

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Estimación De Almacenamiento De Carbono Orgánico En El Suelo, En Tres Especies De Pinos. (*Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*). En Sierra El Coahuilón, Arteaga, Coahuila, México.

Por:

JOSÉ RUBÉN CANCHOLA ALMANZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Estimación De Almacenamiento De Carbono Orgánico En El Suelo, En Tres Especies De Pinos. (*Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*). En Sierra El Coahuilón, Arteaga, Coahuila, México.

Por:

JOSÉ RUBÉN CANCHOLA ALMANZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Melchor García Valdez
Asesor Principal Interno


Dra. Dora Alicia García García
Asesor Principal Externo


Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor


M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021



Derechos de Autor y Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Autor principal



Jose Ruben Canchola Almanza
Firma y Nombre

Asesor principal



M.C. Melchor García Valdez
Firma y Nombre

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

PASANTE



José Rubén Canchola Almanza

DEDICATORIA

Para mis Padres

(Leonel Canchola Gómez. - María del Rocío Almanza Arreguin.)

Para ustedes mis Padres es dedicada esta tesis, y estas palabras de agradecimiento y amor, al igual que mi vida entera, porque mis logros y éxitos no hubieran sido posibles, sin el amor y el cariño que han dedicado a mí. Para ustedes que, desde el primer día, me tienen en sus corazones. Para ustedes que tanto quiero, aunque no se los diga, les dedico este trabajo de todo corazón y un abrazo que ojalá dure, para toda la vida.

Para ustedes mis Padres, que nunca olvido y siempre los llevo en mi corazón, no me canso de pedirle a Dios que los bendiga.

Para mis Hermanas

(Juana Elizabeth Canchola Almanza.- María del Rocío Canchola Almanza.)

Hermanas tenerlas a mi lado fue lo mejor de mi infancia, juntos construimos los juegos más especiales y divertidos, llenaron de luz y risas mi vida, en la juventud sus oportunos consejos y su sabiduría de vida me evitaron muchos problemas, sufrimiento sin sentido y su alegría y espontaneidad me llevó a las mejores fiestas y experiencias del momento, sin ese pasado hermoso, no sería lo que soy ahora, gracias a la vida por dejarlas ser mi hermanas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Gracias por darme la vida, por enseñarme a seguir el camino correcto, por darme salud y bienestar y por permitirme culminar esta etapa de mi vida satisfactoriamente.

A Mi Alma Mater

Por darme alojamiento durante estos cinco años en cuáles recibí mi formación profesional y cada uno de los momentos inolvidables.

A todos los maestros, e integrantes del departamento forestal, gracias por haber compartido su conocimiento y tenido paciencia durante todos estos años.

A mis compañeros, amigos de vida, amigos de la carrera.

Al ingeniero José Antonio Ramírez Días, por su gran amistad, hospitalidad, apoyo y comprensión durante todo este tiempo.

Al doctor Eladio Cornejo Oviedo, por ser mi tutor durante toda mi carrera y un gran amigo.

Al maestro en ciencias Melchor García Valdez, por sus consejos, por su atención y ayuda en el desarrollo de este estudio.

Al ingeniero Sergio Braham Sabag por su amistad, colaboración, disposición y sus aportaciones a ese trabajo.

Al doctor Pedro Pérez Rodríguez. Por su apoyo en laboratorio, colaboración, disposición y sus aportaciones a ese trabajo.

Al maestro en ciencias Juan Manuel Cepeda Dovala, por su apoyo y disponibilidad para concluir este estudio.

Al maestro de ciencias Fidel máximo Peña Ramos por su apoyo y disponibilidad para terminar el estudio y compartirme sus conocimientos.

INDICE GENERAL

I. RESUMEN	V
II. ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.3 Objetivos específicos.....	3
2.4 Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 Cambio climático.....	4
3.2 Ciclo del carbono.....	6
3.3 Emisiones de carbono en México	9
3.4 Protocolo de Kioto	9
3.5 Factores indirectos que condicionan el potencial de captura de carbono de los suelos	10
3.6 El carbono en ecosistemas forestales.....	11
3.7 Secuestro de carbono y la agricultura como sumidero de carbono	12
3.8 Intercambio neto de bióxido de carbono de las superficies vegetales.....	14
3.9 Captura de carbono.....	15
3.10 Estudios relacionados	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1 Descripción del área de estudio.....	22
4.1.1 Clima.....	22
4.1.2 Hidrología	23
4.1.3 Fisiografía	23
4.1.4 Geología	24
4.1.5 Edafología.....	24
4.1.6 Vegetación	24
4.1.7 Descripción botánica <i>Pinus rudis</i>	24
4.1.8 Distribución y ecología <i>Pinus rudis</i>	25
4.1.9 Distribución, Clasificación taxonómica y estatus de protección de <i>Pinus johannis</i>	25
4.1.10 Descripción botánica <i>Pinus flexilis</i>	26

4.1.11 Distribución y Ecología <i>Pinus flexilis</i>	27
4.2 Materiales	27
4.3 Metodología.....	28
4.4 Profundidad de muestreo y número de muestras.....	29
4.5 Cribado de las muestras de suelo	29
4.6 Estimación del PH.....	29
4.7 Densidad Aparente.....	30
4.8 Textura	31
4.9 Análisis del carbono orgánico en el suelo	34
4.10 Método estadístico	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
5.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO	37
5.1.1 Contenido de (PH).....	37
5.1.2 Densidad Aparente.....	38
5.1.3 Textura de Suelo	39
5.1.4 Nitrógeno Total	39
5.1.5 Materia Orgánica	40
5.1.6 Carbono Orgánico en el Suelo.....	41
5.1.7 Correlación entre las Propiedades Fisicoquímicas del suelo	43
5.1.8 Prueba de Tukey.....	44
5. CONCLUSIONES	47
6. LITERATURA CITADA.....	48

Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo del carbono, movimiento del C en las diferentes capas que forman la tierra, atmósfera, océanos, biosfera y troposfera.....	7
Figura 2. Flujos de CO ₂ y almacenes de carbono en un ecosistema forestal. Fuente Ordóñez, 1999; diseño Samuel Palacios.	8
Figura 3. Ubicación geográfica de la sierra el Coahuilón municipio de Arteaga y el área donde se realizó el estudio y tomaron las muestras.	22
Figura 4. Región hidrológica RH 24 bravo conchos. Fuente (Arévalo, 2015).....	23
Figura 5. Ubicación geográfica de los rodales muestreados en la sierra el coahuilón, Arteaga Coahuila.	28
Figura 6. Cribado y secado de las muestras de suelo.	29
Figura 7. Procedimiento de laboratorio para la obtención del pH.	30
Figura 8. Obtención de la densidad aparente del suelo	31
Figura 9. Determinación de la textura del suelo en laboratorio por el procedimiento de Bouyoucos.	32
Figura 10. Triangulo de texturas de suelo.....	33
Figura 11. Pasos para la obtención de COS pesado, reposo y titulación de las muestras	35

Índice de Tablas y Gráficos

Tabla 1. Tabla de corrección en temperatura para la prueba de textura.....	33
Tabla 2. Porcentajes de arena, limo y arcilla. Y su tipo de suelo de acuerdo al triángulo de texturas.	39
Tabla 3. Matriz de correlación entre las variables fisicoquímicas del suelo analizado. PH= potencial de hidrogeno. D.A.= densidad aparente. C.O.S.= carbono orgánico en el suelo. M.O.=materia orgánica. N.T.= nitrógeno total.....	44
Tabla 4. Valores de medias en el COS (mg/ha-1) y su agrupación según la prueba de Tukey.	45
Grafica 1 Niveles de pH en los rodales.....	37
Grafica 2 Valores de densidad aparente de cada una de los rodales.....	38
Grafica 3 Valores de densidad aparente en relación con los valores de textura de las muestras obtenidas en cada rodal.	39
Grafica 4. Valores de nitrógeno total promedio para cada rodal.....	40
Grafica 5. Resultados del porcentaje de materia orgánica por rodal.....	41
Grafica 6 Correlación positiva entre porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total.....	41
Grafica 7 Cantidad de carbono orgánico en el suelo por rodal.	42
Grafica 8 Correlación entre positiva entre materia orgánica, nitrógeno total y carbono orgánico en el suelo.....	44
Grafica 9. Comparación de medias de COS de acuerdo a la prueba de Tukey.....	45

I. RESUMEN

En la superficie terrestre, el suelo es el principal reservorio de Carbono orgánico. La capacidad de almacenamiento de carbono de los suelos depende de sus propiedades y usos. El objetivo del presente trabajo es estimar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, en tres especies de pinos. (*Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*). En sierra el Coahuilón, Arteaga Coahuila, México. El estudio se realizó en cuatro rodales con exposición norte ubicados en diferentes puntos entre sí, de 3 diferentes especies de pinos y un rodal sin vegetación arbórea el cual se designó como testigo, en donde se obtuvieron las muestras de suelo de acuerdo la metodología propuesta por la NOM-021-SEMARNAT-2000, eligiendo al azar un punto de partida para definir el plano del muestreo que cubra homogéneamente la unidad. Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en el contenido de COS (carbono orgánico en el suelo) que se encuentran bajo diferentes tipos de vegetación, el rodal de *Pinus flexilis* almacenan mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo, superior al de los rodales de pino rudis y johannis respectivamente. En el caso del rodal 4 el testigo, sus valores fueron altos en comparación a los rodales 1 *rudis* y 3 *johannis* los cuales son los de menor cantidad de COS almacenado. El rodal 4 "testigo", sufrió de disturbios y cambios de uso de suelo, se practicó agricultura para después ser abandonado he invadido por una cubierta vegetal de zacates y malezas, las cuales incorporan más COS. Por lo que se puede decir que esté rodal sufrió un cambio gradual ascendente en las concentraciones de carbono orgánico en el suelo. El contenido de COS debería ser considerado para determinar el impacto del manejo forestal o de cualquier otra política de conservación.

II. ABSTRACT

On the earth's surface, soil is the main reservoir of organic carbon. The carbon storage capacity of soils depends on their properties and uses. The objective of the present work is to estimate soil organic carbon storage in three pine species. (*Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*). In Sierra el Coahuilón, Arteaga Coahuila, Mexico. The study was conducted in four stands with northern exposure located at different points between them, of 3 different pine species and a stand without tree vegetation which was designated as a control, where soil samples were obtained according to the methodology proposed by the NOM-021-SEMARNAT-2000, choosing at random a starting point to define the sampling plane that homogeneously covers the unit. The results obtained show significant differences in the content of COS (soil organic carbon) found under different types of vegetation, the *Pinus flexilis* stand stored more organic carbon in the soil, higher than that of the *Pinus rudis* and *Pinus johannis* stands, respectively. In the case of stand 4, the control stand, its values were high in comparison to stands 1 *rudis* and 3 *johannis*, which have the lowest amount of stored COS. Stand 4, the "witness", suffered from disturbances and changes in soil use, agriculture was practiced and then abandoned and invaded by a vegetation cover of grasses and weeds, which incorporate more COS. Therefore, it can be said that this stand underwent a gradual upward change in soil organic carbon concentrations. COS content should be considered to determine the impact of forest management or any other conservation policy.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la cuestión del cambio climático se instaló con marcado acento en los debates internacionales de instituciones, gobiernos, agencias de cooperación, investigadores y medios de comunicación y para algunos analistas se trata del principal problema que deberá enfrentar la humanidad en los próximos años. La manera en que se ha dado énfasis al tema climático oculta el significado y la importancia de la crisis ambiental y civilizatoria, cuestión que abre el camino para que surja la propuesta de economía verde (Vania et al., 2016).

La noción de economía verde se ha pensado para redirigir las inversiones económicas al llamado “capital natural” y de esa manera enfrentar la crisis financiera, con el discurso de enfrentar el cambio climático; con ese propósito, se dan a las empresas estímulos fiscales para que inviertan en energías llamadas limpias o verdes (como agro combustibles) y para ampliar los mercados de carbono (Ribeiro, 2011).

El incremento en la atmósfera de los llamados gases de invernadero (GI) y el consecuente cambio climático tendrán efectos importantes en el siglo XXI. Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, son de esperar serios efectos negativos -aunque se esperan también algunos efectos positivos- por lo que es esencial que sean tomadas un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa. Para ello, deben ser desarrolladas nuevas estrategias y políticas apropiadas para el manejo de la agricultura y los bosques. Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación. A partir del Protocolo de Kyoto esto se conoce como Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación (LULUCF) y concierne los artículos 1.3 y 1.4 del Protocolo (IPPC, 2001)

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). El COS es uno de los principales indicadores para determinar la calidad del suelo, y su efecto positivo sobre la sustentabilidad de los sistemas productivos (Martínez et al., 2008).

El COS afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad, sustentabilidad y capacidad productiva. El C orgánico interviene en las propiedades biológicas, básicamente actuando como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo. La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo. Existen prácticas de manejo que generan un detrimento del COS en el tiempo, a la vez hay prácticas que favorecen su acumulación (Martínez et al. 2008).

El manejo agrícola convencional de suelos, con uso intensivo del arado, promueve la liberación de C hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de C en formas orgánicas dentro del suelo. El sistema suelo -vegetación es de suma importancia en los cambios de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, dependiendo de la velocidad de formación y descomposición del carbono orgánico en el suelo (COS) (Van Bremen y Feijtel, 1990); razón por la cual, el recurso suelo es uno de los reservorios terrestres de C más grandes (Post et al., 1990).

1. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Comparar la concentración de carbono orgánico en el suelo, en tres rodales y un testigo de pinos (*Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*).

2.3 Objetivos específicos

- Estimar el almacenamiento de carbono orgánico a una profundidad de 0 - 20 cm.
- Determinar propiedades físico - químicas del suelo en los rodales de estudio.
- Determinar la correlación existente entre propiedades físicas y químicas del suelo.
- Determinar la correlación existente entre el almacenamiento de carbono en relación a las especies estudiadas.

2.4 Hipótesis

Ha. Existe diferencia de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo entre especies de pinos en distintos rodales

Ho. No existe diferencia de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo entre especies de pinos en distintos rodales

2. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Cambio climático

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.

La cuantificación de biomasa de árboles es importante, porque permite determinar la cantidad de Carbono que se encuentra almacenado en los tejidos de las plantas y componentes de la vegetación (Méndez *et al.*, 2012), incluso en hojarasca y necromasa (Rojo *et al.*, 2003). Del conocimiento de la dinámica del Carbono en los ecosistemas forestales y las modificaciones de sus flujos, depende la propuesta de estrategias dirigidas a la mitigación del cambio climático (Yerena *et al.*, 2011), la preocupación por dicho fenómeno ha impulsado a la realización de estudios de captura de Carbono en los últimos años (Návar et al., 2004). El dióxido de carbono (CO₂) es el Gas de Efecto Invernadero (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).

