mexicana* (NOM-ECOL-059-94) y son de los últimos sitios en el Norte de México, donde se ubica dicha especie. (Martínez, 2006; Carrera, 2012; Rzedowki, 2006; SARH 1992.).

3.2 Materiales

Los materiales que se utilizaron para determinar el carbono orgánico en el suelo son los siguientes:

- ✓ Barrena para obtener muestras de suelo
- ✓ Bolsas de plástico
- ✓ Papel periódico
- ✓ GPS
- ✓ Libreta
- ✓ Lápiz
- ✓ Tamiz de maya < 2 mm
- ✓ 1 matraz de Erlen Meyer de 500 ml
- ✓ 1 Pipeta 10 ml
- ✓ 1 Probeta 50 ml
- ✓ 1 Probeta 100ml
- ✓ 1 Bureta 50 ml
- ✓ Suelo
- ✓ Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$ 1N).
- ✓ ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
- ✓ Agua destilada
- ✓ Ortofenantrolina
- ✓ Sulfato ferroso ($FeSO_4$).

3.3 Metodología

Para este estudio se cuantificó el contenido de carbono orgánico en el suelo (COS), en dos rodales: rodal 1. Bosque de regeneración, y rodal 2. Bosque maduro, Ambos bosques presentan la misma especie. *Pinus rudis*,

3.3.1 Método para el muestreo de suelo en campo.

Para obtener las muestras de suelo se utilizó la metodología propuesta por la NOM-021-SEMARNAT-2000. La superficie seleccionada en donde se realizó el muestreo fue 3 ha para cada rodal. El muestreo se realizó en zig zag a lo largo de una línea dentro de la unidad de muestreo, se inició por un lado del terreno, eligiendo al azar un punto de partida para definir el plano de muestreo que cubra homogéneamente la unidad, ya definido el plano se decide la distancia entre los diferentes puntos de muestreo.

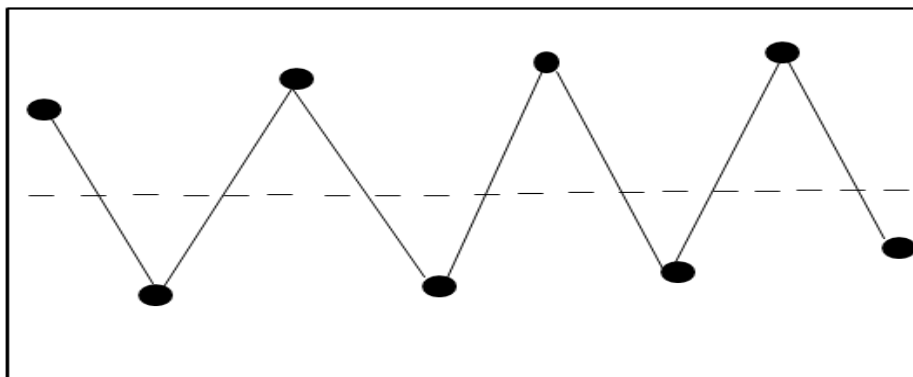


Figura 6. Método de muestreo en zig zag.

3.3.1.1 Profundidad del muestreo y número de muestras.

En cada rodal se colectaron 8 muestras de suelo con una profundidad de 0-20 cm. Con la finalidad de determinar el contenido de carbono orgánico en el suelo. Cada muestra de suelo se colocó en una bolsa de plástico con su etiqueta respectiva y se trasladó al laboratorio.

3.3.2 Secado y tamizado de las muestras de suelo.

Se realizó el secado de las muestras de suelo a temperatura ambiente, con la finalidad de reducir la cantidad excesiva de humedad que contenían las muestras, para esto se acomodó el suelo en el papel y se dejaron secando las muestras por 3 días. Una vez seco el suelo se tamizó las muestras para asegurar una mayor recuperación del carbono orgánico (CO).



Figura 7. Secado y tamizado de las muestras.

3.3.3 Método de laboratorio para análisis de carbono del suelo

El análisis para determinar el carbono en las muestras de suelo, se realizó en el laboratorio del departamento de suelos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), para dicha determinación se utilizó el método de Combustión Húmeda y titulación según Walkley y Black 1934: la metodología para estimar el porcentaje de carbono presente en el suelo, consiste en la digestión de la materia húmeda con ácido sulfúrico concentrado, oxidación del carbono con dicromato de Potasio y titulación con sulfato ferroso, la reacción entre dicromato de potasio con el ácido sulfúrico origina la formación de un agente oxidante fuerte, llamado ácido crómico, que oxida el carbono de la materia orgánica para convertirlo en CO_2 .

Se pesó con precisión 0.5 gramos de suelo para cada muestra, cada muestra de suelo se colocó en un matraz de Erlen Meyer de 500 ml, se agregó exactamente 10 ml. de solución de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N), mientras se agitaba suavemente, se agrega 20 ml. De ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), Después de 10 minutos se agrega 200 ml. de agua destilada mediante una probeta graduada de 100 ml. Se Menea la suspensión para que

se mezcla y se dejan enfriar las muestras, posteriormente se agrega 4 gotas del indicador 0-fenantrolina a cada muestra, y por último se titulan las muestras con sulfato ferroso (FeSO_4), el punto final lo indica el cambio de color verde oscuro a rojo marrón. Es importante mencionar que se realizó una determinación en blanco o testigo, para determinar la normalidad del sulfato ferroso. En esta muestra se aplicaron todos los reactivos sin suelo.

Figura 8. Peso de la muestra de suelo.



Figura 9. Color que muestra la solución después de la oxidación de la materia orgánica.



Figura 10. Color que muestra la solución del testigo antes de la titulación.



Figura 11. Mililitros de sulfato ferroso gastado para la titulación de la muestra.



Figura 12. Color rojo marrón que muestra la solución después del proceso de titulación.

El contenido de materia orgánica del suelo y carbono orgánico, se determinó con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ M. O} = \frac{[(K_2Cr_2O_7 \times N) - (FeSO_4 \times N)]}{gr} \times .68$$

Dónde:

% MO = por ciento de materia orgánica

K₂Cr₂O₇1N = mililitros de dicromato de potasio

FeSO₄ = mililitros de sulfato ferroso

N = normalidad

Gr = gramos de la muestra de suelo

$$\% \text{ C. O} = \frac{\% \text{ M. O}}{1} .724$$

Dónde:

% MO = por ciento de materia orgánica

% CO = por ciento de carbono orgánico

3.3.4 Método para obtener densidad aparente del suelo.

Para obtener el carbono orgánico en el suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo, para esto se utilizó el método de la probeta, que consiste en moler y tamizar el suelo con una malla de 2 mm, una vez tamizado las muestras se secan en una estufa a una temperatura de 110 °C por un tiempo de 24 horas, posteriormente se dejan enfriar las muestras, una vez que estén completamente frías, se pesa 50 gramos de suelo por muestra y cada muestra se colocan en una probeta de 100 ml, después de una serie de golpes se observa el volumen del suelo ocupado en la probeta, el valor estará dado en cm³. Los 50 gr de suelo es dividido entre valor del volumen y el resultado es la densidad aparente del suelo.

3.3.5 Fórmula para determinar el carbono orgánico del suelo.

El carbono almacenado en el suelo se calculó a partir de los valores de porcentajes de carbono, densidad aparente y profundidad con la ecuación recomendada por Acosta (2003):

$$\text{COS} = \text{PC} \times \text{Da} \times \text{P}$$

Dónde:

COS: Carbono orgánico del suelo (Mg/ha)

PC: Carbono en el suelo (%)

Da: Densidad aparente (g/cm³)

P: Profundidad del suelo (cm)

3.3.6 Análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo

Aparte de la materia orgánica y densidad aparente, se realizó el análisis de otras propiedades físicas y químicas del suelo, para obtener correlaciones entre las propiedades.

3.3.6.1 Propiedades físicas del suelo.

3.3.6.1.1 Textura.

Para obtener la textura del suelo se utilizó la metodología por Bouyoucos (1963). Que consiste en la determinación de porcentajes de arena, limo y arcillas presente en la fracción mineral del suelo. Estos porcentajes se obtienen mediante la suspensión de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro. Para obtener dichos resultados se pesan 50 gramos de suelo para cada muestra, se coloca el suelo en vasos de aluminio y a cada vaso se le agrega agua de la llave hasta la marca del vaso. Se le agrega a cada muestra 20 ml de hexametáfosfato, una vez hecho esto se agitan en batidoras eléctricas en un tiempo de 5 minutos, posteriormente se coloca en probetas de 1000 ml y se afora con agua de la llave, después se agitan con varillas de bronce por 30 segundos, se toma la primer lectura de la densidad con un hidrómetro especial, denominado hidrómetro de Bouyoucos graduado para leer directamente en gramos/ litro: 0-60. El cual esta calibrado. Y la temperatura se obtiene con un termómetro, después de obtener la lectura de cada muestra se deja reposar por una hora y posteriormente se toma la segunda lectura nuevamente temperatura y la densidad.

Las fórmulas para la determinación de la textura son las siguientes:

$$P = \left[\left(\frac{(R1 + \Delta R1) - (RC1 + \Delta R1)}{W} \right) \right] \times 100$$

Dónde:

P= % de Limos+ % de Arcillas.

R1= Primera lectura del hidrómetro en solución.

$\Delta R1$ = Corrección de la temperatura en la probeta.

RC= Primera lectura del hidrómetro en solución del testigo.

W = Gramos de suelo.

Fórmula para la corrección de la temperatura. $\Delta R1$ = (Temperatura-20°C) 0.4.

$$A = \left[\left(\frac{(R2 + \Delta R2) - (RC2 + \Delta R2)}{W} \right) \right] \times 100$$

Dónde:

A= % de Arcillas

R2= Segunda lectura del hidrómetro en solución.

$\Delta R2$ = Corrección de la temperatura en la probeta.

RC2= Segunda lectura del hidrómetro en solución del testigo.

W = Gramos de suelo.

Fórmula para la corrección de la temperatura. $\Delta R1$ = (Temperatura-20°C) 0.4.

% de Arena = 100 – % de Limos+ % de Arcillas

% de Limos = (% de Limos + % de Arcillas) - % de Arcillas

Se utilizó el siguiente triángulo de texturas para determinar las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA:

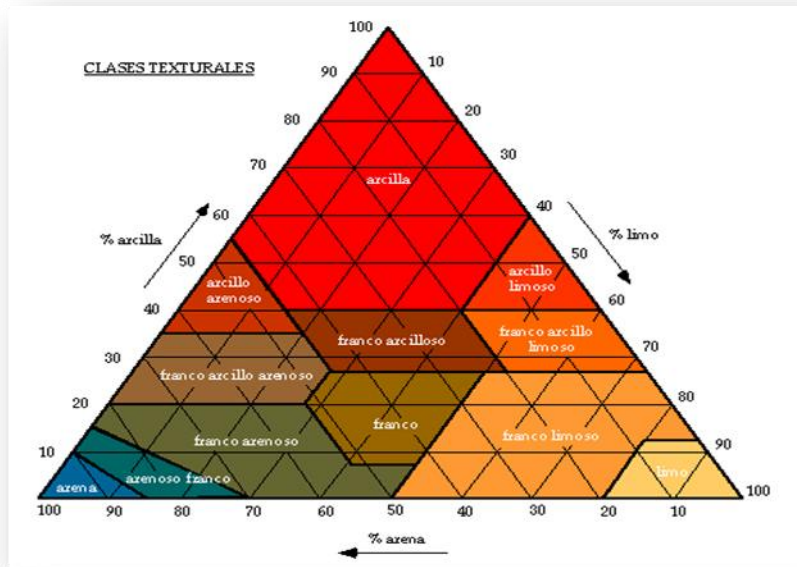


Figura 13. Triángulo de texturas

3.3.6.1.2 Densidad de sólidos (Ds) por picnómetro.

El picnómetro se pesa vacío y perfectamente seco en una balanza de precisión. Con ayuda de un embudo se agrega 10 gr de suelo seco tamizado por una maya de 2 mm, se pesa nuevamente para obtener el valor del peso de picnómetro más suelo. Se agrega con cuidado agua destilada en el picnómetro hasta la mitad de su capacidad y se agita cuidadosamente para eliminar las burbujas de aire que pudieran quedar retenidas entre las partículas de suelo, se pesa para obtener el peso del picnómetro + suelo + aguas. Se pone a hervir en una parrilla a 350 °C, en cuanto empieza a hervir se retiran los picnómetros de la parrilla, se afora con agua destilada el picnómetro y se coloca el tapón en forma tal que no queden aprisionadas burbujas de aire en su interior y se deja enfriar, nuevamente se pesan y se toma la temperatura para obtener la densidad del agua de acuerdo a la temperatura.

Las fórmulas para la determinación de la textura son las siguientes:

$$P_w = P_{pma} - P_{pm}$$

$$V_w = P_w / D_w$$

$$V_s = V_p - V_w$$

$$D_s = M_s / V_s$$

Dónde:

P_w = Peso del agua.

P_{pma} = Peso del picnómetro con muestra de suelo y agua.

P_{pm} = Peso del picnómetro con muestra de suelo.

V_w = Volumen de la muestra en el picnómetro.

D_w = Densidad del agua.

V_s = Volumen de sólidos.

M_w = Gramos de la muestra de suelo.

D_s = Densidad de sólidos.

3.3.6.1.3 Porosidad

La porosidad se obtuvo mediante la siguiente fórmula

$$P_t = (1 - (D_a / D_s) \times 100).$$

Dónde:

P_t = porosidad total

D_a = densidad aparente

D_r = densidad real

3.3.6.2 Propiedades químicas del suelo.

3.3.6.2.1 PH

El pH en agua se determinó mediante el método AS-02, siguiendo la NOM-21-SEMARNAT-2000, en este método los reactivos utilizados deben ser grado analítico y el agua utilizada en la preparación de las soluciones debe ser destilada.

Se pesan 10 gramos de suelo para cada muestra en un frasco de vidrio, se agregan 20 ml de agua destilada al frasco conteniendo al suelo. Con una varilla de vidrio se agita manualmente la mezcla de suelo, posteriormente se colocan las muestras en un agitador eléctrico y se agitan durante 30 minutos, después se dejan reposar durante 15 minutos y se calibra el potenciómetro con las soluciones buffer que son reguladores de referencia, pH 4.00 y 7.00, Estas soluciones deben estar a temperatura ambiente al momento de calibrar el medidor de pH. Se enjuaga los electrodos con agua destilada antes de iniciar las lecturas de las muestras. Se agita nuevamente la suspensión y se introduce el potenciómetro en la suspensión, se registra el pH al momento en que la lectura se haya estabilizado y después se lava nuevamente los electrodos para poder introducir el potenciómetro en la segunda muestra. Cada vez que los electrodos se introduzcan en las muestras debe lavarse antes con agua destilada para evitar sesgo.

3.3.7 Método Estadístico

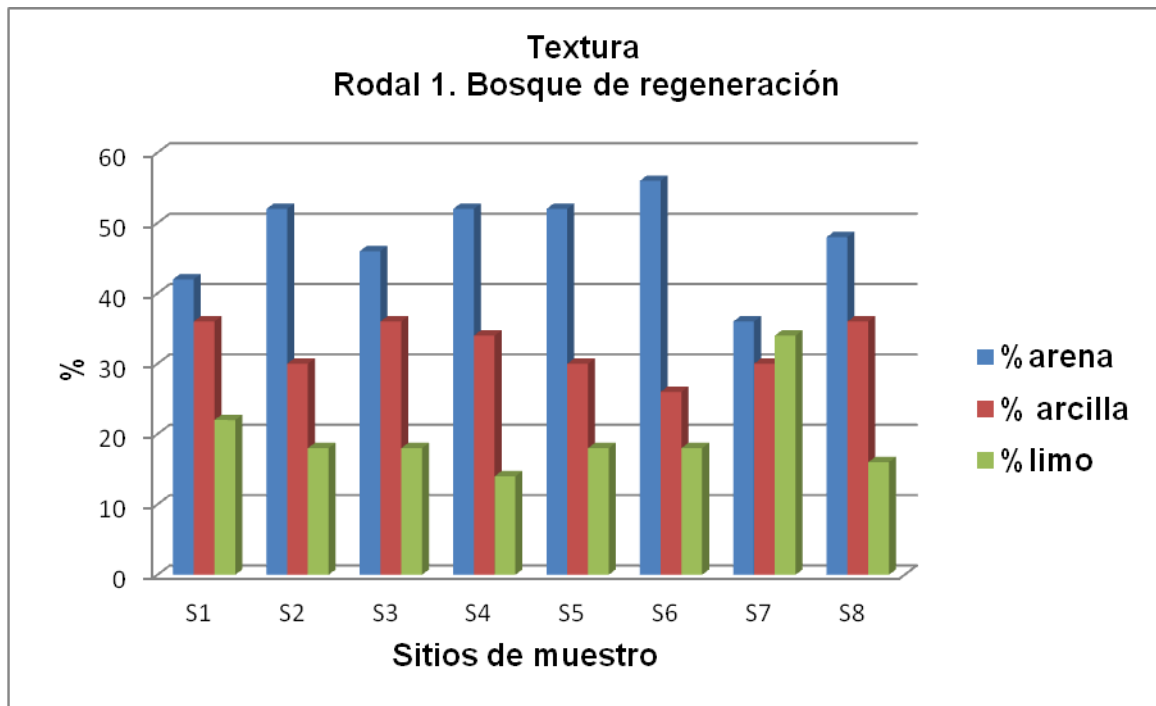
Se llevó a cabo un análisis estadístico, en donde se realizó una comparación de medias a través de la prueba de Tukey. Manejando el programa STATISTICA, este mismo programa fue utilizado para realiza las correlaciones existentes entre las propiedades fisicoquímicas.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades fisicoquímicas