3.2 Ciclo del carbono

Para comprender la dinámica de acumulación e intercambio de GEI entre los componentes del sistema planetario como la atmósfera, la biosfera, la litosfera y la hidrosfera, es indispensable comprender el funcionamiento del ciclo global del carbono, identificando sus fuentes, flujos y almacenes. En los ecosistemas terrestres, los bosques representan importantes reservorios de carbono (C), dentro de ellos se puede identificar a la vegetación y a los suelos como los depósitos (o almacenes) más significativos de este elemento químico. Los cambios en el uso del suelo que están transformando estos ecosistemas, modifican su papel dentro de la dinámica del carbono; por lo tanto, es necesario caracterizarlos y cuantificar los contenidos de carbono orgánico en estos almacenes. El carbono es el cuarto elemento de mayor abundancia en el universo y es absolutamente esencial para la vida que se desarrolla en nuestro planeta. En realidad, el carbono constituye la definición propia de la vida y su presencia o ausencia ayuda a definir si una molécula es considerada orgánica o inorgánica (Harrison, 2003).

El carbono se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza: en el agua en forma de carbonatos disueltos, en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO₂) y en la tierra formando parte de las rocas calizas (Harrison, 2003). Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que se obtienen como resultado de la fotosíntesis y los procesos metabólicos realizados durante su desarrollo, mismos que son liberados cuando éstos mueren; aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento (Smith et al., 1993).

El movimiento del C en las diferentes capas que forman la tierra como la atmósfera, los océanos, la biosfera y la troposfera, está descrito en el ciclo del carbono (Figura 1). Este ciclo, consiste de varias fuentes y sumideros de almacenamiento de C y los procesos (naturales y antrópicos) por los cuales varias de estas fuentes y sumideros intercambian C. Si la cantidad de carbono que se emite de una fuente es mayor de la que se captura, entonces el proceso estará considerado un emisor neto de C; pero si la cantidad de carbono que se emite es menor de la que se almacena, entonces se estará considerado un sumidero neto de C (Ordóñez, 1999).

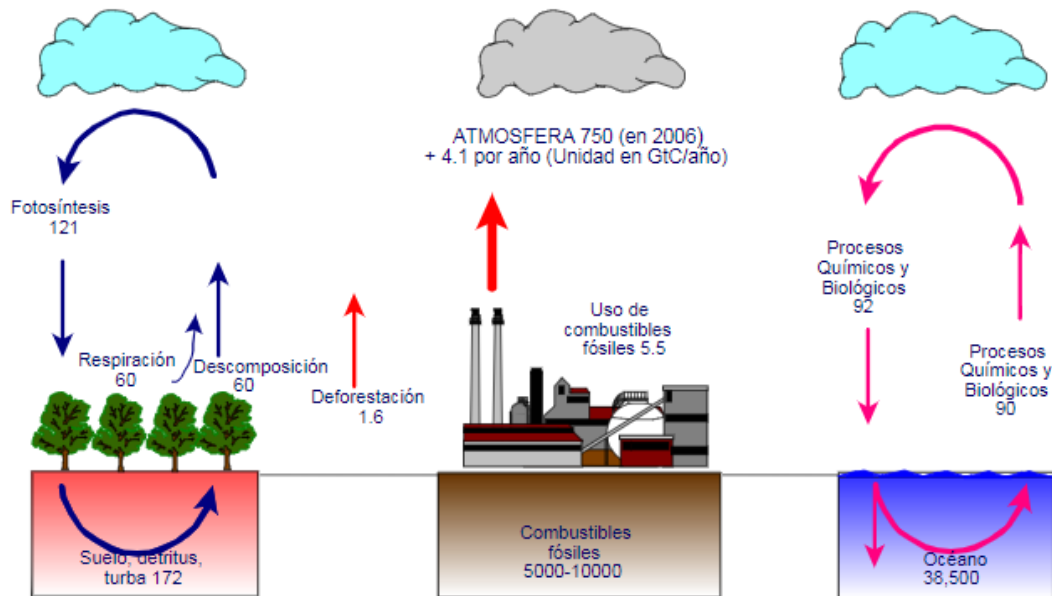


Figura 1. Ciclo del carbono, movimiento del C en las diferentes capas que forman la tierra, atmósfera, océanos, biosfera y troposfera.

organismos fotosintetizadores. En este proceso el CO_2 y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno en forma simultánea que pasan a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía al organismo y el CO_2 producto del metabolismo se libera a través de las hojas o raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también liberan CO_2 en su respiración. 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 transforme en CO_2 y CH_4 y regrese a la atmósfera

(Schimel, 1995; Smith et al., 1993). La fijación de carbono por bacterias, es otra manera de capturar el CO_2 de la atmósfera, aunque cuantitativamente menos importante que la fijación de carbono por las plantas. Cuando los organismos vegetales son comprimidos por deposición, no son atacados por las bacterias, sino que suceden una serie de cambios químicos para formar turba, luego carbono pardo o lignita y finalmente carbono. Los cuerpos de algunos organismos marinos pueden tener cambios semejantes y formar a largo plazo petróleo. (Ordóñez, 1999). En el océano, algunos organismos del fitoplancton y los corales usan carbono para producir exoesqueletos de carbonato de calcio (CaCO_3), los cuales se sedimentan en el fondo del océano formando lodos cuando muere el mismo organismo, estos pueden comprimirse a medida que pasa el tiempo y eventualmente se transforman en roca caliza. La materia orgánica excluyendo al carbonato de calcio, es la que se puede transformar en compuestos como el petróleo (Harrison, 2003).

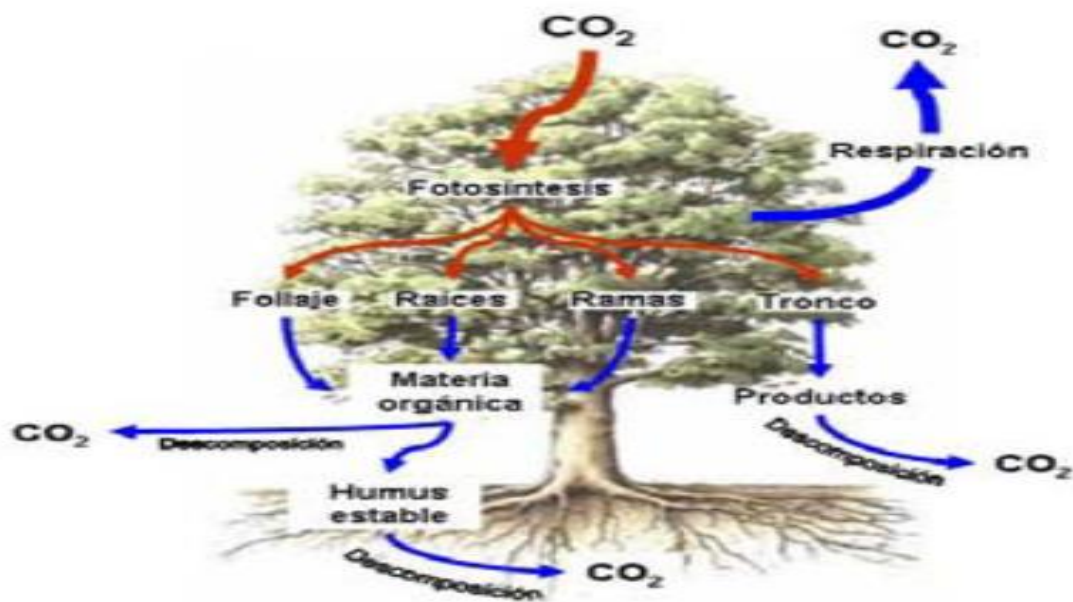


Figura 2. Flujos de CO_2 y almacenes de carbono en un ecosistema forestal. Fuente Ordóñez, 1999; diseño Samuel Palacios.

El CO_2 atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Este gas participa en la composición de todas las

estructuras necesarias (como los tallos, troncos, hojas, flores, ramas y raíces) para que ellas puedan desarrollarse y al crecer, incrementan su biomasa (Ordóñez, 1999). Durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura de la biomasa de un árbol por ejemplo y hasta que es enviado al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado en el momento de su liberación, ya sea por la descomposición de la materia orgánica o por la combustión de la biomasa, el CO₂ fluye para regresar al ciclo biológico del carbono (Ordóñez, 1999).

3.3 Emisiones de carbono en México

En nuestro país, los principales emisores de GEI son el sector de energía por el uso de combustibles fósiles con 83.8 millones de toneladas de carbono (MtC). (Gay y Martínez, 1995), el cambio en el uso del suelo y actividades relacionadas con el sector forestal con 30.2 MtC (Maser et al., 1995) y los procesos de la industria del cemento con 3.1 MtC, (Gay y Martínez, 1995) dando un total de 117.1 MtC. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 1995) estima que las emisiones de México contribuyen con el 1.45 % de las emisiones totales de carbono que se dan en nuestro planeta cada año.

A nivel nacional, los bosques son actualmente la segunda fuente de emisiones de GEI, contribuyendo aproximadamente el 30% del total (Gobierno de México, 1997). Así mismo, los bosques de México pueden ser extremadamente vulnerables al cambio climático (Villers y Trejo, 1997) La capacidad de almacenamiento de C en estos bosques se está perdiendo rápidamente por los procesos de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales. (Ordóñez 2008)

3.4 Protocolo de Kioto

Uno de los puntos tratados en el protocolo, fue el compromiso hecho por los países sobre la disminución de sus emisiones a la atmosfera, de seis gases que

provocan el efecto invernadero, dióxido de carbono (CO₂), (considerado como el gas más abundante en la atmósfera), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Pefluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆) en por lo menos un 5% en promedio para los años de 2008 a 2012, La intensidad de carbono global disminuyó un 19% ente 2000 y 2015 de 0,38 a 0,31 kilogramos de dióxido de carbono por dólar de valor agregado. En 2019, el aumento fue más pronunciado y llegó a un 2,6% debido al gran aumento de incendios forestales (PNUMA 2020).

Por su parte el Protocolo de Kyoto adoptado en 1997, estableció la obligación legal de los países desarrollados y países con economías en transición, a economías de mercado para reducir en un 5.2% las emisiones de los GEI comparado con los niveles de 1990 (Aquiles *et al.*, 2010). Mediante este compromiso surge el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), instrumento por el cual los países desarrollados patrocinan proyectos cuyo objetivo sea disminuir las emisiones de GEI en los países en desarrollo que firmaron el Protocolo y así obtener Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), los cuales son aplicables para cumplir con sus propias metas de disminución o colocarlos en el mercado internacional del Carbono (Carrillo *et al.*, 2008).

3.5 Factores indirectos que condicionan el potencial de captura de carbono de los suelos

En ese sentido, la calidad del suelo se encuentra condicionada por sus propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes y estas a su vez son resultado de las interacciones entre los factores que durante miles de años dieron origen y formación a los horizontes del suelo. Factores como: a) las variaciones climáticas de la región. b) el material parental original. c) el modelamiento del relieve, d) el ciclaje de la vegetación. e) la actividad biológica y f) las alteraciones causadas por el hombre (Bautista Zúñiga. Luna Pabello. & Durán de Bazua., 1995). Todos ellos considerados como factores indirectos condicionantes en el

proceso de captura de carbono de los suelos y cuya relación se menciona a continuación de forma general.

El factor climático (principalmente la precipitación y la temperatura) influye indirectamente en la captura de carbono de los suelos al condicionar la velocidad de descomposición del material orgánico, la productividad neta primaria de las plantas y su distribución de acuerdo al tipo de vegetación. Por ejemplo, en regiones desérticas, la falta de agua impide la oxidación del material orgánico que está en la superficie del suelo (L. Bohn, L. MacNeal, & A. O Connor, 1993). La topografía ejerce gran influencia en la cantidad de materia orgánica del suelo en dos formas, la dirección de la pendiente y el drenaje del suelo.

La roca madre determina el contenido de materia orgánica principalmente a través de su efecto en la textura del suelo. Por ejemplo, las arcillas montmorillonitas tienen capacidad de adsorción particularmente alta para las moléculas orgánicas y son notablemente efectivas para proteger a los constituyentes nitrogenados contra el ataque de los microorganismos (L. Bohn, L. MacNeal, & A. O Connor, 1993).

Aunque las actividades humanas no determinan los procesos formadores del suelo, si se consideran como el principal factor de su transformación. Esto quiere decir, que la cantidad de carbono orgánico del suelo no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es fuertemente afectada por el manejo del suelo. En ese sentido, existen prácticas de manejo que generan un detrimento del COS en el tiempo, a la vez hay prácticas que favorecen su acumulación (Martínez H., Fuentes E., Acevedo H., 2008).

3.6 El carbono en ecosistemas forestales

Una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (e.g. follaje, ramas,

raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, sus ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa); así como altura y grosor de su tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar, originando a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que, a su vez aporta nuevamente CO₂ al entorno (Ordóñez, 1999). Los muebles realizados en madera tienen un tiempo de vida determinado después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO₂ producto de su descomposición a la atmósfera (Ordóñez, 1999).

Durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es reemitido (ya sea al suelo o a la atmósfera), se considera que se encuentra almacenado. En el momento de liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o la quema de la biomasa) el carbono fluye para regresar a su ciclo (Ordóñez, 1999).

EL problema fundamental para la determinación precisa de las emisiones netas de los ecosistemas forestales, es la gran incertidumbre en los procesos de cambio de uso del suelo, específicamente, cuánto y cómo se pierden los bosques a través del tiempo (IPCC, 1995; Masera et al., 1997).

3.7 Secuestro de carbono y la agricultura como sumidero de carbono

El secuestro de carbono es el proceso de transferencia de dióxido de carbono proveniente de la atmósfera hacia el suelo mediante residuos de cultivos y otros sólidos orgánicos y en una forma que no esté reemitido inmediatamente, dicha transferencia o secuestro ayuda a la compensación de las emisiones por combustión de combustibles fósiles y otras actividades que emiten carbono, este secuestro puede llevarse a cabo mediante estrategias de manejo que agreguen grandes cantidades de biomasa al suelo, provoca alteraciones mínimas en él,

conservación del agua y suelo, mejora la estructura y actividad de la fauna del suelo(Sundermeier et al, 2010).

Aunque el protocolo de mecanismos de desarrollo limpio (MDL) han probado El secuestro de carbono al ras del suelo a través de la reforestación y la forestación, el suelo puede representar incluso un Sumidero de carbono más grande, en este sentido uno de los desafíos para la incorporación de la agricultura en los acuerdos Pos- Kyoto (después del 2012) es el desarrollo de metodologías sencillas y eficaces para medir, monitorear y verificar el carbono en el suelo en los sistemas agrícolas,(Segnini 2011).

El concepto de sumidero o almacén en relación con el cambio climático fue adoptado en la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) DE1992, en dónde se define al sumidero cómo: “Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero” el CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de la diferencia entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante la respiración, la diferencia se convierte en biomasa, por lo tanto la vegetación natural y los cultivos agrícolas pueden convertirse en sistemas efectivos que coadyuvan a la reducción de los niveles de CO₂ atmosféricos (Carvajal 2011).