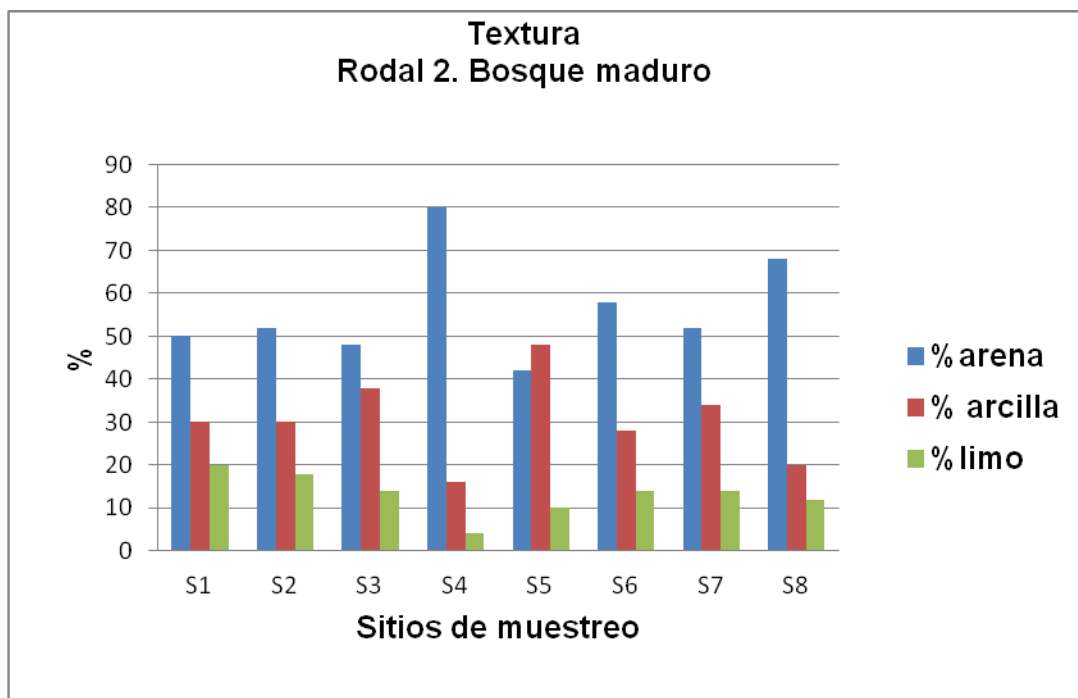
4.1.1 Textura

En la siguiente gráfica, se muestran los porcentajes de arena, limo y arcilla presente en cada sitio de muestreo para el rodal 1. Donde se puede observar que a mayoría de los sitios contienen mayor porcentaje de arena y en menor proporción se encuentra el limo, excepto para la muestra siete que presentan casi la misma proporción de los tres tipos de textura.



Grafica 1. Contenido de arena, limo y arcilla para el rodal 1.

La gráfica 2, muestran los porcentajes de arena, limo y arcilla presente en cada sitio de muestreo para el rodal 2. Donde se puede observar que a mayoría de los sitios contienen mayor porcentaje de arena, excepto para el sitio cinco que presentan mayor porcentaje de arcilla.



Grafica 2. Contenido de arena, limo y arcilla para el rodal 2.

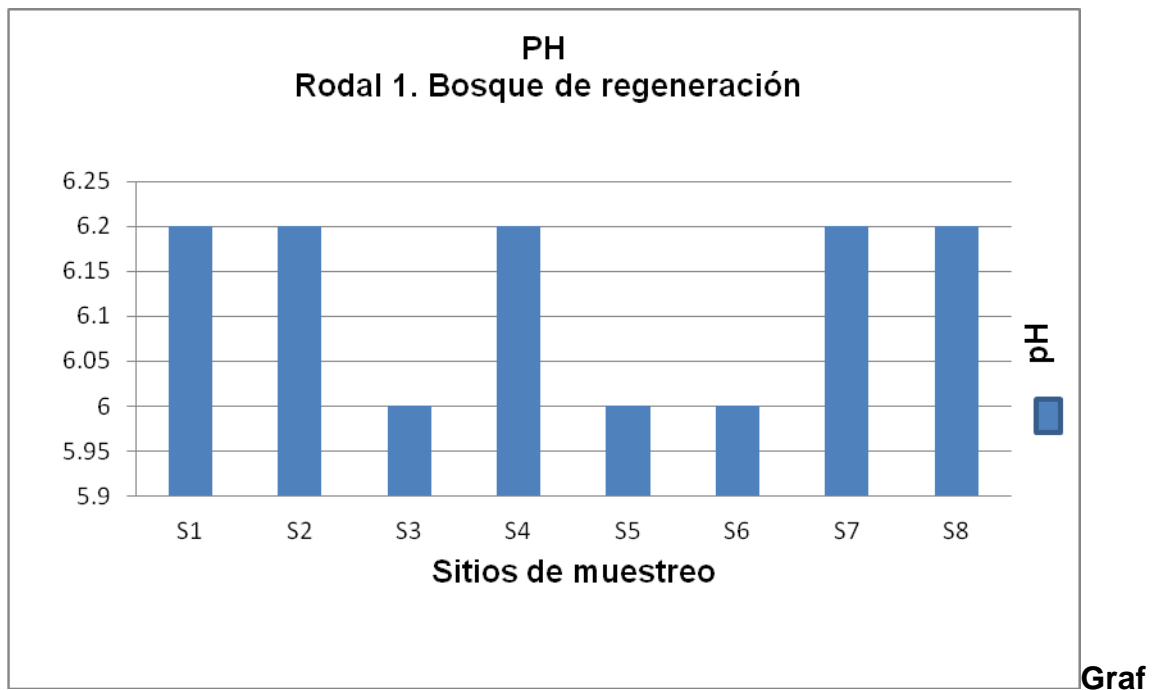
La siguiente tabla nos muestra la clasificación de clases texturales básicas del suelo para el rodal 1 y 2. Como se puede observar en las tablas, la mayoría de las muestras de suelo presentan textura variada sin embargo la mayoría está clasificada como migajón arcilloso arenoso. Huerta (2010). En su trabajo muestras variaciones entre la textura del suelo, con la siguiente frecuencia: franco \geq migajón arenoso \geq migajón arcilloso \geq migajón arcillo arenoso \geq arcilloso. Los tipos de suelos presentes son, Luvisol crómico, Cambisol, Regosol, Rendzina y Litosol. Para este trabajo el área de estudio presenta suelos de tipo litosol por lo que se llega a la conclusión que en este tipo de suelo se presentaran estas variaciones de textura.

Cuadro 4. Clasificación de clases texturales.

Sitios	Rodal 1. Bosque de regeneración	Rodal 2. Bosque maduro
S1	migajón arcilloso	migajón arcilloso arenoso
S2	migajón arcilloso arenoso	migajón arcilloso arenoso
S3	arcillo arenoso	arcillo arenoso
S4	migajón arcilloso arenoso	migajón arenoso
S5	migajón arcilloso arenoso	arcilla
S6	migajón arcilloso arenoso	migajón arcilloso arenoso
S7	migajón arcilloso	migajón arcilloso arenoso
S8	arcillo arenoso	migajón arenoso

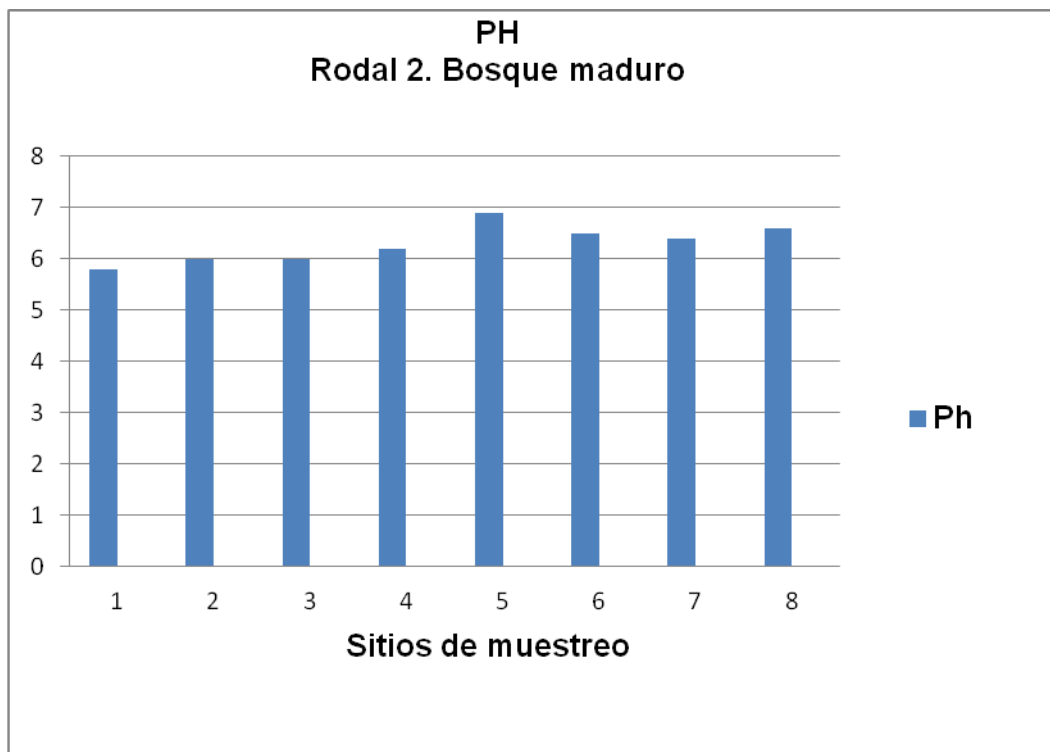
4.1.2 PH

La grafica 3 muestran los resultados de pH obtenidos para el rodal 1. En donde se obtuvieron dos valores de pH que son 6.0 y 6.2. Estos valores según la (NOM-021-SEMARNAT-2000) son suelos moderadamente ácidos, es importante aclarar que este rodal estaba asociado con pastizal y de acuerdo al trabajo de Vera *et al*, 2003. En pastizales se obtienen resultados de pH entre 5 a 6.5.



Grafica 3. Valores de pH para el del rodal 1.

En la gráfica 4 se pueden observar los resultados de pH para el rodal 2. Los valores se encuentran entre un rango de 5.8 a 6.9. Según la (NOM-021-SEMARNAT-2000) estos valores nos indica que la categoría del pH del suelo se encuentra entre moderadamente ácidos y neutros. Los resultados del pH más bajo obtenido en este trabajo, coinciden de manera aproximada con los resultados obtenidos en el rodal 2. Trabajo realizado por Lara, 1997.

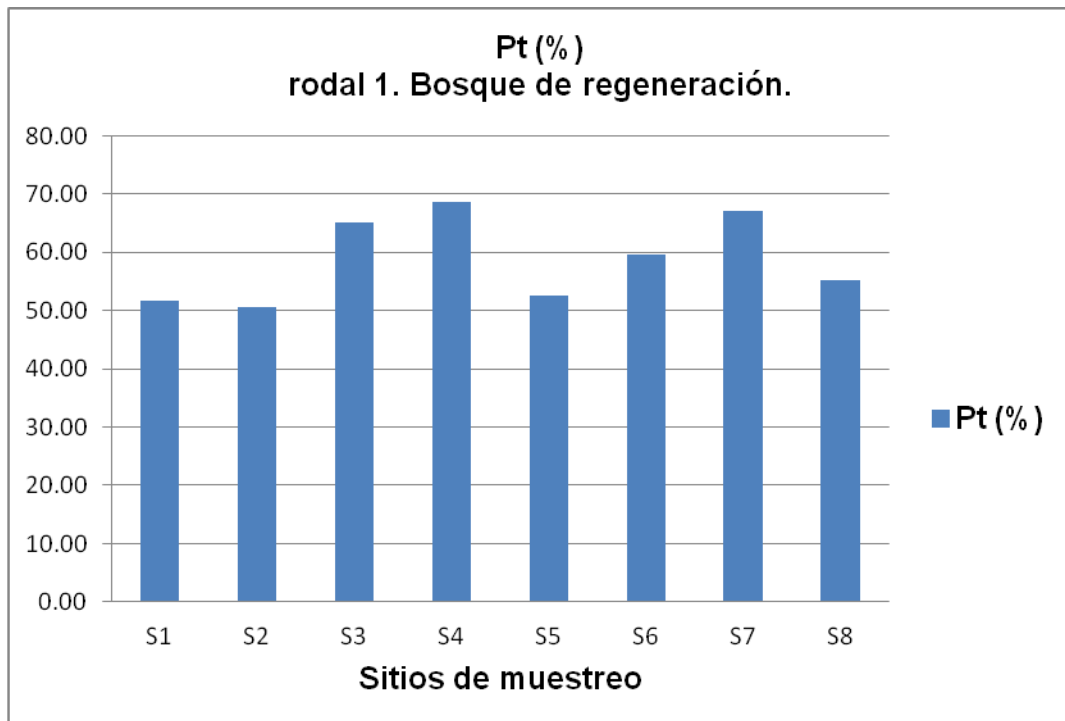


Grafic

a 4. Valores de pH para el del rodal 2.

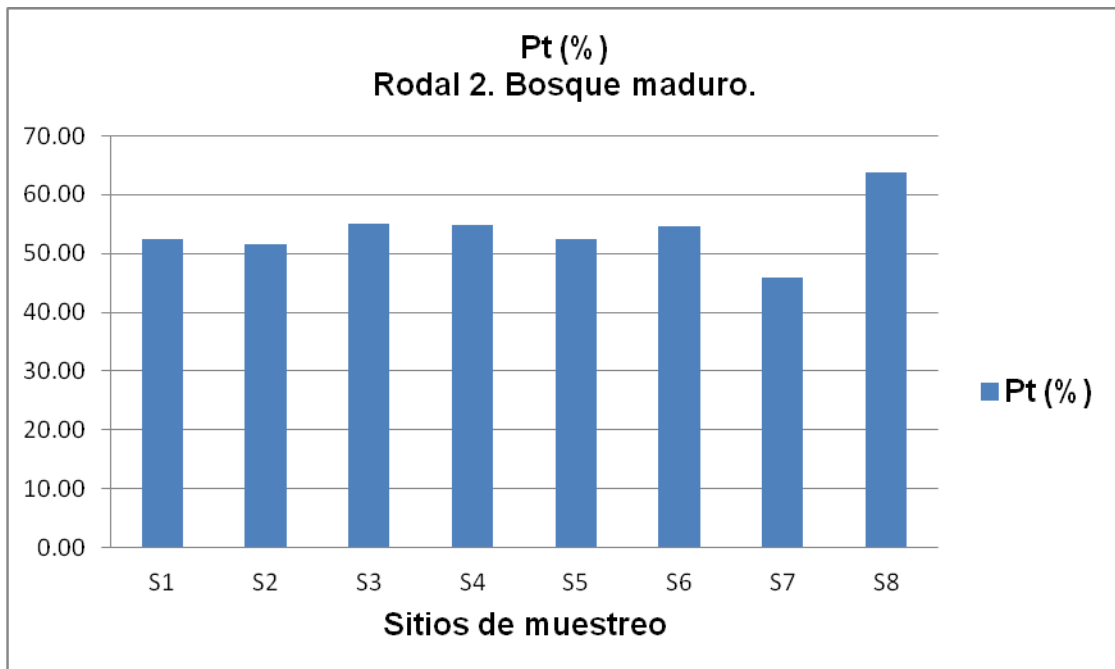
4.1.3 Porosidad

La siguiente gráfica, muestra el porcentaje de porosidad presente en los 8 sitios de muestreos para el rodal 1. Los rangos de porcentaje van de 50.66 a 68.66 en este rodal se obtuvieron porcentajes mayores de porosidad, que los valores del rodal 2. Esto se debe a que a que las especies *Pinus rudis* se encuentran asociadas a los pastizales. Los valores de porosidad son aproximados, con los resultados obtenidos por Santa *et al.* (2014). Ellos realizaron la evaluación de efecto de sistemas de labranza en suelos luvisoles dedicados a la producción de pastos.



Gráfica 5. Porcentajes de porosidad total (Pt) para el rodal 1.

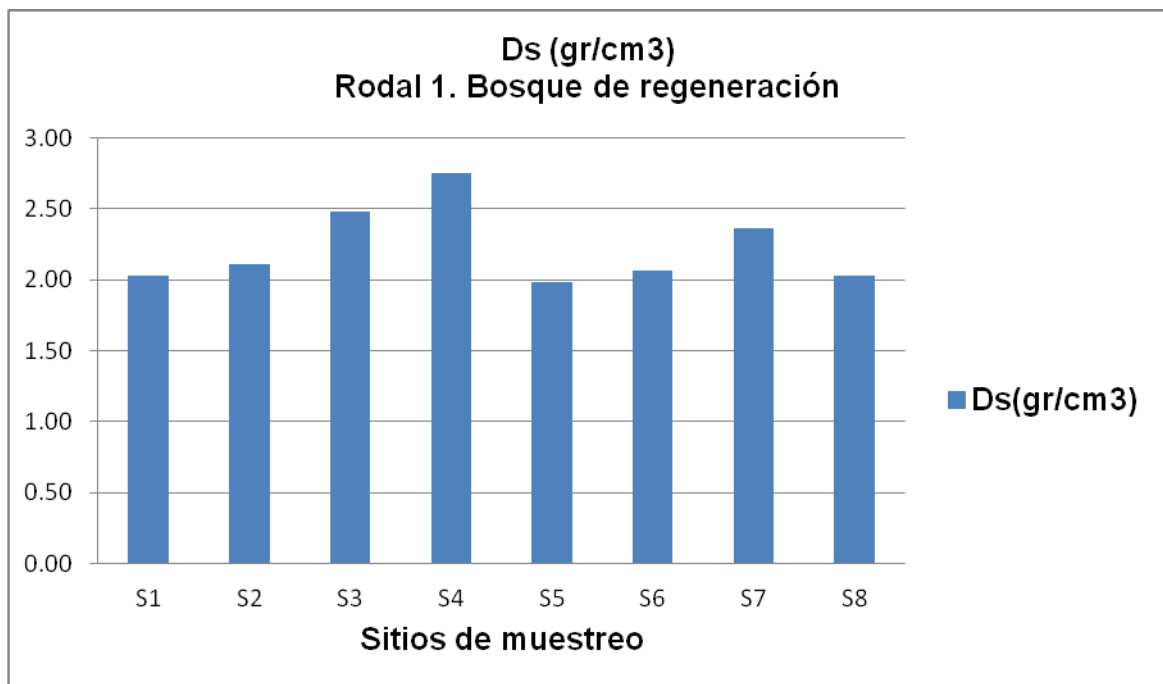
La grafica 6 muestra los resultados de porosidad total presentes en el rodal 2. Los rangos de porosidad van de 45.98 a 63.88, como se puede observar los resultados son variados, dichos resultados coinciden de manera aproximada con los resultados obtenidos de Murray *et al* (2011). Ya que ellos obtienen valores con un rango de 45 a 58 porciento de porosidad total, los resultados de porosidad de estos autores también fueron evaluados a una profundidad de 20 cm.