Muchas de las prácticas de manejo y conservación pueden aumentar el carbono en el suelo, así como carbono sobre el suelo en forma de biomasa, en partículas por las prácticas de conservación del suelo, por ejemplo: la siembra directa, labranza reducida, terrazas), la incorporación de residuos de cosecha, el aumento de la intensidad de cultivo, fertilización, y la conversión de tierras de cultivo a pastos permanentes o bosques (Segnini 2011).

3.8 Intercambio neto de bióxido de carbono de las superficies vegetales

El intercambio neto del ecosistema se define como la medida de la cantidad neta del carbón que entra y sale del ecosistema, usualmente asociada con el flujo de dióxido de carbono del ecosistema a la atmósfera (USDA, 2013). Los ecosistemas vegetales tienen la capacidad de asimilar el carbono, mediante la fotosíntesis e incorporación a su estructura, por lo cual son importantes las reservas de carbono para la planta (Benjamín y Masera, 2001). El balance de los flujos de CO₂ entre la atmósfera y la vegetación, es decir, el intercambio neto del ecosistema, por sus siglas en inglés (NEE) indica la tendencia de un ecosistema, ya sea para fijar o liberar CO₂, el NEE es el balance entre la fotosíntesis y la respiración de las plantas (Braswell et al., 2005; Aubinet et al., 2009; Xiao et al., 2013). Además de las hojas, comúnmente consideradas como las fuentes primarias de la producción de fotosíntesis, las plantas superiores pueden utilizar potencialmente casi todas las estructuras vegetativas y reproductivas, para llevar a cabo la asimilación fotosintética del CO₂ atmosférico. Las hojas, los tallos y las porciones verdes estériles, optimizados para la recolección de luz y el rendimiento fotosintético, se caracterizan por la asimilación fotosintética neta utilizando principalmente el dióxido de carbono atmosférico. La actividad fotosintética no realizada por las hojas y relacionada con la re-fijación del CO₂, se considera una estrategia vegetal adicional de gran importancia para la adquisición del carbono, debido a que éste constituye hasta un 50% de la biomasa producida (Aschan y Pfanz, 2003). Las tierras de cultivo cubren el 12,6% de la superficie terrestre (FAO, 2014) y por lo general poseen un mayor intercambio neto de bióxido de carbono que los ecosistemas naturales (Verma et al., 2005, Barford et al., 2001). La técnica de la covarianza Eddy es un método ampliamente utilizado y eficaz para el estudio de las características del microclima y flujo de CO₂ en diferentes ecosistemas (Gou et al., 2014).

3.9 Captura de carbono

Una de las alternativas para reducir la cantidad de emisiones de CO₂ a la atmósfera es implementar el uso de biocombustibles, lo que posibilita la disminución en el uso de los combustibles fósiles. Otra opción es la captura de Carbono. Todos los vegetales utilizan el CO₂ atmosférico en la fotosíntesis, por lo tanto, las áreas con cubierta vegetal son reservorios potenciales de carbono, que, si son bien manejados, pueden mantener el carbono secuestrado por varios años, incluso es factible que su concentración crezca de manera continua (Carrillo et al., 2008).

Los bosques cubren una superficie del 27% de la superficie terrestre con proporciones del 25% para bosques templados, el 33%, para bosques boreales y 42% respectivamente para los bosques tropicales y contienen el 77% de la biomasa viva. Se estima que el 80% del carbono que la vegetación y suelos intercambian con la atmósfera corresponde a los bosques. Estos, al incorporarse el carbono en el crecimiento de los árboles, actúan como sumideros (2,30 GtC año⁻¹ en términos muy amplios) y juegan un papel importante en el balance de carbono contribuyendo a reducir el contenido en la atmósfera del CO₂ procedente de las emisiones antropogénicas (Pardos, 2010).

México presenta condiciones muy propicias para las acciones de mitigación en el área de recursos naturales. En 1990, aproximadamente 25% de la superficie del país (50 millones de hectáreas) estaba cubierta por bosques y selvas. De este total, un poco más de la mitad eran bosques (25.5 millones ha) y ligeramente menos correspondían a la vegetación tropical (24.1 millones ha). Adicionalmente existían alrededor de 62 millones de hectáreas forestales con vegetación semiárida, como matorrales entre otros tipos (Jong et al., 2004).

Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Ordoñez y Masera, 2001). Los

bosques pueden ser muy vulnerables al cambio climático y representan un almacén de carbono aproximado de 8'000,000 Gg, valor equivalente a las emisiones mundiales de CO₂. Su capacidad de almacenamiento de carbono se pierde rápidamente por la deforestación y degradación de los ecosistemas forestales (Cruz, 2007). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono se considera una de las opciones para reducir las emisiones atmosféricas de CO₂ generadas por las actividades humanas (IPCC, 2005).

3.10 Estudios relacionados

Un estudio realizado en el Área Natural Protegida conocida como el cerro "Potosí" en Galeana, Nuevo León. Tuvo como objetivo determinar a través de análisis dendroclimáticos y la determinación de contenido de carbono, si existen cambios en los anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* como respuesta al cambio climático. Para lo cual se desarrolló una serie dendrocronológica de anillo, Observando que existe un aumento en la variabilidad climática en los últimos años en la región, En relación al análisis de contenido de carbono en los anillos de crecimiento, no hubo evidencias de un incremento en el contenido de carbono en los últimos 90 años, que pueda atribuirse al aumento del CO₂ atmosférico, es posible que en caso de presentarse tal efecto, la complejidad del sistema natural lo atenúa o bien los anillos de crecimiento de la especie estudiada no respondan al mismo. 1920-1929 48.88%CO₂ /1940-1949 49.36%CO₂ /1960-1969 49.10%CO₂ /1980-1989 48.38%CO₂ / 2000-2009 47.88%CO₂. (Canizales, 2011).

En un estudio realizado por Quiroz (2013) en un predio con actividad de aprovechamiento forestal de la comunidad de Cebatí, ubicado en el Municipio de San José del Rincón, Estado de México. En el que se llevó a cabo la cuantificación de carbono en suelos de bosque templado, identificándose 4 especies: pino, encino, oyamel y cedro. Se adicionó un sitio de muestreo con uso de suelo de pradera con el fin de comparar el almacenamiento de carbono. Los resultados señalan que la especie arbórea de encino presenta mayor contenido de carbono

en suelo con 196.367 t C/ha, para la especie de cedro se tiene una acumulación de carbono de 172.776 t C/ha, la especie de pino presenta un contenido de 141.501 t C/ha, mientras que la especie de oyamel muestra el menor contenido de carbono 138.493 t C/ha. Además, el suelo de pradera presenta 179 497 t C/ha., los resultados indican que el almacenamiento en suelo en todas las especies arbóreas es mayor en los primeros 25 cm disminuyendo éste con el aumento en la profundidad.

(Osuri et al., 2020) realizaron un estudio en los Ghats occidentales de la India, donde las leyes de conservación de finales del siglo 20 prohibieron la extracción de madera de plantaciones monodominantes y bosques naturales dentro de las reservas naturales, evaluaron los bosques y plantaciones para el almacenamiento de C en el suelo y la magnitud y estabilidad temporal de las tasas de captura fotosintética de C (producción primaria bruta). Específicamente, probaron la hipótesis de que los bosques ricos en especies muestran una mayor estabilidad temporal de la captura de C, y son más resistentes a la sequía, que las plantaciones monodominantes. Las reservas de carbono en las plantaciones monodominantes de teca (*Tectona grandis*) y eucalipto (*Eucalyptus* spp.) fueron entre un 30% y un 50% de C más bajas que en los bosques naturales de hoja perenne, pero diferían poco de los bosques húmedos y caducifolios. Las plantaciones tuvieron tasas promedio de captura de C entre un 4% y un 9% más altas (estimadas utilizando el Índice de Vegetación Mejorada-EVI) que los bosques naturales durante las estaciones húmedas, pero hasta un 29% menos de captura de C durante las estaciones secas durante el período 2000-18. En ambas estaciones, la tasa de captura de C por las plantaciones fue menos estable a lo largo de los años, y disminuyó más durante los años de sequía (es decir, una menor resistencia a la sequía), en comparación con los bosques naturales.

Estudio realizado en La Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca en México, con el objetivo de analizar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), bajo diferentes condiciones forestales. Donde se definieron seis grupos de muestreo,

basándose en tres condiciones del arbolado (conservado, aprovechado y perturbado) y dos tipos de vegetación (oyamel y pino-encino). Para cada grupo se calculó el contenido de carbono. Los resultados muestran diferencias en el contenido de COS en suelos que se encuentran bajo diferentes tipos de vegetación y condiciones del arbolado. Los rodales de oyamel conservado tienen en promedio 153 MgC·ha⁻¹ de COS, mientras que los aprovechados y perturbados tienen 95 y 125 MgC·ha⁻¹, respectivamente. Los resultados muestran que el promedio de COS en bosques conservados de pino-encino es de 103 MgC·ha⁻¹, mientras que los aprovechados y perturbados tienen 39 y 13 MgC·ha⁻¹, respectivamente. Los bosques conservados almacenan entre 40-80 % del COS en los horizontes A del suelo. El contenido de COS debería ser considerado para determinar el impacto del manejo forestal o de cualquier otra política de conservación. (Pérez-Ramírez et al., 2013)

Los contenidos de carbono orgánico del suelo (COS), biomasa microbiana (C_{bm}) y coeficientes metabólicos (qCO₂) son indicadores de sostenibilidad. En México se carece de información sobre contenidos óptimos de COS, C_{bm} y qCO₂ en bosques templados, aunque conocerlos es importante para diseñar estrategias de uso y manejo adecuado de suelos forestales, generalmente someros y vulnerables. Se realizó una investigación en nueve áreas naturales protegidas de México con bosques templados sobre suelos desarrollados de material ígneo, sedimentario o complejos metamórficos. Entre 2004 y 2009 se seleccionaron 187 sitios con rodales maduros de especies de los géneros *Pinus* y *Abies* donde se recolectaron suelos superficiales para determinar los contenidos de COS, C_{bm}, qCO₂ y carbono en mantillo o necromasa (C_{nm}) El contenido promedio de COS fue superior a 100 Mg C ha⁻¹ y el C_{bm} osciló entre 0.25 y 2.6 Mg C ha⁻¹. Después del suelo, el mantillo fue la segunda reserva de carbono (C_{nm}) con promedio de 45 Mg C ha⁻¹. Los suelos forestales sobre rocas sedimentarias y metamórficas, tuvieron mayores contenidos de COS (menor proporción de C_{bm}, mayores tasas C: N y menor eficiencia microbiana) que los observados en suelos derivados de material sólido y gases (menor tasa C:N y mayor eficiencia

microbiana). Bajo especies del género *Pinus* hubo menos COS que bajo las del género *Abies* en cuyos bosques se presentan estratos herbáceos y arbustivos con mayor diversidad vegetal que contribuyen al aumento de COS. (Cruz–Flores et al., 2011)

El carbono orgánico (CO) y el pH de los suelos son indicadores clave de la salud del suelo. El objetivo de ese trabajo fue relevar el contenido de CO y pH actual (0-20 cm) de los suelos agrícolas de las regiones pampeana y extra pampeana de la Argentina y realizar mapas con ambas variables, utilizando la mediana de cada partido. Ambos métodos produjeron mapas similares de CO y pH, Los valores de CO variaron de 5,5 a 38,0 g kg⁻¹, determinándose los contenidos más bajos al oeste y norte, y los más elevados al sudeste (SE) de la región. Los suelos de la mayor parte del área relevada presentaron valores de pH de 6 a 7,5, salvo algunos del norte de Buenos Aires, centro-sur de Santa Fe y este de Córdoba que mostraron valores de pH de 5,5-6. El contenido de CO manifiesta una tendencia declinante e indica la necesidad de aplicar prácticas de manejo de suelo tendientes a revertir este proceso degradativo. (Hernán et al., 2011)

Estudio relacionado con la captura de carbono fue el realizado en diez asociaciones de manglar y nueve clases de geoformas de la región de Marismas Nacionales, en el estado de Nayarit, se recolectaron un total de 254 muestras compuestas en los primeros -20 cm de suelo, en julio-agosto de 2004, en ellas se determinó el contenido de carbono orgánico (COS) en la fracción mineral. En la época de lluvias, los suelos de la clase, de geoforma Islote tuvieron el mayor contenido de COS, con 128.5 t C ha⁻¹; mientras que a los de la Barra arcillosa les correspondió el menor con 54.6 t C ha⁻¹; estas diferencias fueron significativas ($F = 4.02$, $gl = 8$, $p = 0.0003$). Respecto a la asociación de manglar, el valor más alto de COS se estimó para la combinación *Laguncularia racemosa* - *Rhizophora mangle*, con 106.7 t C ha⁻¹ y más bajo en la de *R. mangle* -*L. racemosa* -*A. germinans*, con 73.7 t C ha⁻¹; aunque no fueron significativas ($F = 2.28$, $gl = 9$, $p = 0.0204$). De acuerdo con los resultados obtenidos, los manglares de Marismas

Nacionales que más contribuyeron al contenido de C en el suelo se encontraron en las geoformas de clase orilla y con predominio de *L. racemosa* y *A. germinans*. (Valdés, 2011).

El Suelo de Conservación (SC) del Distrito Federal es un reservorio de carbono, por lo que es importante contar con datos sobre su capacidad de almacenamiento bajo diferentes tipos de cobertura vegetal. En este trabajo se estimó el contenido de carbono orgánico total en suelos (COS) de áreas con cobertura de bosque, uso agrícola y en áreas reforestadas. Se delimitaron unidades geomorfo genéticas que sirvieron de base para el muestreo de suelos. En total se estudiaron 50 sitios con muestras de suelo tomadas a una profundidad de 0-30 cm con diferente cobertura vegetal. Se determinó la cantidad de carbono orgánico total en el suelo por hectáreas (COS) a partir de una ecuación que considera la densidad aparente, porosidad y superficie. El mayor contenido de COS se presentó en los suelos de sitios reforestados con *Abies religiosa*, *Pinus spp.*, y *Cupressus*. Los suelos agrícolas contienen menos de la mitad de COS que los suelos forestales. Considerando cuatro intervalos de niveles de almacenamiento de carbono orgánico; las categorías fueron: Muy Alto (>150 Mg ha⁻¹), Alto (100-150 Mg ha⁻¹), Medio (50-100 Mg ha⁻¹) y Bajo (<50 Mg ha⁻¹), Es necesario evaluar, desde una perspectiva económico-ambiental, los servicios ecosistémicos que ofrece el SC, en este caso como almacén de carbono en el suelo, a fin de que los estímulos económicos sean atractivos para los poseedores de la tierra. (Vela, 2012)

Los bosques de niebla (BN) de Michoacán, México, enfrentan fuertes presiones de extracción forestal y cambio de uso de suelo a agricultura, las cuales pueden afectar las funciones ecológicas de los suelos. Se realizó un estudio donde se identificaron los principales suelos de un BN en Michoacán, y se evaluaron sus contenidos de carbono orgánico (COS) y capacidad de retención de agua. El diseño del muestreo fue estratificado, considerando diferentes posiciones de ladera. Ocho perfiles de suelo de 1 m de profundidad. Los grupos de suelos identificados, Andosol, Alisol, Umbrisol, mostraron un grado de intemperismo

relativamente alto, acidez de alta a neutra y saturación de bases baja. El contenido de COS osciló de 92 a 152 Mg ha⁻¹, el 55 % se distribuyó en los primeros 30 cm, y no hubo diferencias de contenido entre grupos de suelo. (Anaya, 2016).