Grafica 6. Porcentajes de porosidad total (Pt) para el rodal 2.

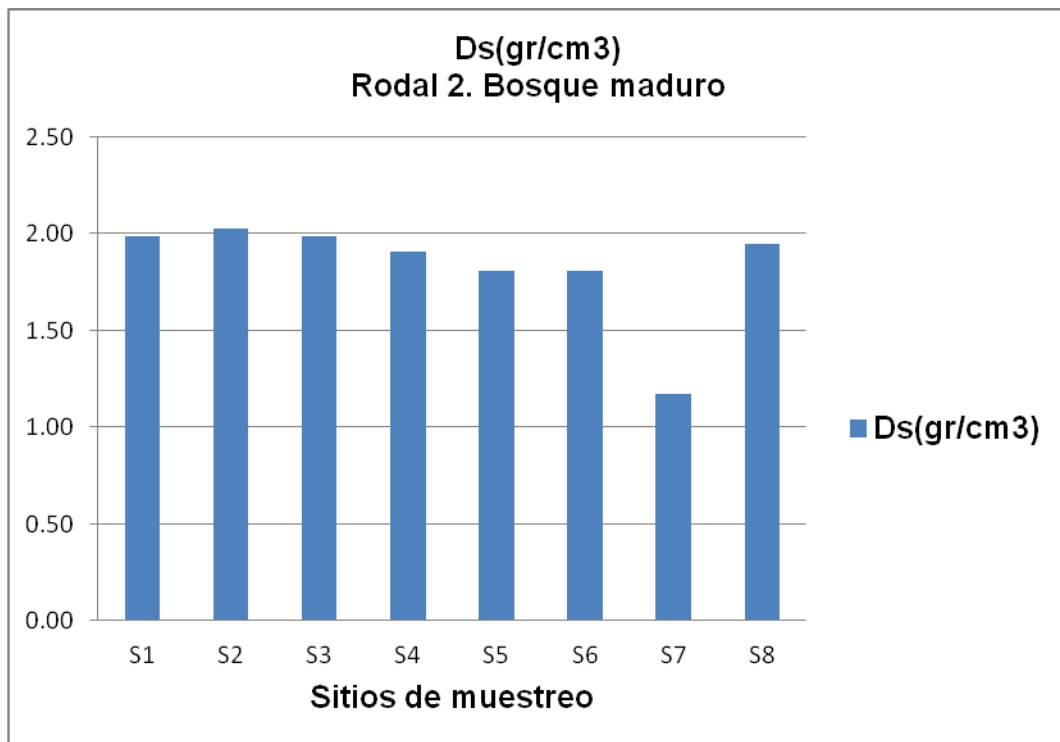
4.1.4 Densidad de sólidos (Ds)

En la siguiente grafica se muestran los resultados obtenidos de densidad de sólidos (Ds) para el rodal 1. En este se presenta una densidad de sólidos de 2.22 en promedio. Estos resultados son aproximados a los resultados obtenidos por Sánchez-Corona *et al* (2008), ellos obtiene resultados en un rango de 1.9 a 2.3, sus resultados más alto en cuanto a densidad de sólidos lo presentó la parcela de pastizal.



Grafica 7. Valores de densidad sólidos (Ds) para el rodal 1.

La densidad de sólidos en promedio para el rodal 2 es de 1.8 este resultado es mucha más bajo que el promedio del rodal 1. Esto resultados son parecidos a los obtenidos por Sánchez-Corona *et al* (2008), estos autores evaluaron 6 parcelas, entre ellas bosque primario, este bosque presenta una densidad de solidos de 1.98. Y parecidos a los de Huerta (2010). Ella Determinó las de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Gro., y su relación con el crecimiento bacteriano. En donde obtuvo resultados de 1.3 a 3.09.



Grafica 8. Valores de densidad sólidos (Ds) para el rodal 2.

4.1.5 densidad aparente y materia orgánica

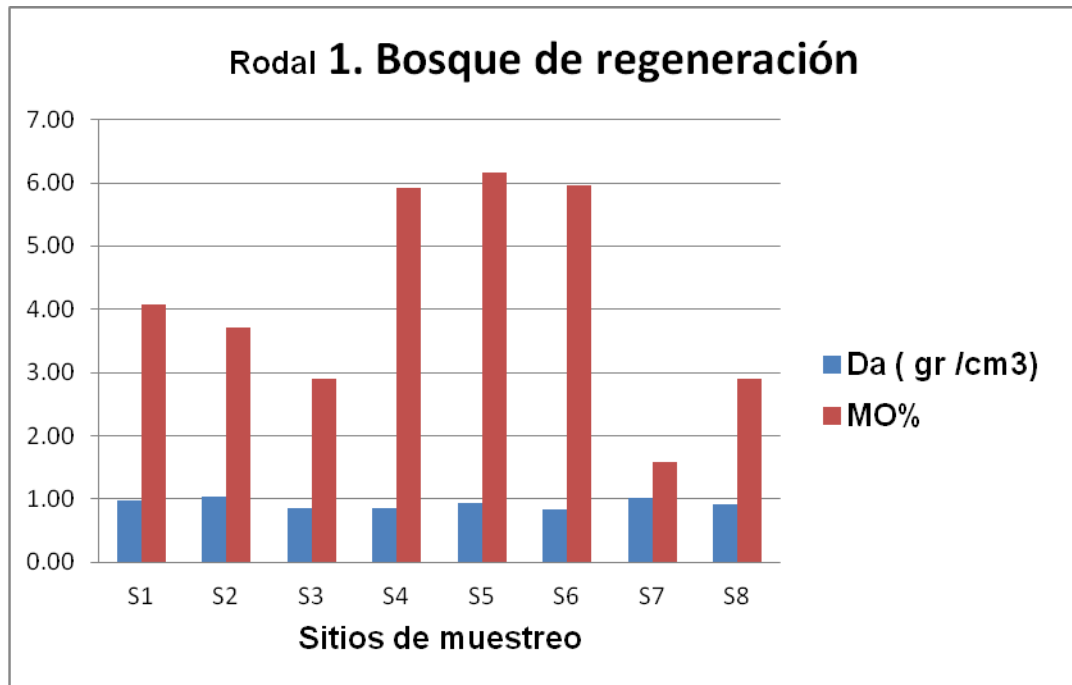
El cuadro 5, presentan los resultados de las propiedades de densidad aparente y materia orgánica, en él se deduce una relación inversa en el contenido de MO edáfica y la Da (al incrementarse el contenido de MO, la Da disminuye), lo que concuerda con (Murray 2011).

Cuadro 5. Resultados de densidad aparente Da y materia orgánica, para los dos rodales evaluados.

Rodal 1. Bosque de regeneración	
Da (gr /cm3)	MO%
0.9804	4.0683
1.0417	3.7197
0.8621	2.9060
0.8621	5.9282
0.9434	6.1607
0.8333	5.9575
1.0204	1.5742
0.9091	2.9060
Rodal 2. Bosque maduro	
Da (gr /cm3)	MO%
0.9434	8.1368
0.9804	7.0906
0.8929	5.2308
0.8621	3.2547

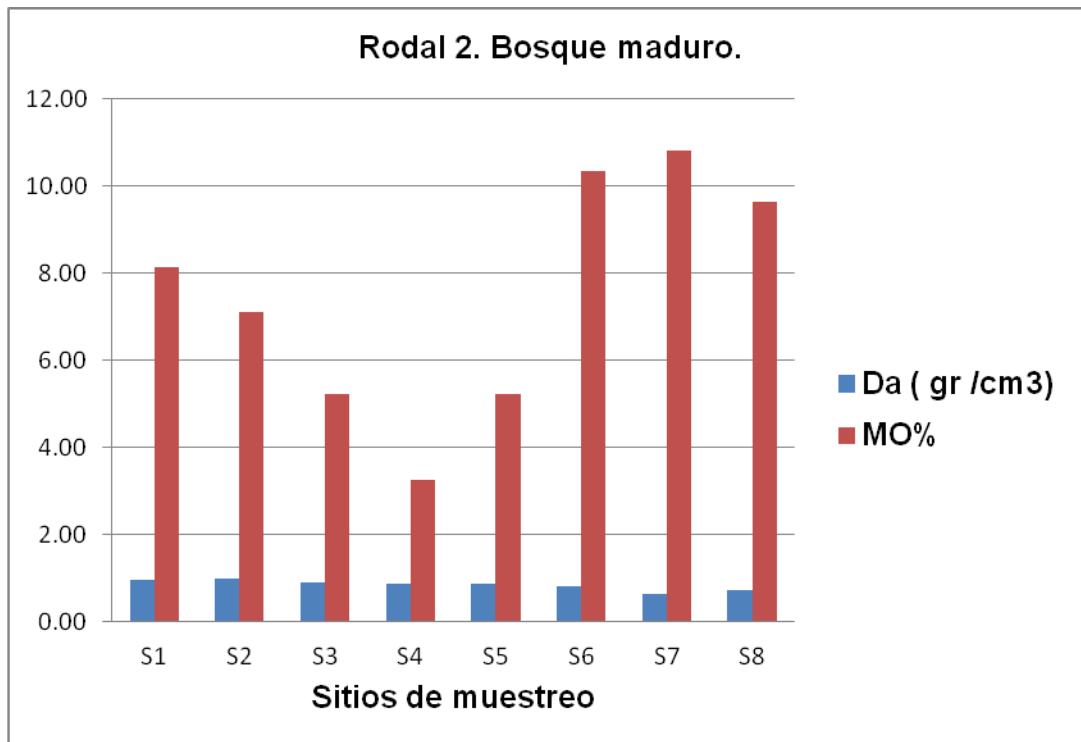
0.8621	5.2308
0.8197	10.3453
0.6329	10.8103
0.7042	9.6479

La siguiente graficas muestra los resultados de materia orgánica y la densidad aparente para los ocho sitios de muestreo del rodal 1, para la materia orgánica se obtiene un promedio de 4.15 % y un promedios de densidad aparente de 0.93 gr /cm³. Los resultados de materia orgánica y densidad aparente son parecidos a los resultados de Fernández-Pérez *et al.* (2013). Ellos obtienen resultado de 4.33 % materia orgánica en la parcela 3 que es un Bosque de Pinus-Quercus (BPQ) en Los Altos de Chiapas y una densidad aparente de 0.96.



Grafica 9. Resultados de Densidad aparente y porcentaje de materia orgánica para el rodal 1.

La siguiente graficas del rodal 2 muestran los resultados de materia orgánica y la densidad aparente para los ocho sitios de muestreo, para la materia orgánica se obtiene un promedio de 7.46 % y un promedio de densidad aparente de 0.83 gr /cm³. Los resultados de materia orgánica concuerdan con los de Fernández-Pérez *et al.* (2013). Y los valores de densidad aparente son parecidos a los de Pérez-Ramírez *et al.* (2013). Ellos evaluaron el contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México.



Grafica 10. Resultados de Densidad aparente y porcentaje de materia orgánica para el rodal 2.

4.2 Correlación entre propiedades fisicoquímicas

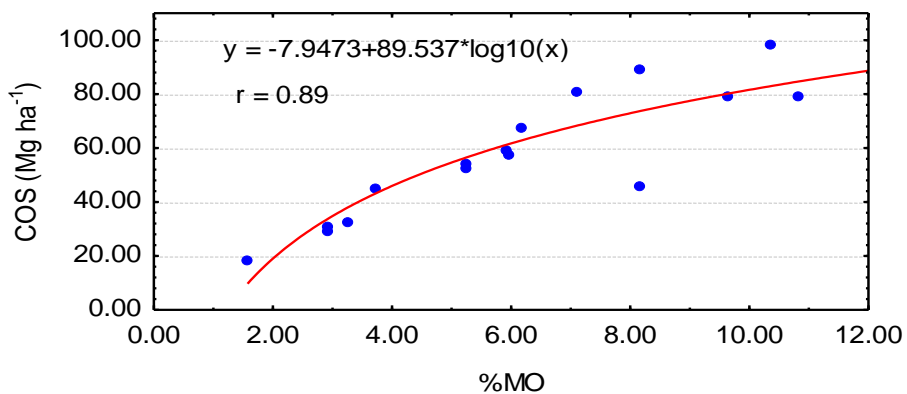
En el cuadro 6, se presentan una matriz de correlaciones existentes entre las propiedades físicas y químicas del suelo. Los datos que están marcados de color rojo indican que existe correlación a $p < 0.05$. Podemos observar que la MO tiene una fuerte correlación con COS, así como Pt con Ds y arcilla con arena.

Cuadro 6. Matriz de correlación entre las propiedades físico-químicas del suelo.

variables	COS	ARENA	ARCILLA	LIMO	Ds	Da	pH	MO	Pt
cos	1.00	0.25	-0.14	-0.24	-0.54	-0.40	0.09	0.89	-0.36
Arena	0.25	1.00	-0.80	-0.71	-0.35	-0.42	0.07	0.22	-0.04
arcilla	-0.14	-0.80	1.00	0.14	-0.01	0.14	0.21	-0.11	-0.17
limo	-0.24	-0.71	0.14	1.00	0.58	0.54	-0.37	-0.23	0.25
Ds	-0.54	-0.35	-0.01	0.58	1.00	0.55	-0.28	-0.64	0.81
Da	-0.40	-0.42	0.14	0.54	0.55	1.00	-0.45	-0.57	-0.00
Ph	0.09	0.07	0.21	-0.37	-0.28	-0.45	1.00	0.25	-0.05
MO	0.89	0.22	-0.11	-0.23	-0.64	-0.57	0.25	1.00	-0.38
Pt	-0.36	-0.04	-0.17	0.25	0.81	-0.00	-0.05	-0.38	1.00

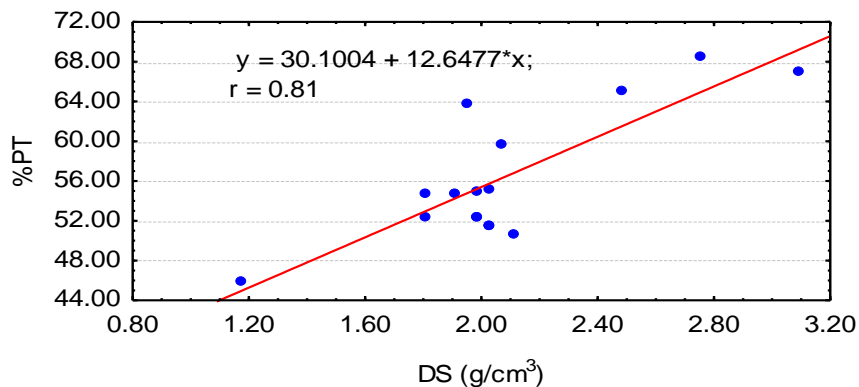
COS =carbono orgánico del suelo, Ds = densidad de sólidos, Da =densidad aparente, MO =materia orgánica, Pt = porosidad total.

En la gráfica 11 se puede observar que existe una correlación positiva entre la materia orgánica y el carbono orgánico del suelo, se puede observar claramente que a medida en que la materia orgánica aumenta, el carbono orgánico del suelo también lo hace.



Gráficas 11. Correlación entre materia orgánica con carbono orgánico.

En la gráfica se puede observar que existe una correlación positiva entre la porosidad total y la densidad de sólidos, se puede observar claramente que a medida en que la porosidad total aumenta, la densidad de sólidos también aumenta.



Grafica 12. Correlación entre densidad de sólidos y porosidad total.

4.3 Contenido de carbono orgánico del suelo en los sitios de muestreo.

La tabla 7 y 8 muestran los resultados obtenidos encada punto de muestreo para los dos rodales evaluados, los valores más bajos se presentan en el rodal 1, Sin embargo en la muestra 4,5 y 6 se obtuvo un alto nivel de COS, mientras que para el rodal 2 el valor más bajo lo presento la muestra 4.

Cuadro 7. Resultados de COS (Mg ha^{-1}) en cada sitio de muestreo para el rodal 1.

Rodal 1. Bosque de regeneración.						
No. muestras	De	%M.O	%CO	Da	profundidad	COS (Mg ha^{-1})
P1S1		4.0683	2.3598	0.9804	0-20 cm	46.2716
P1S2		3.7196	2.1575	1.0417	0-20 cm	44.9495
P1S3		2.9059	1.6856	0.8621	0-20 cm	29.0622
P1S4		5.9282	3.4386	0.8621	0-20 cm	59.2868
P1S5		6.1606	3.5734	0.9434	0-20 cm	67.4242
P1S6		5.9574	3.4555	0.8333	0-20 cm	57.5933
P1S7		1.5742	0.9131	1.0204	0-20 cm	18.6352

P1S8	2.9059	1.6856	0.9091	0-20 cm	30.6474
------	--------	--------	--------	---------	---------

Cuadro 8. Resultados de COS (Mg ha^{-1}) en cada sitio de muestreo para el rodal 2.