El trabajo realizado por (Bojórquez et al., 2015) menciona que las reservas de carbono orgánico en los suelos (COS) y sus cambios en el tiempo son un tema ambiental de actualidad, asimismo las pérdidas de COS que ocurren con la conversión de ecosistemas naturales a agro sistemas, contribuyen con emisiones a la atmósfera, al calentamiento global y el cambio climático. El objetivo de ese trabajo fue estudiar los cambios en las reservas de COS bajo diferentes coberturas de la cuenca del río Mololoa, Nayarit, México. El análisis de los cambios se realiza por diferencia en las reservas de COS en los primeros 20 cm de 13 perfiles de suelos con diferentes coberturas, dos en bosques de encino, dos en bosques de pino, uno en pastizal, uno en cultivo de aguacate y siete en terrenos cultivados con caña de azúcar. Las coberturas estables de bosque y pastizal generan ganancias en las reservas de COS; siendo el pastizal el que registra la mayor cantidad (2,65 Mg ha⁻¹ año⁻¹), seguido por el bosque de encino (0,40-0,47 Mg ha⁻¹ año⁻¹), el bosque de pino (0,15-0,38 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y la arboleda de aguacate (0,29 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Mientras que la cobertura de cultivo de caña de azúcar generó pérdidas en las reservas de COS, entre 0,12-0,84 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

Las muestras de suelo se colectaron ejido de Nuncio, en la Sierra el Coahuilón, municipio Arteaga, Coahuila, ubicado en las coordenadas geográficas 25°13'19.20"N y 100°18'5.10"O, con una altitud de 3004 m.s.n.m.

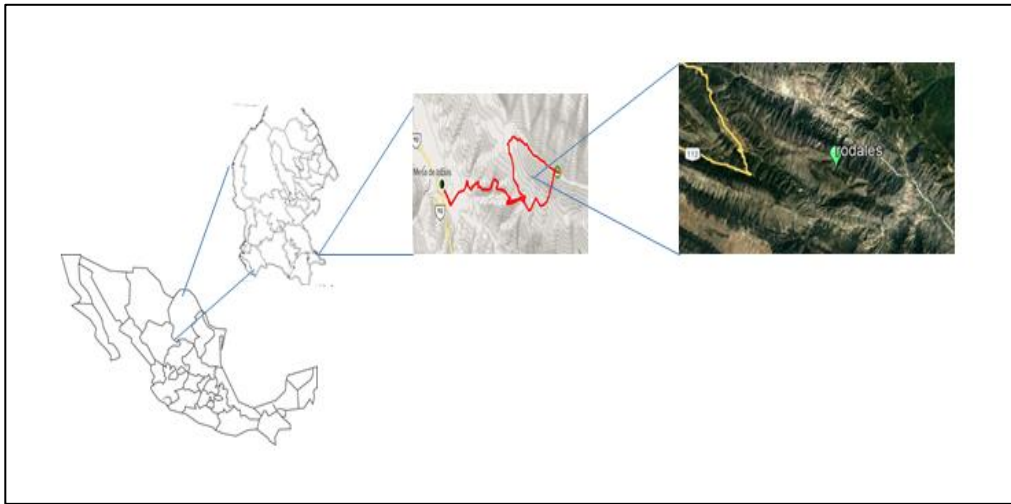


Figura 3. Ubicación geográfica de la sierra el Coahuilón municipio de Arteaga y el área donde se realizó el estudio y tomaron las muestras.

4.1.1 Clima

Presenta un clima de clase C (W1) X' semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia de invernal mayor a 10.2 %del total anual. (Martínez, 2006; CONABIO, 1998)

4.1.2 Hidrología

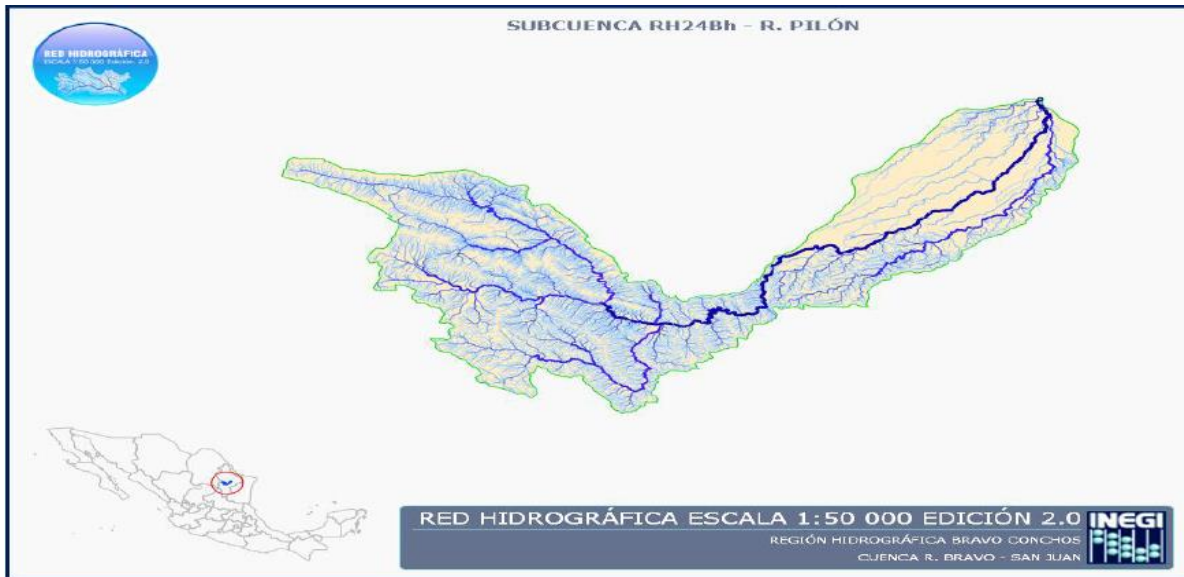


Figura 4. Región hidrológica RH 24 bravo conchos. Fuente (Arévalo, 2015)

El área de estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica RH-24 denominada Bravo-Conchos, en la cuenca “B” Río Bravo-San Juan; esta región limita al norte con la Provincia Ecológica de las Sierras y Llanuras Coahuilenses y las estribaciones de la de los Pliegues Saltillo-Parras. La superficie que integra esta cuenca presenta un coeficiente de escurrimiento medio anual inferior al 10%, con escurrimientos de carácter intermitente en 75% de su extensión territorial, sin dejar de mencionar que en las zonas montañosas de las sierras de Arteaga y de Parras el coeficiente de escurrimiento llega a ser hasta del 20%. (Martínez, 2006).

4.1.3 Fisiografía

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

4.1.4 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).

4.1.5 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. (Martínez, 2006). Rocas mesozoicas de origen sedimentario marino de tipo calizas, lutitas y areniscas. Con un tipo de suelo litosol, rendzina y regosol eutrico. Con textura media. (Mendoza, 1983).

4.1.6 Vegetación

La vegetación la constituyen relictos de *Abies sp*, *Pseudotsuga macrolepsis*, *Flous* y *Picea mexicana* Martínez (Braham, 1995). La vegetación en el bosque está constituida por los siguientes taxones: *Abies vejarii*, *Populus tremuloides*, *Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*, *Picea mexicana*, *Pseudotsuga mensiezii* y *Pinus reflexa*. 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 representan las comunidades más abundantes de los macizos montañosos que se localizan al norte de la cuenca (en las sierras La Marta, El Coahuilón y Las Alazanas); (Martínez, 2006).

4.1.7 Descripción botánica *Pinus rudis*

Pinus rudis es una especie arbórea de 8 a 25 m de altura, con un diámetro hasta de 75 cm o más, presenta una corteza áspera y gruesa, de color gris oscuro,

dividida en placas largas y cuadrangulares; en cada fascículo tiene 5 hojas, a veces 4 o 6, miden de 10 a 18 cm de largo, con una coloración verde claro, casi glaucas, con vainas persistentes; tiene amentos masculinos de 1.5 a 2 cm de largo, de color café amarillento; los conillos femeninos son oblongos y pedunculados, de color azulado, se encuentran en grupos de 2 a 4; ligeramente ovoides, encorvados, de 8 a 14 cm de largo, de color café oscuro y a veces se presentan con tinte rojizo amarillento, dispuestos por pares o en grupos de 3 ó 4. Semillas pequeñas de color oscuro con el ala de 3 cm de largo (Rzedowski, 1979 y Martínez, 1948). Clasificación taxonómica Reino: Metaphyta. División: Pinophyta. Clase: Pinopsida. Orden: Pinales. Familia: Pinaceae. Género: Pinus. Especie: rudis

4.1.8 Distribución y ecología *Pinus rudis*

Esta especie se ha reportado en la República Mexicana, en los Estados de Coahuila, Nuevo León, Nayarit, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, México, Puebla, Oaxaca, Colima, Guerrero, Chiapas y D.F (Martínez, 1948; Perry, 1990). La especie forma rodales puros y cubre grandes extensiones, comúnmente se encuentra asociado con el *P. hartwegii* en su máximo límite altitudinal; (Perry, 1990).

4.1.9 Distribución, Clasificación taxonómica y estatus de protección de *Pinus johannis*

P. johannis aparentemente se restringe en el municipio de Mazapil al norte de Zacatecas (Robert, 1978). Se extiende al norte de Zacatecas, oeste y sureste de Coahuila, sur de Nuevo León (Perry, 1991; Robert, 1978; García y Passini, 1993) de las poblaciones más conocidas encuentran cinco poblaciones registradas de poblaciones naturales, en los estados de (Coahuila, zacatecas y Nuevo León) (Delgado et al., 2013; Flores et al., 1998).

Pinus johannis, es un pino piñonero endémico en el noreste de México, es una especie catalogada en estatus sujeta a protección especial (Pr) (SEMARNAT,

2010). La clasificación taxonómica de esta especie pertenece al reino: Plantae, clase: Pinopsida, orden: Pinales, familia: Pinaceae, género: Pinus, especie: *johannis* (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Las especies del grupo piñonero se distinguen, por el número de agujas por fascículo. La cual *Pinus johannis* pertenece al grupo de piñones de México semillas sin ala, las características taxonómicas que distinguen a *P. johannis*, es por tener una forma arbustiva, tallo ramificado desde la base, agujas de grupos de 3 a 2, mayormente 3; de 3 a 5 cm de longitud, gruesas, flexibles, superficie dorsal verde azulosa y glauca la ventral, bicolores, 2 canales de resina, sin estomas en el lado dorsal, semillas con la almendra blanca, número medio de cotiledones 8 a 7; conos oblongos de 2.5 a 4 cm de longitud y hasta 3.5 cm de diámetro; muy resinosos (Robert, 1978).

4.1.10 Descripción botánica *Pinus flexilis*

Árboles de 12 a 15 (–26) m de altura; 60–90 (–200) cm de diámetro, recto a retorcido; corona cónica, redondeándose; la forma de crecimiento puede alterarse sustancialmente cerca de la línea de árboles o en sitios muy secos. Corteza de color gris claro, casi lisa, que se vuelve marrón oscuro y se cruza en la edad en placas y crestas escamosas. Ramas que se extienden hasta ascender, a menudo persisten en la base del tronco; ramitas de color marrón rojizo pálido, pubérulas (raramente glabras), ligeramente resinosas, de color gris envejecido, duras y flexibles, lisas. Cogollos ovoides, marrón rojizo claro, 0,9–1 cm, resinosos; escamas inferiores cilioladas a lo largo de los márgenes. Agujas 5 por fascículo, que se extienden hacia arriba y hacia arriba, persisten 5 a 6 años, 3 a 7 cm × 1 a 1,5 mm, flexible, de color verde oscuro, superficie abaxial con bandas estomáticas menos llamativas que las superficies adaxiales, superficies adaxiales con estomas fuertes y pálidos bandas, márgenes finamente serrulados, ápice cónico-agudo a acuminado; vaina 1–1.5 (–2) cm, muda temprana. Conos estaminados ampliamente elipsoide - cilíndricos, de 15 mm, rojo pálido o amarillo. Conos ovulados que maduran en 2 años, desprenden semillas y caen poco después, se

extienden, simétricos, lanza-ovoides antes de abrirse, cilindro-ovoides cuando están abiertos, de 7 a 15 cm de largo, de color marrón amarillento, resinosos, sésiles a de tallo corto, apófisis mucho engrosado, fuertemente cruzado, umbo terminal, deprimido. Semillas irregularmente obovoides; cuerpo 10-15 mm, café, a veces moteado más oscuro, sin alas o casi. $2n = 24$ (Little 1980, Kral 1993). Taxonomía Reino: Plantae. División: Pinophyta. Clase: Pinopsida. Orden: Pinales. Familia: Pinaceae. Género: Pinus. Subgénero: Strobis. Especie: *P. flexilis*.

4.1.11 Distribución y Ecología *Pinus flexilis*

La variedad tipo se encuentra en las Montañas Rocosas y las cordilleras entre montañas desde Canadá: SE de la Columbia Británica y SO de Alberta, desde el sur hasta los EE. UU.: Oregón, Idaho, Montana, Dakota del Norte, Dakota del Sur, Nebraska, Wyoming, Colorado, Utah y Nevada hasta el norte de Nuevo México y W a través del N de Arizona hasta el S de California a (1000) 1500-3700 m, prefiriendo pendientes rocosas y secas y crestas de montañas altas hasta la línea de árboles, a menudo en rodales puros (Little 1980, Kral 1993). Var. *reflexa* se encuentra en Estados Unidos: Colorado, Arizona, Nuevo México y W Texas (posiblemente Utah), y en México: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León (Frankis 2008).

4.2 Materiales

Los materiales que se utilizaron para la obtención de las muestras de suelo la determinación de carbono orgánico, textura densidad aparente y pH. Son los siguientes:

- Barrena
- Pala plana
- Pico
- Bolsas de plástico negras
- G.P.S.
- Marcadores
- Etiquetas
- Libreta
- Lápiz
- Tamiz metálico maya de 2 micras

- matraz de Erlen Meyer de 500 ml
- Pipeta 10 ml
- Probeta 50 ml
- Probeta 100ml
- Bureta 50 ml
- Suelo
- Solución dispersante
- Dicromato de potasio (K, Cr₂O₇1N).
- Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄).
- Agua destilada
- Agua des ionizada
- Ortofenantrolina
- Sulfato ferroso (FeSO₄).

4.3 Metodología

El estudio se realizó en tres rodales ubicados en diferentes puntos entre sí, de 3 diferentes especies de pinos (*Pinus flexilis*, *Pinus rudis*, *Pinus johannis*), y un testigo sin vegetación arbórea, en donde se obtuvieron las muestras de suelo de acuerdo la metodología propuesta por la NOM-021-SEMARNAT-2000, eligiendo al azar un punto de partida para definir el plano del muestreo que cubra homogéneamente la unidad, ya definido el mismo, se decide la distancia entre los diferentes puntos de muestreo.

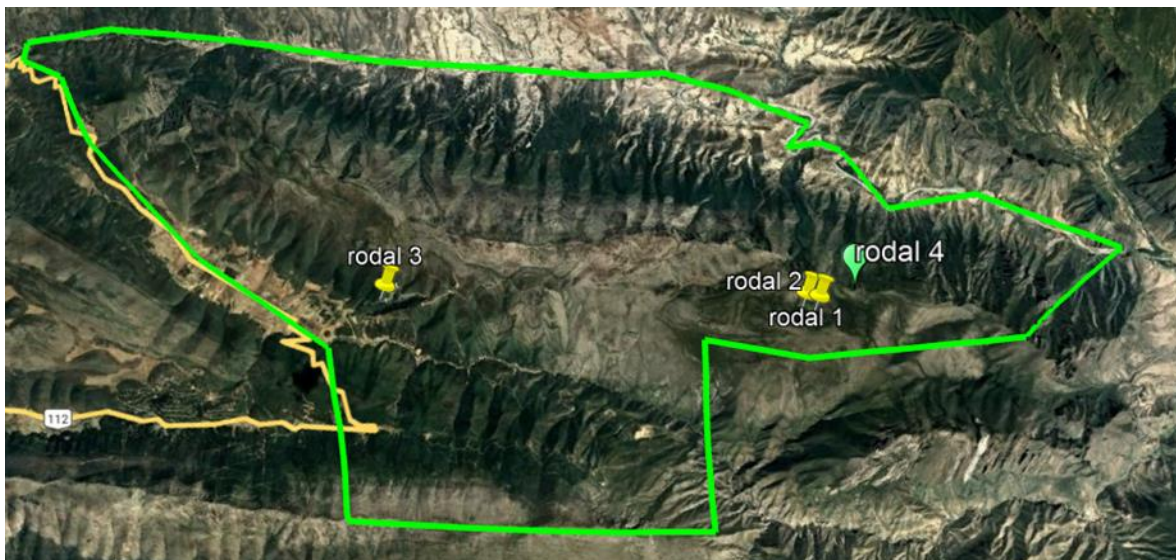


Figura 5. Ubicación geográfica de los rodales muestreados en la sierra el coahuilón, Arteaga Coahuila.

4.4 Profundidad de muestreo y número de muestras

En cada rodal con ayuda de la pala, la barreta y el pico se colectarán 8 muestras, a una profundidad de 0 - 20 cm a las cuales se les colocó su etiqueta de identificación y se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro donde les determinaron algunas propiedades fisicoquímicas para observar su interrelación con el COS.

4.5 Cribado de las muestras de suelo

Se realizó en el Laboratorio del departamento de Ciencias del Suelos el cribado de las muestras de suelo colectadas en la sierra del Coahuilón ejido de Nuncio. Para ello se utilizó un tamiz de 2 micras un tapete de plástico flexible para colocar el suelo tamizado, se colocó en una mesa de laboratorio y se extendió las muestras de suelo identificándolas con su respectiva etiqueta. Las muestras ya cribadas se dejaron durante 3 a 4 días para su secado. Pasado este tiempo se procedió con el siguiente paso.



Figura 6. Cribado y secado de las muestras de suelo.

4.6 Estimación del PH

La determinación del pH del suelo medido en agua se realizará a través del método AS-02. Según la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que

establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Para la estimación del PH en las muestras de suelo, se colocaron 20 gramos de suelo dentro de un matraz, una vez que ya están las muestras en el matraz se les puso 40 mililitros de agua destilada a cada matraz, procediendo a agitarlas durante 30 minutos, con la ayuda de un agitador electrónico. Terminado el proceso se dejó reposar las muestras para que el suelo se asentara y poder tomar a lectura de pH.



Figura 7. Procedimiento de laboratorio para la obtención del pH.

4.7 Densidad Aparente.

Para obtener la densidad aparente se utilizó el Método de la probeta, depositando 40 gramos de suelo en probetas de 100 mililitros, golpeando está en la base contra la superficie durante 20 veces para que se compacte. Después de este proceso se observa el volumen de suelo ocupado en la probeta, el valor estará dado en cm^3 . Los 40 gramos de suelo son divididos entre el valor del volumen y el resultado es la densidad aparente del suelo



Figura 8. Obtención de la densidad aparente del suelo

4.8 Textura

La determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos se realizará a través del método AS-09. Según la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

La textura del suelo define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo.

Si la muestra es franca a arcillosa, pesan 50g de suelo secado al aire; si es arenosa pesar 100g. Se mezcla con agua destilada en un vaso y se agregan 20 ml de NaOH 1N o cualquier otro dispersante que contenga Na, como Hexametáfosfato de Na. Se dejar en reposo toda la noche. Pasado este tiempo se vierte la suspensión en un vaso de la batidora, y se bate por 5 minutos, después es retirado colecta la muestra en una probeta de 1000mm, asegurándose que no quede suelo.

Con el apoyo de una varilla agitadora agitar unas 20 veces la muestra y a los treinta segundos introducir suavemente el hidrómetro, para que se estabilice, pasando 10 segundos más se realiza la primera lectura que representa la arcilla y limo.



Figura 9. Determinación de la textura del suelo en laboratorio por el procedimiento de Bouyoucos.

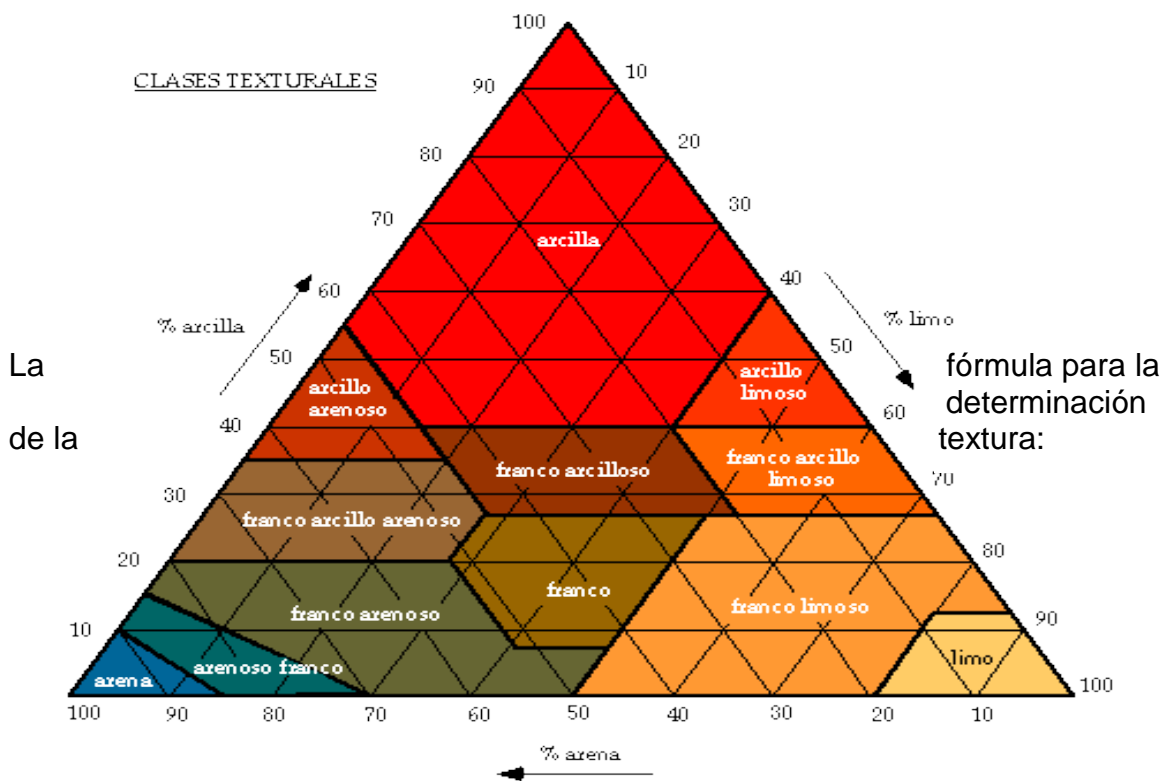
Se procede a dejar la muestra en reposo 2hr. Pasando este tiempo se toma la segunda lectura. Esta determinación corresponde a la arcilla. Por diferencia con los datos anterior se obtiene el limo. Las arenas totales se calculan por diferencia respecto al peso total de la muestra, las distintas fracciones de arena se separan por tamizado. Cada vez que se realiza una lectura tomar la temperatura interior para hacer una corrección de las lecturas directas que se hace sobre la base de 20 grados Celsius.

Cálculos

Corregir las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 19.5 °C restando la misma cantidad por cada grado abajo de dicha temperatura (tabla de corrección por temperatura). La primera lectura multiplicada por 2 refleja el porcentaje de arcilla más limo. Restando de 100 se obtiene el porcentaje de arena. La segunda lectura multiplicada por 2 es igual al porcentaje de arcilla. El porcentaje de limo se obtiene por diferencia. Cuando se usan 100g no debe multiplicarse por 2 ya que el hidrómetro está calibrado en porcentajes considerando 100g de suelo. Con los porcentajes de limo, arena y arcilla se determina la textura correspondiente con el triángulo de texturas. (Tabla de corrección por temperatura).

Tabla 1. Tabla de corrección en temperatura para la prueba de textura.

TEMP. °C	CORRECCION		TEMP. °C	CORRECCION	
15.0	-	1.62	21.5	+	0.18
15.5	-	1.44	22.0	+	0.90
16.0	-	1.26	22.5	+	1.08
16.5	-	1.08	23.0	+	1.26
17.0	-	0.90	23.5	+	1.44
17.5	-	0.72	24.0	+	1.62
18.0	-	0.54	24.5	+	1.80
18.5	-	0.36	25.0	+	1.98
19.0	-	0.18	25.5	+	2.15
19.5	-	0	26.0	+	2.34
20.0	+	0.18	26.5	+	2.52
20.5	+	0.36	27.0	+	2.70
21.0	+	0.54	27.5	+	2.858
			28.0	+	3.06



$$P = \frac{(R1+AR1) - (RC1+AR1) \times 100}{W}$$

Dónde:

P = % de Limos+ % de Arcillas.

R1 = Primera lectura del hidrómetro en solución.

AR1 = Corrección de la temperatura en la probeta.

RC = Primera lectura del hidrómetro en solución del testigo.

W = Gramos de suelo.

4.9 Análisis del carbono orgánico en el suelo

La determinación del carbono orgánico en el suelo, se obtuvo a través del 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 seleccionar por color la muestra de suelo, si la muestra es café o negra bastará con 0.250 gr de suelo, si la muestra es de color café rojiza o rojiza se podrá utilizar un peso de 0.500 gr y si las muestras presentan colores claros se recomienda utilizar 1.0 gr de suelo. Después del pesado se le agrega dicromato de potasio a cada muestra, y se agito durante un minuto, procediendo a incorporarle 20 mililitros de ácido sulfúrico, agitándolo por un minuto y dejando reposar 30 minutos, (figura 11) completado ese tiempo se le agregaron 200 mililitros de agua des ionizada y se agita durante un minuto, se le agregan 4 gotas de ortofenontrolina, agitando durante un minuto y se titula con sulfato ferroso hasta obtener el cambio de color a rojizo. Debido a que la digestión de la materia húmeda con ácido sulfúrico concentrado, la oxidación del carbono con dicromato de Potasio y titulación con sulfato ferroso, provocan la reacción entre dicromato de potasio con el ácido sulfúrico originando la formación de un agente oxidante fuerte, llamado ácido crómico, que oxida el carbono de la materia orgánica para convertirlo en CO₂



Figura 11. Pasos para la obtención de COS pesado, reposo y titulación de las muestras

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

$$\% \text{ M.O.} = \frac{[(K_2Cr_2O_7 * N) - (FeSO_4 * n)] * .086}{gr}$$

$$\% \text{ C.M.} = \frac{\% \text{ M.O.} * 0.724}{1}$$

Dónde:

% MO = porcentaje de materia orgánica

$K_2Cr_2O_7$ N = mililitros de dicromato de potasio

$FeSO_4$ = mililitros de sulfato ferroso

N = normalidad

Gr = gramos de la muestra de suelo

$$\% \text{ C.O} = \frac{\% \text{ M.O} * 0.724}{1}$$

Dónde:

% MO = porcentaje de materia orgánica

% CO = porcentaje de carbono orgánico

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

$$\text{COS} = \%C \times D_a \times P$$

4.10 Método estadístico

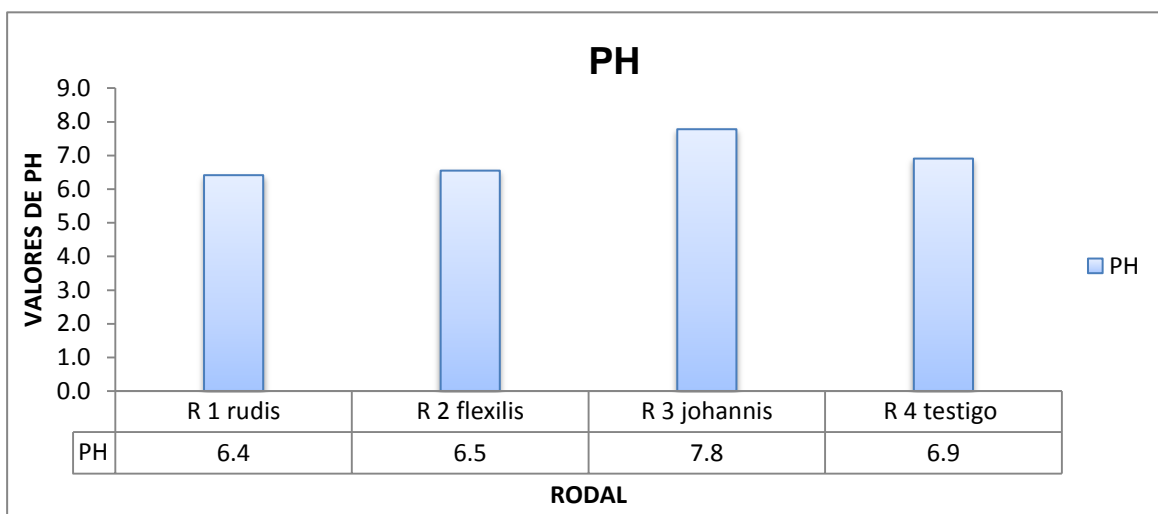
Se realizó un análisis estadístico a través de un diseño bloques al azar para determinar la comparación de medias a través de la prueba Tukey, así como el análisis de las correlaciones existentes entre las propiedades fisicoquímicas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS DEL SUELO