Rodal 2. Bosque maduro.					
No. De muestras	%M.O	%CO	Da	profundidad	COS (Mg ha^{-1})
P2S1	8.1367	4.7196	0.9434	0-20 cm	89.0508
P2S2	7.0906	4.1128	0.9804	0-20 cm	80.6447
P2S3	5.2307	3.0340	0.8929	0-20 cm	54.1802
P2S4	3.2547	1.8878	0.8621	0-20 cm	32.5497
P2S5	5.2307	3.0340	0.8621	0-20 cm	52.3119
P2S6	10.3453	6.0007	0.8197	0-20 cm	98.3730
P2S7	10.8102	6.2704	0.6329	0-20 cm	79.3728
P2S8	9.6478	5.5962	0.7042	0-20 cm	78.8198

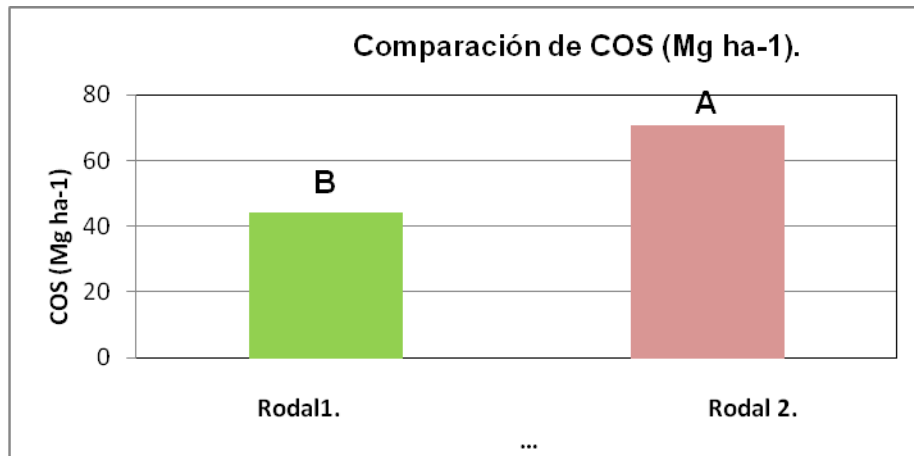
4.4 comparación de media por Tukey

El siguiente cuadro muestra la comparación de medias por Tukey. Los resultados mostraron que existe diferencia significativa entre rodales aceptándose la hipótesis H_a ., siendo el bosque maduro el que más carbono orgánico almacena. El almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) promedio del bosque de regeneración fue 44.2338 (Mg ha^{-1}) y el bosque maduro almacena en promedio 70.6629 (Mg ha^{-1}). El bosque maduro tiene la ventaja de tener muchos más años almacenando materia orgánica en comparación con el bosque de regeneración es por eso que el contenido de carbono orgánico es mayor.

Cuadro 9. Medias de Contenido de Carbono orgánico en suelo (Mg ha^{-1}), por rodal.

Rodales	n	Medias COS (Mg ha^{-1})	Agrupación Tukey
Rodal 1. Bosque de regeneración.	8	44.2338	B
Rodal 2. Bosque maduro.	8	70.6629	A

La siguiente grafica nos muestra los resultados entre los rodales evaluados. Como se mencionó anteriormente el rodal 2. Se almacena mayor cantidad de carbono.



Grafica 13. Comparación de carbono orgánico en el suelo (COS) entre rodales de estudio.

Los resultados de Medias de carbono orgánico del suelo COS (Mg ha⁻¹), presenta similitud con el trabajos de Martínez (2010) ella determinan el contenido de carbono en *Quercus microphylla* en dos unidades de suelo en el predio las cruces, Texcoco, estado de México obteniendo un resultado de 40.612 para el suelo leptosol (Mg ha⁻¹) y 63.994 (Mg ha⁻¹) para el suelo Cambisol.

Aiko Masuhara (2012), evaluó el contenido de carbono en sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. Presenta resultados de carbono orgánico del suelo COS (Mg ha⁻¹) para Bosque Mesófilo de Montaña de 36.0 (Mg ha⁻¹) , 25.1(Mg ha⁻¹) , 19.7(Mg ha⁻¹) y 47.4 (Mg ha⁻¹) estos resultados son parecidos a los obtenidos en el rodal 1.

Buendía (2011). Realizó una estimación de los almacenes de carbono en el suelo, de cuatro especies tropicales en una plantación forestal en la Huerta, Jalisco. Los resultados que el obtuvo fueron 42.988 (Mg ha⁻¹), 36.425

(Mg ha⁻¹), 35.765(Mg ha⁻¹), 25.192(Mg ha⁻¹). El primer resultado es similar al resultado del rodal 1 debido a que 42.988 (Mg ha⁻¹) es la media presente en una profundidad de 0-15 cm.

V CONCLUSIONES

Las propiedades físicas y químicas del suelo están relacionadas, una explica el porqué de la otra. En este estudio nos indica que si se tiene mayor densidad de sólidos el porcentaje de porosidad aumentara. Los suelos presentaran alto porcentajes de porosidad si existe mayor cantidad de materia orgánica. Las grandes cantidades de materia orgánica traen como resultado que los suelos presenten una densidad aparente más baja.

El porcentaje de materia orgánica presente en el suelo, es el factor fundamental para que se lleve a cabo el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, si se tienen poca materia orgánica en el área, el porcentaje de carbono orgánico será menor, por el contrario, si presenta mayor cantidad de materia orgánica, el contenido de carbono orgánico será mayor y por ende entre más carbono orgánico presente el suelo, mayor cantidad de CO₂ almacena.

El almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, es una opción que nos permitirá reducir la cantidad de CO₂ presentes en la atmosfera. Es por eso la importancia del cuidado de los suelo, evitar la degradación para evitar aumentar las concentraciones de CO₂. La degradación de los suelo impide la acumulación de este gas antrópogeno. El contenido carbono orgánico del suelo es por lo general más bajo donde la degradación es más severa.

Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra, por eso es necesario estudiar los suelos de los ecosistemas forestales como sumideros de CO₂.

VI RECOMENDACIONES

Realizar más estudios de carbono orgánico en el suelo, ya que existen pocos trabajos de este tema, la mayoría están concentrados en la biomasa y han olvidado el suelo, que es el principal reservorio terrestre de carbono. Estos trabajos nos permitirán conocer la contribución de los suelos en la reducción del CO₂.

Realizar este tipo de estudios en suelos forestales del estado de Coahuila, ya que en estos ecosistemas, los suelos logran almacenar más contenido de carbono que cualquier otro y nos permitirán conocer cuánto carbono almacena dicho estado en suelos forestales.

Seguir realizando estudios en suelos con especies forestales nativas del estado de Coahuila, para saber en qué especie o especies el suelo contribuye más a la reducción el CO₂ y por ende implementar medidas para la conservación y propagación de dicha especie.

Realizar obras de rehabilitación en los suelos degradados o con bajo contenido de materia orgánica, como por ejemplo, reforestaciones, esto permitirá el secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo.

Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo para conocer cómo influyen en el almacenamiento de carbono orgánico.

VII LITERATURA CONSULTADA.

Acevedo, E. Y E. Martínez, 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos: Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N ° 8, Pp 13-25.

Acosta M. M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 99 p.

Acosta M. M., J. Vargas H., A. Velázquez M., J. D. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. Agrociencia 36(6): 725-736.

Acuña A.J., O.H. Pucci y G.N. Pucci. 2008. Caracterización de un proceso de biorremediación de hidrocarburos en deficiencia de nitrógeno en un suelo de Patagonia Argentina. Ecosistemas 17 (2): 85-93.

- Andrade, H., M. Ibrahim. 2004. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas*, 10 (39–40): 109–116.
- Álvarez de la P. J. M. 2010, Manual de compostaje, Junta de Andalucía, Col. Manuales Técnicos. Pp 48.
- Arrigo, N. M., M. P Jimenez., D. Efron. Y R. Defrieri. 2002. Carbono de respiración de un suelo forestal y su relación con la calidad de la hojarasca. *Agric. Téc.* 62 (2): 331-338.
- Bouyoucos, G.J., 1963. Directions for making mechanical analyses of soils by the hydrometer method: *Soil Science*, 42, 225-230.
- Bravo F., J. A., Delgado, J. F., Gallardo, A., Bravo-Oviedo, R. Ruiz-Peinado, A., Merino, G., Montero, A., Cámara; R., Navarro, C., Ordóñez y E., Canga. 2007. Métodos para cuantificar la fijación de CO₂ en los sistemas forestales. En: Bravo, F. (Coord.) *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Fundación gas natural, Barcelona, 65-112 pp.
- Buendía C. R. 2011. Estimación de los almacenes de carbono en el suelo, de cuatro especies tropicales en una plantación forestal en la Huerta, Jalisco. Tesis Profesional. División de ciencias forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De Méx. 67 p.

Carrera López, J. A. 2012. Atención de un incendio forestal en los parajes Cerro de Coahuilón, entre Potrero de Ábrego y Nuncio, dentro del polígono de la RPC Arteaga, en el estado de Coahuila. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. JR002 México D. F.