5.1.1 Contenido de (PH).

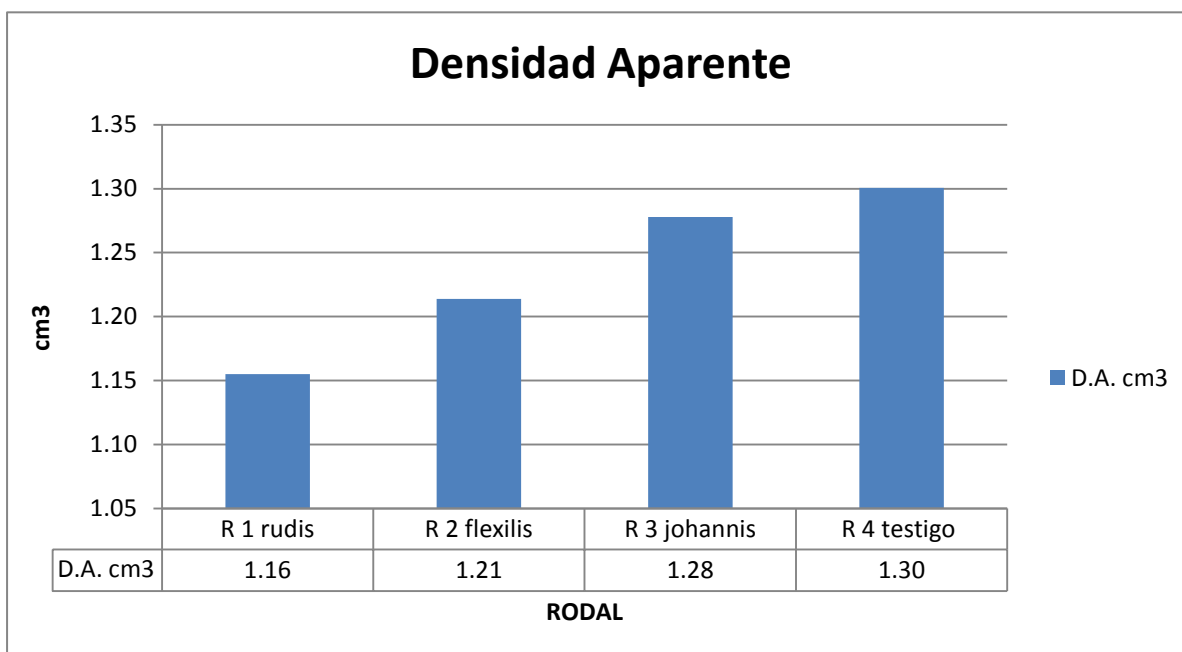
Los suelos mostraron similitudes químicas entre sí, como una acidez de moderadamente acida a medianamente alcalino, como se muestra en la gráfica 1. Los resultados obtenidos de PH en el rodal 1 en *pinus rudis* nos permite clasificarlo en un suelo moderadamente acido, ya que se obtuvieron valores entre 6.1 - 6.5. El rodal 2 de *pinus flexilis* se encuentra en una clasificación distinta ya que este rodal arrojó valores un poco más altos de 6.5 - 6.7 clasificándolo en suelo neutro. El rodal 3 de *pinus johannis* se encuentra en la clasificación de suelo medianamente alcalino, ya que fue el rodal con los niveles más altos de pH con valores de 7.7-7.9 El rodal 4 corresponde a las muestras testigo donde la cubierta vegetal era de zacates y malezas, este suelo se clasificó como un suelo neutro ya que sus valores fueron de 6.8 - 7.0. Los resultados son muy parecidos a los obtenidos por (Arévalo, 2015) en su estudio para comparar la concentración de carbono orgánico en el suelo entre rodales, en un bosque de *pinus rudis*. Donde sus resultados de PH fueron valores de 6.0 y 6.2.



Grafica 1 Niveles de pH en los rodales.

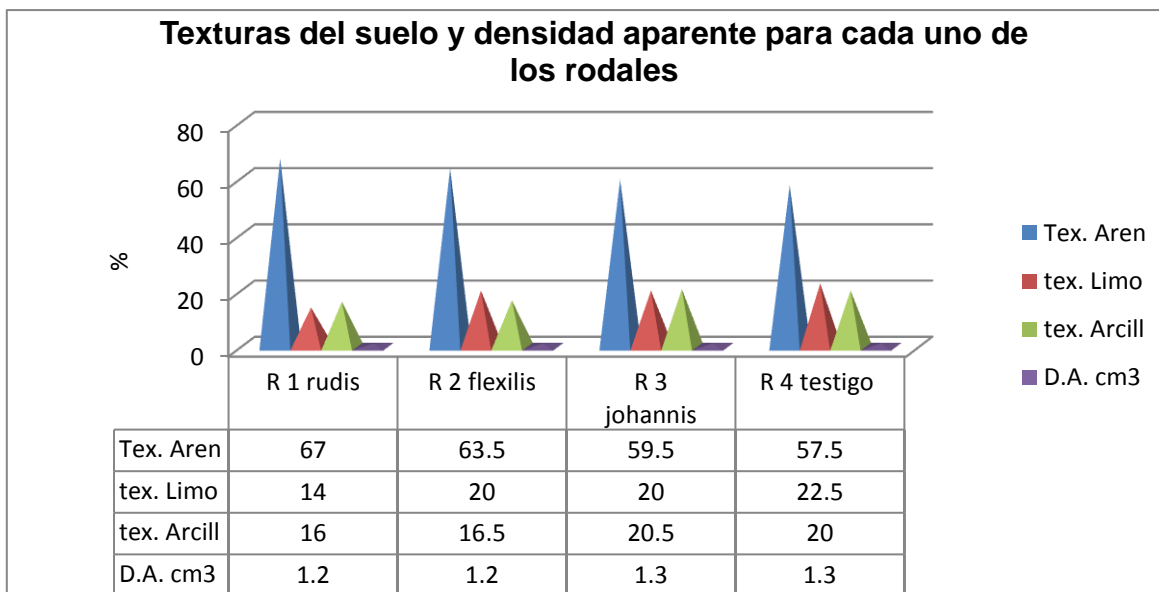
5.1.2 Densidad Aparente

Los factores que afectan la densidad aparente son la composición y la estructura. En un tipo de suelo los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje. Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene poca porosidad en su composición, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamientos. Los valores obtenidos (grafica 2) de la densidad aparente en cada sitio son variados pues sus valores están entre 1.1 - 1.4 son valores altos debido a que son suelos arenosos. Estos resultados son muy parecidos a los que obtuvo Anaya (2016) en su trabajo. Contenido de carbono orgánico y retención de agua en suelos de un bosque de niebla en Michoacán. Donde sus valores de D.A. fueron de 0.2 a 1.2. Valores muy cercanos los obtenidos en esta investigación.



Grafica 2 Valores de densidad aparente de cada una de los rodales.

La grafica 3 muestra los valores de densidad aparente y su relación con los porcentajes de las partículas que componen el suelo donde se puede observar que él % de arena es mucho mayor que el de las otras partículas (limo y arcilla)



Grafica 3 Valores de densidad aparente en relación con los valores de textura de las muestras obtenidas en cada rodal.

5.1.3 Textura de Suelo

Como pueden observar en la tabla 2 se muestra la clase de textura de cada rodal, los 3 primeros rodales está en la clase franco arenoso, el rodal 4 se clasifico en, franco arenoso arcilloso. Estos valores están muy cercanos a los obtenidos por (Capulín. 2010) en su trabajo Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. Donde se determinó pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo y textura, mostrando variación en su clase textural, de migajón arcilloso antes del incendio, a franco después de éste.

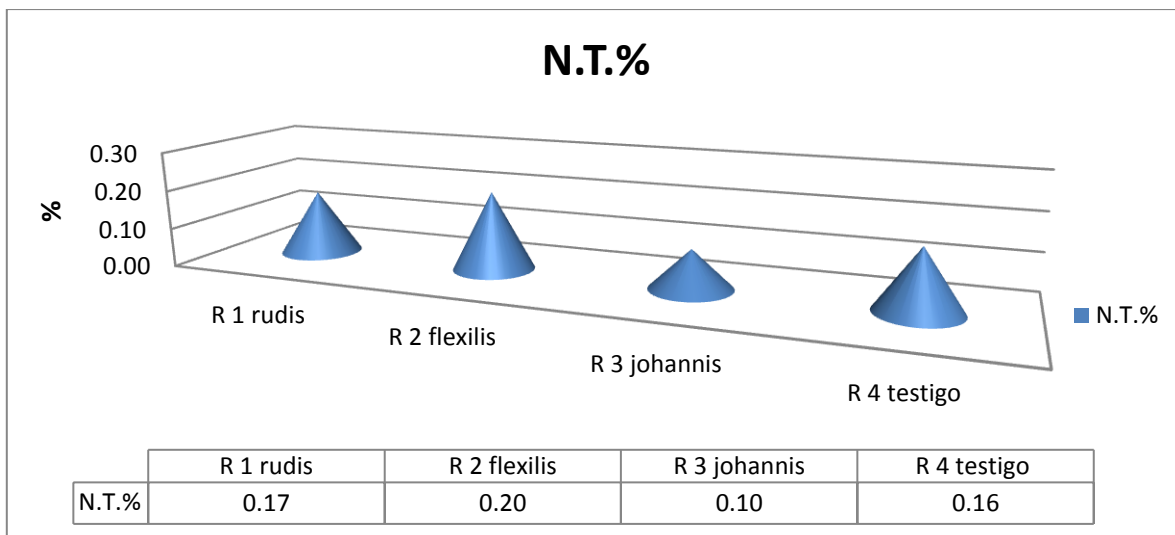
Tabla 2. Porcentajes de arena, limo y arcilla. Y su tipo de suelo de acuerdo al triángulo de texturas.

Rodales	%. Aren	%. Limo	%. Arcilla	Clase de textura
R 1 <i>rudis</i>	67	14	16	franco arenoso
R 2 <i>flexilis</i>	63.5	20	16.5	franco arenoso
R 3 <i>johannis</i>	59.5	20	20.5	franco arenoso
R 4 testigo	57.5	22.5	20	franco arenoso/arcilloso

5.1.4 Nitrógeno Total

Los resultados de este análisis muestran que para, los rodales1 (16.5%) y 2 (20.3%) los niveles de nitrógeno son altos, mientras que para el rodal 3 (10.2%) los niveles de nitrógeno total son bajos, muy distintos al rodal 4 (15.7%) que sus niveles son medios, grafica 4. De acuerdo con la tabla para la interpretación de

resultados de NT de la NOM-021-RECNAT-2000, lo que significa que valores arriba de 0.17 % en el suelo pueden suceder en suelos fríos o extremadamente húmedos, o si el suelo contiene residuos de fertilizante. De acuerdo con (Capulín. 2010) Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio, los resultados obtenidos de NT son de 0.17% para el suelo quemado y 0.18 para el suelo no quemado, valores que concuerdan con los obtenidos en esta prueba.

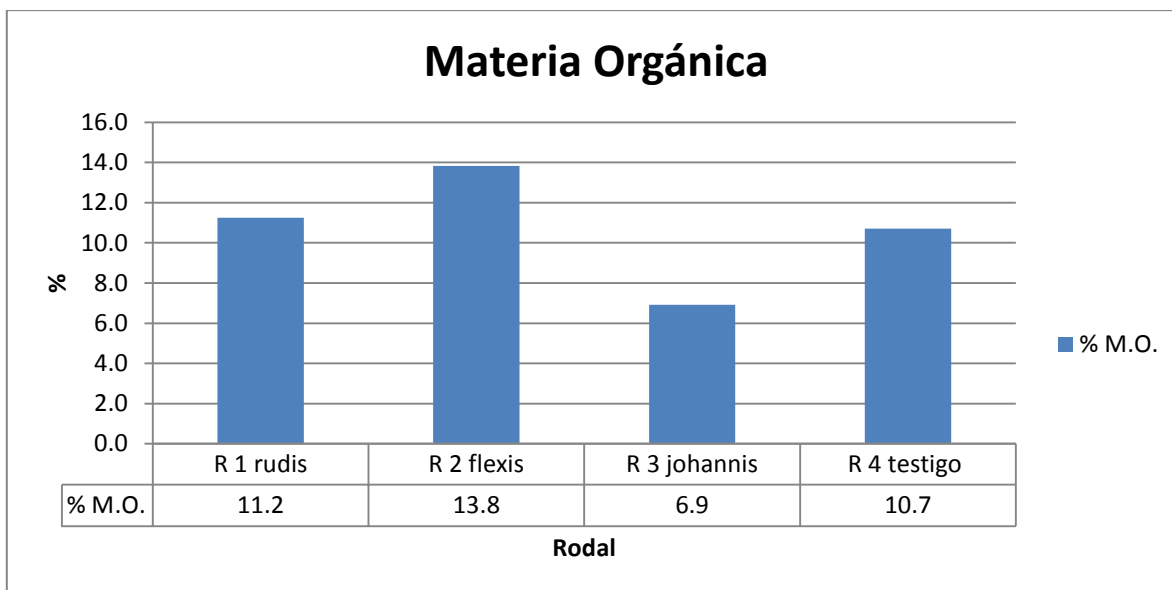


Grafica 4. Valores de nitrógeno total promedio para cada rodal

5.1.5 Materia Orgánica

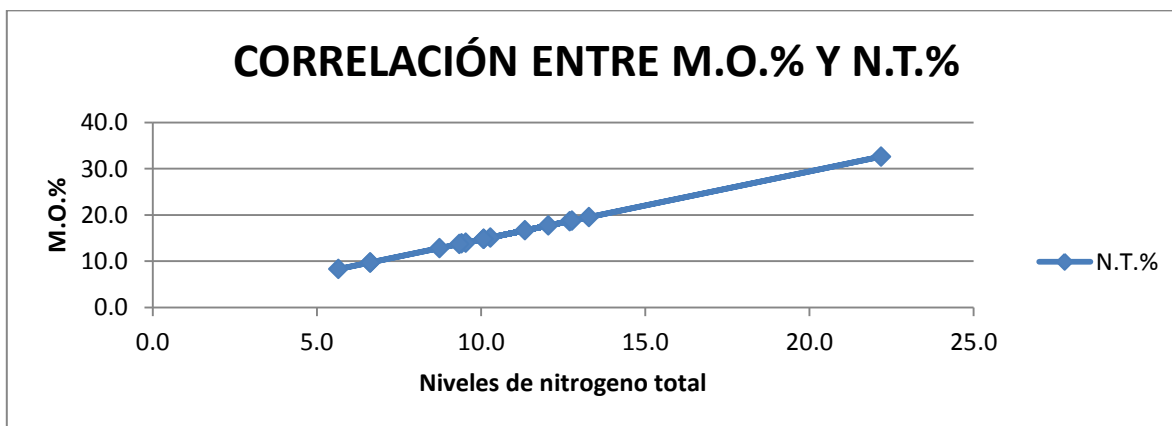
Los contenidos de materia orgánica encontrados en los rodales muestran diferencias ya que el rodal 2 (13.8%) presenta mayor porcentaje de materia orgánica seguido por los rodales 1 (11.2%) y 4 (10.7%) siendo el rodal 3 el que presenta el contenido de M. O., más bajo con un (6.9%). El trabajo realizado por Quiroz (2013) Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebati, san José del rincón, Edo de México. Muestra resultados similares, señalando que la especie arbórea de *Quercus* tiene mayor contenido de materia orgánica 14.21%, para la especie de *cupressus* se tiene una acumulación de materia orgánica de 12.51%, la especie de *Pinus pseudostrobus* presenta un contenido de materia orgánica de 10.82%, mientras que la especie de *Abies*

muestra el menor contenido de materia orgánica 6.66%. Además, el suelo de pradera está acumulando 16.27% de materia orgánica.



Grafica 5. Resultados del porcentaje de materia orgánica por rodal.

La grafica 6, muestra que existe correlación positiva entre la materia orgánica y el nitrógeno total.

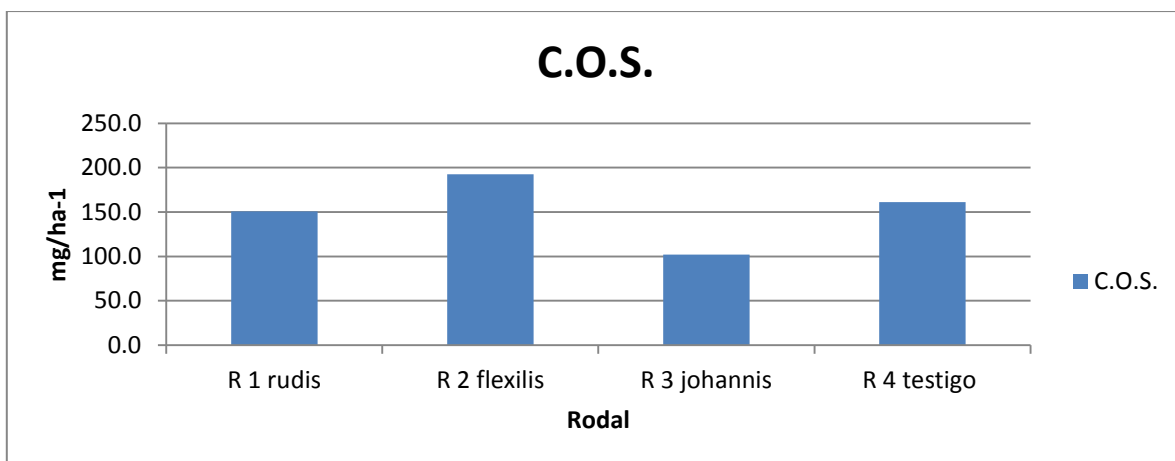


Grafica 6 Correlación positiva entre porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total.

5.1.6 Carbono Orgánico en el Suelo

Como se puede observar la grafica 7 el rodal con mayor contenido de carbono orgánico en el suelo es el rodal de *Pinus flexilis*, con un nivel en promedio de

192.6 mg/ha-1. Seguido por el rodal de *Pinus rudis* con niveles promedio de 150.8 gm/ha-1. Y, por último, el rodal de *Pinus johannis* con valores promedio de 101.9 mg/ha-1., el suelo de pradera está presenta 161.2 mg/ha-1. (Quiroz, 2013) Reporta resultados muy cercanos a los obtenidos en este trabajo, en los que señala que la especie arbórea de encino tiene mayor contenido de carbono en suelo con 196.367 t C/ha, para la especie de cedro se tiene una acumulación de carbono de 172.776 t C/ha, la especie de pino presenta un contenido de 141.501 t C/ha, mientras que la especie de oyamel muestra el menor contenido de carbono 138.493 C/ha. Además, el suelo de pradera está acumulando 179 497 C/ha. Por último, los resultados indican que el almacenamiento en suelo en todas las especies arbóreas es mayor en los primeros 25 cm disminuyendo éste con el aumento en la profundidad.



Grafica 7 Cantidad de carbono orgánico en el suelo por rodal.

Anaya (2016) realizó un trabajo para conocer el contenido de carbono orgánico y retención de agua en suelos de un bosque de niebla en Michoacán, México. El contenido de COS osciló de 92 a 152 Mg ha-1, el 55 % se distribuyó en los primeros 30 cm, y no encontrando diferencias de contenido entre grupos de suelo. Resultados bastantes cercanos a los obtenidos en este estudio.

Así mismo el estudio realizado para evaluar los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México en la Región Cuicateca, encontraron que los

sistemas con más carbono fueron la pradera y el bosque de encino con 95 y 92 (Mg.ha-1) respectivamente; aunque la pradera (PR) tenía 87 Mg.ha-1 de carbono en el suelo y el bosque de encino (BE) sólo 40 Mg.ha-1. El sistema con mayor cantidad de carbono almacenado fue un bosque de liquidámbar (BL) de aproximadamente 40 años en la región Mazateca (244 Mg.ha-1 C), con casi igual proporción de Carbono en la parte aérea y subterránea. En la región Mixe, el sistema que más Carbono presenta fue el de labranza tradicional (LT) con 305 Mg. ha-1 Carbono, la mayoría de éste en el suelo. De los sistemas naturales, el que mayor cantidad de Carbono tenía fue un acahual de 7 años de edad, con 199 Mg. ha-1, de los cuales 169 Mg. ha-1 estaban en el suelo. Valores que son parecidos a los obtenidos en los rodales de pinos y testigos de este estudio. Etchevers (2001).

El estudio realizado por Vela, (2012) obtuvo que el mayor contenido de COS se presentó en los suelos de sitios reforestados con *Abies religiosa*, *Pinus spp.*, y *Cupressus*. Los suelos agrícolas contienen menos de la mitad de COS que los suelos forestales. Considerando cuatro intervalos de niveles de almacenamiento de carbono orgánico; las categorías fueron: Muy Alto (>150 Mg ha-1), Alto (100-150 Mg ha-1), Medio (50-100 Mg ha-1) y Bajo (<50 Mg ha-1), valores muy cercanos al rodal 1 y 4.

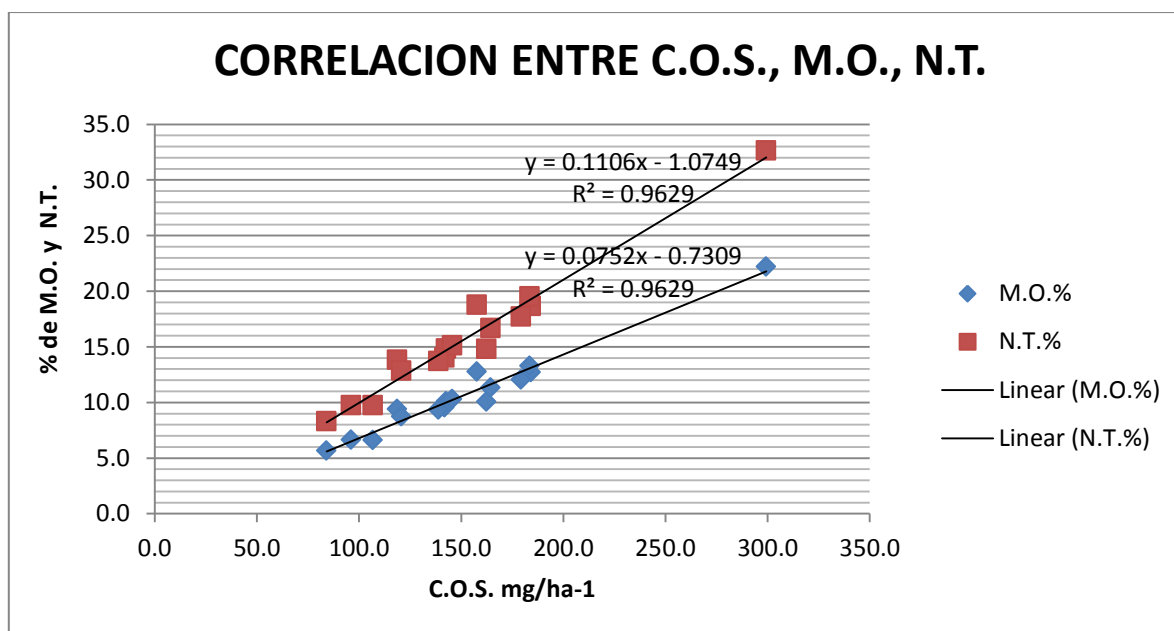
5.1.7 Correlación entre las Propiedades Físicoquímicas del suelo

En siguiente tabla se puede observar la correlación que existe entre las propiedades físicoquímicas del suelo, los valores que están en 1 o más cercanos a uno, son los que tienen una relación positiva tal es el caso de C.O.S con M.O y N.T. Los valores negativos cercanos a 1, nos indican que la relación es negativa pero prácticamente hay bastante relación entre la variable, tal es el caso de la correlación entre D.A. y Tex. Arena. Todos los demás valores cercano a cero o cero indican poca correlación entre las variables.

Tabla 3. Matriz de correlación entre las variables fisicoquímicas del suelo analizado. PH= potencial de hidrogeno. D.A.= densidad aparente. C.O.S.= carbono orgánico en el suelo. M.O.=materia orgánica. N.T.= nitrógeno total.

	PH	D.A. cm3	C.O.S. (Mg ha-1)	M.O.%	N.T.%	Tex. Arena	tex. Limo	tex. Arcilla
PH	1							
D.A. cm3	0.473559	1						
C.O.S. (Mg ha-1)	-0.58629	-0.226787168	1					
M.O.%	-0.6214	-0.403611479	0.981264845	1				
N.T.%	-0.6214	-0.403611479	0.981264845	1	1			
Tex. Aren	-0.44173	-0.901392956	0.350517039	0.5013208	0.501321	1		
tex. Limo	0.171495	0.579256647	-0.2492251	-0.355365	-0.35536	-0.5452071	1	
tex. Arcill	0.235471	0.225115751	-0.060838065	-0.088221	-0.08822	-0.3582369	-0.58735068	1

En la gráfica (8) se observa la correlación positiva que existe entre el C.O.S, M.O. y N.T. los valores están muy cercanos a 1 lo que nos indica que a medida que se integra la materia orgánica los niveles de nitrógeno aumentan y la captura de carbono es mayor.



Grafica 8 Correlación entre positiva entre materia orgánica, nitrógeno total y carbono orgánico en el suelo.

5.1.8 Prueba de Tukey

De acuerdo con el análisis estadístico para la comprobación de medias por la prueba Tukey, los resultados mostraron que (alfa) 0.05 es igual que (P.v) 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha). En

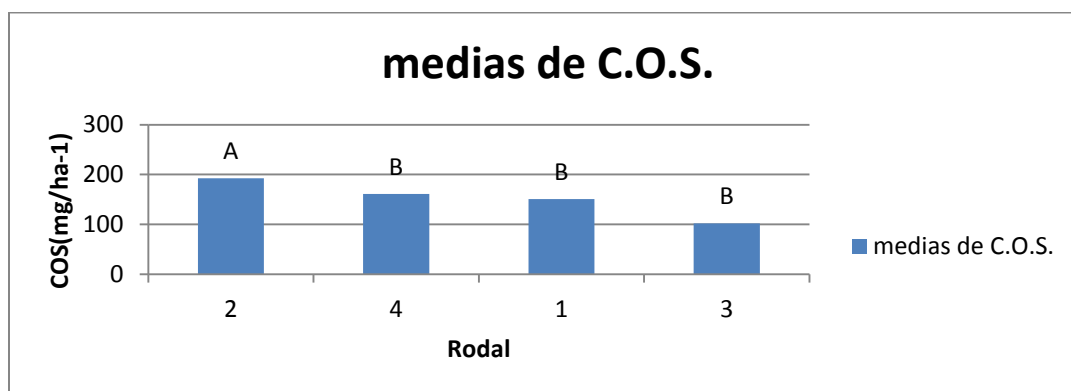
al menos uno de los rodales si hay diferencia significativa en el almacenamiento de carbono orgánico, siendo el rodal de *Pinus flexilis* el de mayor almacenamiento con una media de COS de 192.56 (Mg/ha⁻¹). No fue así para los rodales 4, 1 y 3, los cuales no presentaron diferencia significativa por los valores, testigo 161.25 (Mg/ha⁻¹) rodal de *Pinus rudis* 150.80 (Mg/ha⁻¹) rodal de *Pinus johannis* 101.91 (Mg/ha⁻¹) el rodal que muestra la diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey es el rodal 2, el resto de los rodales no muestran diferencias significativas.

Como se puede observar en tabla 4 se muestran los valores obtenidos de la media en relación a la cantidad de COS por rodal, y su agrupación de acuerdo a la prueba de Tukey

Tabla 4. Valores de medias en el COS (mg/ha-1) y su agrupación según la prueba de Tukey.

RODALES	MEDIAS, COS (Mg/ha ⁻¹).	AGRUPACIÓN TUKEY
R 2 flexilis	192.56	A
R 4 testigo	161.25	B
R 1 rudis	150.80	B
R 3 johannis	101.91	B

La siguiente grafica nos permite ver y comparar la media de carbono orgánico que se obtuvo en las muestras de suelo de cada rodal y como ya se mencionó anteriormente el rodal que mayor contenido de carbono orgánico acumulo fue el rodal de *Pinus flexilis*.



Grafica 9. Comparación de medias de COS de acuerdo a la prueba de Tukey

La mayoría de la bibliografía consultada refiere el contenido de COS en los primeros 20 o 30 cm de la superficie del suelo, asumiendo que a estas profundidades se encuentra la mayor parte del COS en los suelos. Sin embargo, hay estudios que demuestran que los bosques conservados de oyamel y pino-encino tienen hasta un 50 % del total del COS en las capas más profundas (Pérez et al, 2013). Por lo tanto, es conveniente considerar el perfil del suelo completo al evaluar los almacenes de carbono del suelo, particularmente en ecosistemas conservados.

5. CONCLUSIONES

La predominancia de materia orgánica, densidad aparente y la evidencia de suelos Franco arenosos, Franco arcillosos arenosos, nos indican que hay poca correlación entre estas variantes por sus valores muy cercanos a cero, sin embargo al realizar la matriz de correlación entre todas las pruebas fisicoquímicas realizadas a las muestras de suelo, indicó que existe una relación directa y positiva entre las variables materia orgánica, carbono orgánico en el suelo y nitrógeno total con valores muy cercanos a uno, esto se debe a que la manera en cómo la materia orgánica es incorporada al suelo, los niveles de nitrógeno aumenta y la concentración de carbono orgánico en el suelo es mayor, lo que vuelven a estos suelos de moderadamente ácidos a medianamente alcalinos. Y mostrando muy poca correlación entre las variables de texturas, en relación a densidad aparente, pH, materia orgánica, nitrógeno total y carbono orgánico en el suelo.