CETENAL, 1976. Carta edafológica, San Antonio de las Alazanas, Coahuila y Nuevo León. G14 - C – 35. Escala: 1:50,000.

Ciesla, W. M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. FAO. Estudio FAO Montes 126. Roma, Italia. 146 p. Obtenido de <https://archive.org/stream/cambioclimaticob034849mbp#page/n1/mode/2up>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). Climatología. Escala 1:1000000, clima, koppen. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/clima> (20 de abril de 2015).

CONAGUA. 2007. Guía Esquemas para la conservación de suelo, bosque y agua. Pp 20-32.

De Benito M. A. y A. Sombrero S. 2008. Fijación de carbono en el suelo en agricultura de conservación. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.(ITACyL).

Delaney, M.T., I. J. Fernández., J.A. Simmons. Y R.D.Briggs. 1996. Red maple and white pine litter quality: Initial changes with decomposition. MAFES University of Main. Technical Bulletin 162, 1-19.

Eguren C., L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Pp 8-9.

Etchevers, J. D., C. Prat., C. Balbontín., M. Bravo, M. Martínez. y C. Ortiz. 2006. Influence of Land Use on Carbon Sequestration and Erosion in Mexico and Central America. Pp 284-304.

FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos – 96. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 76 p.

Fernández-Pérez L., N. Ramírez-Marcial. Y M. González-Espinosa. 2013. Reforestación con *Cupressus lusitanica* y su influencia en la diversidad del bosque de pino-encino en los altos de Chiapas, México. Botanical Sciences 91 (2): 207-216.

Fisher, M. J. 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. Roma, Italia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, FAO. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr88.pdf>.

Gallardo J. F. y A. Merino. 2007. El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. En: Bravo, F. (Coord.). El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural, Barcelona. pp 43-64.

García-Oliva F., G. Hernández y J. F. Gallado L. 2006. Comparison of Ecosystem C pools in three forest in Spain and Latin America. *Ann. For. Sci.*, 63: 519-523.

García-Oliva F. y O. R. Maser. 2004. Assessment and measurement issues related to soil carbon sequestration in landuse, land-use change, and forestry (LULUCF) projects under the Kyoto protocol. *Climatic Change* 65: 347-364.

Huerta C., H. E. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro.53 p.

Ibrahim M., Chacón M., Cuartas C., Naranjo J., Ponce G., Vega P., Casasola F., Rojas J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45: 27–36.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI 2010). Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0. (22 de abril de 2015).

- Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (10 de abril de 2015).
- IPCC 2001. Cambio climático: Tercer Informe de Evaluación. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. 93 p.
- IPCC 2007. Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza, 104 p.
- Jiménez M. A. M., J. T. Reyes S. y L. Silveira M. 2012. Secuestro y Distribución de Carbono Orgánico del Suelo Bajo Diferentes Sistemas de Manejo de Pasturas. Universidad de la Florida. (UF/IUFAS).3 p.
- Jobbágy, E. G. y R. B. Jackson, 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. pp. 423–436
- Lara R., E. A.1997. Caracterización y evaluación del bosque natural del pino azul (*Pinus maximartinezii rzed*) en el cerro de Piñones de Juchipila, Zacatecas. Tesis de Maestría. Facultad de agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L.
- Locatelli B. y S. Leonard. 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de malleco (chile), N° 267 (1) pp. 69-81.

Luis-Mejía, S., A. Gómez-Guerrero., J. D. Etchevers-Barra., G. Ángeles-Pérez, M. A. López-López y W. R. Horwath. 2007. Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de *Pinus michiocana*. *Agrociencia* 41: 711-721.

Martínez B. O. U. 2006. Ordenamiento productivo de las áreas agrícolas de las microcuencas de la región sureste del estado de Coahuila. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación Especial Núm. 10. Coahuila, México. 54 p.

Martínez V., D. 2010. Determinación del contenido de carbono en *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el predio las cruces, Texcoco, estado de México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 80 p.

Masera, O. R., B. De Jong y I. Ricalde. 2000. Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero. Sector Forestal. Instituto de Ecología UNAM. México. 197 p.

Masuhara., A. 2012. Evaluación del contenido de carbono en sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Departamento de suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 146 p.

Monkhouse F. J. 1978 .Diccionario de términos geográficos. Barcelona: oikos-tau s. a. ediciones, p. 162.

Montagnini F. y P. K. Nair R. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. Pp 281–295

Montoya G., Soto L., De Jong B., Nelson K., Farias P., Yakactic P., Taylor J. H. 1995. Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Cuaderno de trabajo 4, México DF.

Murray N. R. M., J.L. Bojórquez S., A. Hernández J., M. G. Orozco B., J. D. García P., R. Gómez A., H.M. Ontiveros G. Y J. Aguirre O. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. Vol. 1 No. 3. Pp 27- 35.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002.

Oliva, M. y F. García-Oliva. 1998. Un nuevo campo de acción en la química biológica: Parte I. Generalidades sobre el cambio global. Educación Química. UNAM. México. 9(3): 136-142.

Organización Meteorológica Mundial (OMM).2006. El clima y la degradación de las tierras. 33 p.

Pérez-Ramírez S., M. I. Ramírez., P. F. Jaramillo-López. y F. Bautista. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. Pp 157-173.

Post, W. M., y K. C. Kwon. 2000. Soil carbon sequestration and land use-change: Processes and potential. *Global Change Biology*. Pp 317–327.

Protocolo de Kyoto, 1998. Protocolo de Kyoto, de la Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. 25 p.

Reicosky D.C., W.A. Dugas. y H.A. Torbert . 1997. Tillage – induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. *Soil & Tillage Research* (41) Pp 105- 118.

Román P., Martínez M.M. y Pantoja A. 2013, Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. Pp 112.

Reicosky, D.C. 2007. Carbon is the "C" that starts "C"onservation. *Proceedings of the South Dakota No-Till Association*. Pp. 17-23.

Robert, M. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. Institut national de recherche agronomique Paris, France. Pp 1-57.

- Rügnitz T. M., M. Chacón, L. y R. 2009. Porro Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales 2009 -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestral. 79 p.
- Rzedowski, J., 2006. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 1ra. Edición digital.
- Salati, E. 1990. Los Posible Cambios Climáticos en America Latina y el Caribe y sus Consecuencias. Report # 90-7-1223, Naciones Unidas and Comisión Económica para America Latina y el Caribe-CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 pp.
- Sánchez-Corona¹ V., R. Castelán-Vega, J. V. Tamaríz-Flores. 2008. Variación de las propiedades fisicoquímicas como respuesta al establecimiento de distintas actividades agropecuarias en los luvisoles de la sierra norte de Puebla. 4 (2):259 -268.
- Santa L. Leyva., A. Masaguer y Aimé Baldoquin. 2014. Efecto de sistemas de labranza en luvisoles dedicados a la producción de pastos. Vol. 37, No. 4.Pp 408-412.
- Saugier, B. y J.Y. Pontailier 2006. El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. Ecología en Bolivia, Vol. 41(3): pp. 71-85.
- Secretaria De Agricultura Y Recursos Hidráulicos. (SARH). 1992. Vegetación y uso de suelo. Hidrología . . Escala : 250000.

Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2004. Saber para proteger. Introducción a los Servicios Ambientales. México, D.F. 71Pp.

Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México. Pp 7-9.

Segura-Castruita, M. A., P. Sánchez-Guzmán., C. A Ortiz-Solorio. Y M. del C. Gutiérrez-Castorena, 2005. Carbono orgánico de los suelos de México TERRA Latinoamericana, Vol. 23, Núm. 1, pp. 21-28 Universidad Autónoma Chapingo México

Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson y A.M. Solomon, 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. Water, Air and Soil Pollution 70, pp. 3-15.

Snowdon P., J. Raison., H. Keith., K. Montagu, H. Bi., P. Ritson., P. Grierson., M. Adams., W. Burrows y D. Eamus. 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31. Australian Greenhouse Office, Canberra. 76 pp.

StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

SWIFT, M.J., O.W. HEAL. Y J.M., ANDERSON. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems, Studies in Ecology 5. Blackwell Scientific Publications, London. p. 323. Obtenido de http://books.google.com.mx/books?id=hSWMkhdPAC&pg=PA47&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false.

Vera A., L. Riera y W. Escobar. 2003. Rehabilitación de pastizales degradados y mejoramiento de la sostenibilidad de la ganadería en zonas intervenidas de la amazonia Ecuatoriana. Pp 1-26.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29- 38.

Warner B. R., Aravena y P. Moreno-Casasola. 2006. Cambio climático y reciclaje de carbono en los humedales costeros de México. Vol I: Pp 298-318.

Zambrano A., F. Franquis, A. Infante. 2004. Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. Rev. For. Lat. N° 35, pp 11-20.

Zamora C., J. C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido "la majada" municipio de Periban de ramos, Michoacán. Tesis Profesional. Facultad de Agrobiología, universidad michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Uruapan, Mich. 47 p.