En conclusión y como se ha podido comprobar en este trabajo, el rodal de *Pinus flexilis* almacenan mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo. El rodal 4 "testigo", sufrió de disturbios y cambios de uso de suelo, se practicó agricultura para después ser abandonado he invadido por una cubierta vegetal de zacates y malezas, las cuales incorporan más COS. Por lo que se puede decir que esté rodal sufrió un cambio gradual ascendente en las concentraciones de carbono orgánico en el suelo.

Después de haber realizado el análisis estadístico a través de la prueba de medias de Tukey se determinó que, sí hay diferencia significativa en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo entre especies de pinos. Encontrándose que la especie de pino que más carbono orgánico almacena es *flexilis*, sus valores de medias son los siguientes (192.56Mg/ha-1, (150.79Mg/ha-1), (101.91Mg/ha-1).

6. LITERATURA CITADA

- 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.
- Aubinet, M., Moureaux, C., Bodson, B., Dufranne, D. Heinesch, B., Suleau, M., Vancutsem, F. and Vilret, A. 2009. Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle. *Agric. For. Meteorol.* 149(3-4), 407–418
- Aschan, H. & Pfanz, H. 2003. Non-foliar photosynthesis: A strategy of additional carbón acquisition. *Flora* 198(2):81-97.
- Aquiles N. A. (2010). El Cambio Climático en el Sector Silvoagropecuario de Chile. Salviat Impresores S.A. Fundación para la Innovación Agraria. (pags.47-102). Chile.
- Bautista Zúñiga, F, Luna Pabello, V., & Durán de Bazua, C. (1995). El Suelo, un reactor químico muy interesante. En *Ecoquímica* (págs. 226-230). México.
- Barford, C. C., C. Wofsy Steven, Michael L. Goulden, J. William Munger, Elizabeth Hammond Pyle, Shawn P. Urbanski, Lucy Hutyra, Scott R. Saleska, David Fitzjarrald and Kathleen Moore. 2001. Factors Controlling Long- and Short-Term Secuestration of Atmospheric CO₂ in a Mid-latitude Forest. *Science*. Vol. 294: pp. 1688-1691.
- Braham.S.B.1995 Regeneración natural de *Picea engelmannii var. Mexicana* en Arteaga,Coahuila y Rayones,N.L.Tesis Profesional Licenciatura UAAAN.Buenavista,Salttillo, Coah. México.46 pp.
- Benjamín, O. J. A., y Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosque* 7(1): 3-12.

- Braswell, B. H., Sacks, W. J., Linder, E., and Schimel, D. S. 2005. Estimating diurnal to annual ecosystem parameters by synthesis of a carbon flux model with eddy covariance net ecosystem exchange observations. *Global Change Biology*, 11(2): 335–355.
- Bojórquez Serrano, José I, Castillo Pacheco, Lucía A, Hernández Jiménez, Alberto, García Paredes, Juan D, & Madueño Molina, Alberto. (2015). Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 63-69. Recuperado en 14 de octubre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000400008&lng=es&tlng=es.
- Carrillo A., F., E. Buendía - Rodríguez, M. Acosta - Mireles, T. Hernández Tejeda. Captura de Carbono en áreas arboladas. 2008. In: Guerra de la C., V y C. Mallen R. (Comp.). *Tlaxcala sus recursos forestales: conservación, aprovechamiento y bases para su manejo*. INIFAP/CENID COMEF.CONACYT. México, D. F. México. Libro Técnico Núm. 4. pp. 170-180.
- Canizales, P.A. (2011). Análisis dendroclimático y estimación del Contenido de carbono como indicadores de cambio Climático en *pseudotsuga menziesii* (mirb.) Franco, cerró El potosí, México. [Tesis de ingeniería universidad autónoma agraria Antonio narro.] Repositorio digital. UAAAN.
- Carvajal, M., 2011. Investigación sobre la absorción de CO2 por los cultivos más representativos, Murcia, España.
- Carlos A. Anaya, Manuel Mendoza, Mercedes Rivera, Rosaura Páez, L. Daniel Olivares-Martínez. (2016). CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO Y RETENCIÓN DE AGUA EN SUELOS DE UN BOSQUE DE NIEBLA EN MICHOACÁN, MÉXICO. Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia. *Artículo Agro ciencia* [online]. 2016, vol.50, n.2, pp.251-269. URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n2/1405-3195-agro-50-02-00251.pdf>
- Capulín Grande, Juan, Mohedano Caballero, Leopoldo, & Razo Zarate, Ramón. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79-87. Recuperado en 23 de octubre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000100009&lng=es&tlng=es.

- 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>
- Cruz Z., A.R. 2007. Cambio climático, Protocolo de Kyoto y bonos del carbono. Rev. Comercio Exterior. 57(5): 416-424.
- Delgado, V. P., J. J. García M., U Manzanilla Q., M Martínez M. y C Flores L. 2013., Áreas productoras de semillas de conservación de *Pinus johannis* M.F. Robert en, la Sierra Madre Oriental. In XI congreso mexicano sobre recursos forestales, Memorias de resúmenes. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, sociedad mexicana de recursos forestales, AC. Primera edición. Saltillo, Coahuila, México, del 1 al 14 de octubre 2013. 152p.
- ETCHEVERS, J., et al. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. En Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. 2001.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2014. La FAO logra unificar la información sobre la cubierta vegetal mundial. <http://www.fao.org/news/story/es/item/216816/icode/>.
- Frankis, Michael. 2008. The high altitude white pines of Mexico and the adjacent SW USA (*Pinus L. subgenus Strobus Lemmon*, Pinaceae). International Dendrology Society Yearbook 2008: 64-72
- Flores, L. C., A. Aguilar S., S. Valencia M. y E. H. Cornejo O. 1998. Potencial y eficiencia de semillas en tres poblaciones naturales de *Pinus johannis* M-F. Robert. Proyecto de investigación 02.03.0207.24.12 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).
- Gay, C. y J. Martinez. 1995. Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in Mexico. Interciencia, 20:6, 336-342.
- García, A. A. y M. - F. Passini. 1993. Distribución y ecología de *Pinus johannis* M-F. Robert. Phytologia 74(2):125-127.
- Gemandt, S. D y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85:126-133.

- Gobierno de México. (1997). Programa Forestal y de Suelo 1995-2000. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. DOF: 02/10/1996.URL: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4901646&fecha=02/10/1996
- Guo, W. H., Kang, S. Z., Li, F. S. and Li, S. E. 2014. Variation of NEE and its affecting factors in a vineyard of arid region of northwest China. Atmospheric Environment. 84: 349–354.
- Harrison J. A. 2003. El Ciclo Carbonoico: Siempre de Ida y Vuelta. Visionlearning Vol. EAS-2 (3s).
- 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Cambio Climático, 2001; Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio climático. 94 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC).1995. Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.Cambridge University Press,Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2005. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Informe Especial. Informe del Grupo de trabajo III. Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos, Leo Meyer (Eds). Cambridge University Press, Press. Cambridge, U K.
- IPCC 2007. Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo 1, 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.
- Jong B., H.J., O. Maser C. y T. Hernández-Tejeda. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. In: Cambio climático: una visión desde México. Martínez, J. y A. Fernández (Eds.) Jiménez Editores e Impresores, S. A. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. México. pp. 369-380.

- Kral, R. 1993. Pinus. Flora of North America Editorial Committee (eds.): Flora of North America North of Mexico, Vol. 2. Oxford University Press. This document is available online. Go to <http://www.efloras.org>, click on "Flora of North America," and search for "Pinus"
- L Bohn, H., L MacNeal, B., & A. O'Connor, G. (1993). Química del suelo. México: Limusa.
- Little, Elbert L. Jr. 1980. The Audubon Society field guide to North American trees. New York: Alfred A. Knopf.
- Martínez. M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª. Ediciones Botas. México. 361 p.
- 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. 14-21 p.
- Martínez, H. E., Fuentes, E.J.P., Acevedo, H. E. (2008): Carbono orgánico y propiedades del suelo. -R.C. Suelo Nutr. Veg., vol.8, n.1, pp. 68-96
- Masera O., M.J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from mexican forests: current situation and long-term scenarios. Climatic Change. 35: 265-295.
- Masera, O. 1995b. Desforestación y Degradación Forestal en México. Documento de Trabajo 19. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México. 50 p.
- Méndez, G.J., Turlán, M.O.A., Ríos, S.J.C., Nájera y L.J.A. 2012. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 3, 57-72.
- Mendoza H., J. M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN. Departamento de Agro meteorología UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 619 p.|
- 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.

- Návar, J., González N., Maldonado D., Graciano J., Dale, V. and Parresol, B. 2004 Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 10(2): 17-28.
- Ordoñez, J. (2008). Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la región purépecha. Tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México. C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México, CDMX.
- Ordóñez, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo. INE- SEMARNAP. México, D. F. 72 p.
- Ordóñez, A., B.H.J de Jong y O. Maser. 2001. "Almacenamiento de carbono en los bosques de Nuevo San Juan: Aplicación del modelo dinámico CO2Fix en un bosque de *Pinus pseudostrabus* en Michoacán, México". *Madera y Bosques* 7 (2): 27-48. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques del Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM).2006. El clima y la degradación de las tierras. 33 p.
- Osuri, Anand M.; Gopal, Abhishek; Raman, T. R. Shankar; DeFries, Ruth; Cook-Patton, Susan C.; Naeem, Shahid (2020) Greater stability of carbon capture in species-rich natural forests compared to species-poor plantations. *Science.gov* (United States) NASA Astrophysics Data System (ADS) Volumen: 15 Número: 3 Páginas: 034011. DOI: 10.1088/1748-9326/ab5f75
- Pardos, J.A. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid. 253 p.
- Perry, J. P. 1990. The pines of México and America Central. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. USA. 563 p.
- Pérez-Ramírez Silvia; M. Isabel Ramírez*; Pablo F. Jaramillo-López; Francisco Bautista (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. *Rev. Chapingo ser. cienc. for. ambient* vol.19. Pp.2-6.
- Post, W.M.,T.H. Peng, W.R. Emanuel, A.W. King, V.H. Dale, y D.L. De Angelis. 1990. The global carbon cycle. *Am. Sci.* 78:310-326.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2020. Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020. Resumen. Nairobi. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485312>
- Quiroz, Y. (2013). Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebati, san José del rincón, Edo de México. [Tesis de licenciatura universidad autónoma del estado de México.] Repositorio digital. UAM.
- Ribeiro, S. (2011) “Los verdaderos colores de la economía verde”. Diciembre. En<http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Economia/Los_verdaderos_colores_de_la_economia_verde> [Accesado el 15 de septiembre de 2014].
- Robert, M.-F. 1978. Un nouveau pin pignon mexican: *Pinus johannis* M.-F. Robert. Andanonia Paris 18(3):365-373.
- Rojo, S., F. Gilbert, M.A. Marcos-García, J.M. Nieto y M.P. Mier. 2003. A world review of predatory hoverflies (Diptera, Syrphidae: Syrphinae) and their prey. Centro Iberoamericano de la Biodiversidad, CIBIO. Alicante. España. 319 p.
- Rzedowski, J.1979. Flora fanerogama del valle de México. Editorial Continenta México 69 p.
- Sánchez -, Jarquín Aaron, Salgado-García, Sergio, Palma-López, D. Jesus, Camacho-Chiu, Wilder, & Guerreto-Peña, Armando. (2011). Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopía de infrarojo cercano (NIRS) y quimiometría. *Agrociencia*, 45(6), 653-662. Recuperado en 18 de octubre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000600001&lng=es&tlng=es.
- Sainz Hernán René Rozas Hernán Eduardo Echeverría & Hernán Pablo Angelini. (2011), NIVELES DE CARBONO ORGÁNICO Y pH EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LAS REGIONES PAMPEANA Y EXTRAPAMPEANA ARGENTINA. Consejo Nacional de investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Balcarce, Argentina. Pp.1-9. [http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_29n1/29\(1\)%2029-37.pdf](http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_29n1/29(1)%2029-37.pdf)
- Schimel, D.S.1995. Terrestrial Ecosystems and The Carbon Cycle. *Global Change Biology*, 1: 77-91.
- Segnini, A., 2011. Emerging techniques for soil carbon measurements, Copenhagen, Deenmark. Available at:<http://hdl.handle.net/1056/10279>.

Smith, T.M., W.P. Cramer, R.K. Dixon, R. Leemans, R.P. Neilson, and A.M. Solomon. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 19-37.

Sundermeier, A., Reder, R. & Lal, R., 2010. *Soil Carbon Sequestration-Fundamentals*, Columbus, Ohio.

USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 2013. Tesauro y glosario de la biblioteca agrícola nacional. <https://boletinagrario.com/ap-6,intercambio+neto+del+ecosistema,3015.html>.

Valdés Velarde Eduardo, Valdez Hernández Juan Ignacio, Ordaz Chaparro Víctor Manuel, Gallardo Lancho Juan Fernando, Pérez Nieto Joel y Ayala Sánchez Ciriaco. (2011), Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit. *Academia de Ecología. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Rev. mex. de cienc. forestales vol.2 no.8 México nov./dic. 2011. Pp.1-10. URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322011000600005&script=sci_arttext*

Van Bremen, N. y T.C.J. Feijtel. 1990. *Soil processes and properties involved in the production of greenhouse gases, with special relevance to soil carbon*. AF. (ed.). *Soil and the greenhouse effect*. Wiley. Chichester, UK

Vania López-Toache., Jorge Romero-Amado., Guadalupe Toache-Bertolini., Silberio García-Sánchez. 2016. Bonos de carbono: financiarización del medioambiente en México. *Estudios Sociales*, vol. 25, núm. 47, enero-junio, 2016, pp. 191-215. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41744004008>.

Verma, S. B., A. Bobermann, K. G. Cassman, D. T. Walters, J. M. Knops, T. J. Arkebauer, A. E. Suyker, G.G. Burba, B. Amos, H. Yang, D. Ginting, K. G. Hubbard, A. A. Gitelson and E.A. Water-Shea. 2005. Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 131: pp. 77-96.

Vela Correa, Gilberto; Lopez Blanco, Jorge; Rodriguez Gamino, María De Lourdes. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, Instituto de Geografía, UNAM. Centro de México. *Invest. Geog [online]*. 2012, n.77, pp.18-30. ISSN 2448-7279. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n77/n77a3.pdf>

Villers-Ruíz, L. and I. Trejo-Vázquez. 1997. Assessment of the Vulnerability of Forest Ecosystems to Climate Change in Mexico. *Climate Research*. 9:87-93.

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.

Xiao, J., Sun, G., Chen, J., Chen, H., Chen, S., Dong, G., Gao, S., Guo, H., Guo, J., Han, S., Kato, T., Li, Y., Lin, G., Lu, W., Ma, M., McNulty, S., Shao, C., Wang, X., Xie, X., Zhang, X., Zhang, Z., Zhao, B., Zhou, G., Zhou, J. 2013. Carbon fluxes, evapotranspiration, and water use efficiency of terrestrial ecosystems in 27China. *Agric. For. Meteorol.*, 182-183: 76–90.

Yerena. Yamallel, J.I., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O.A. y Treviño- Garza, E.J. 2011. Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 283-291. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2010.02.004.