



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
INGENIERIA AMBIENTAL

**Análisis de la respiración del suelo como
indicador de la degradación biológica en el
sureste del estado de Coahuila durante la
temporada de secas**

PROYECTO DE TESIS QUE
PRESENTA:

Rene Juarez Altamirano

DIRECTOR (A): Dra. Dulce Yaahid Flores Rentería
Dr. Fernando Ayala Niño
M.I. Miriam Vega Hernández

Puebla, Puebla

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	7
2.1 Zonas Áridas en México	7
2.2 Degradación del suelo	8
2.2.1 Erosión	9
2.2.2 Degradación química	9
2.2.3 Degradación física	10
2.3 Antecedentes de evaluaciones de la degradación del suelo en México	10
2.4 Calidad del suelo	12
2.5 Dinámica del Carbono	13
2.6 Situación Actual del estudio de carbono en México	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. HIPÓTESIS	16
5. OBJETIVOS	16
5.1 Objetivo general	16
5.2 Objetivos específicos	16
6. METODOLOGÍA	17
6.1. Área de estudio	17
6.2. Diseño experimental	17
6.3. Mediciones del flujo del CO₂, temperatura y humedad del suelo	18
6.4. Muestreo	19
6.5. Análisis de laboratorio	19
6.6. Análisis de datos	21
7. RESULTADOS	22
8. DISCUSIÓN	31
9. CONCLUSIONES	34
10. BIBLIOGRAFÍA	35

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos constituyen uno de los factores más importantes en el equilibrio global. El suelo es dinámico, complejo y frágil, por lo que debe ser protegido para asegurar su estabilidad, su productividad a largo plazo y la de los ecosistemas que sostiene (Gutiérrez Cedillo *et al.*, 2008).

Los suelos cumplen importantes servicios ecosistémicos, el más conocido es el de soporte y suministro de nutrientes a las plantas, de ahí que la degradación del suelo esté considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos. Además, constituye el medio donde se realiza una parte importante de los ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos; se estima que el contenido de carbón almacenado en el primer metro del suelo es 1.5 veces mayor a aquél acumulado en la biomasa de plantas, constituyendo la tercera fuente más importante de carbono (Cram *et al.*, 2008).

Cuando se gestionan de manera sostenible, los suelos pueden jugar un papel importante en la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono (C) y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por el contrario, si los suelos se manejan inadecuadamente, con sobre explotación o se cultivan mediante prácticas agrícolas no sostenibles, el C del suelo puede liberarse a la atmósfera en forma de CO₂, contribuyendo al efecto invernadero y por lo tanto, al cambio climático (FAO, 2015).

La calidad de los suelos y su papel en distintos procesos como el almacenamiento de C, el ciclado de nutrientes, y la filtración de desechos, contaminantes y agua, son factores importantes que permiten minimizar los efectos adversos para el medio ambiente. Resultaría imposible cubrir las demandas nutricionales del planeta sin una reforma seria de las prácticas agrícolas, del uso del suelo, de la gestión de los ecosistemas y del recurso suelo (FAO, 2015).

Los suelos degradados poseen una calidad deficiente, lo que limita su capacidad de proporcionar servicios ambientales y productivos. La degradación en los suelos se puede presentar como degradación física, química o biológica. La degradación física se refiere a la alteración de las propiedades físicas del suelo, tales como la textura, estructura, estabilidad de agregados, entre otros; esta degradación física se puede manifestar por la reducción del volumen, disminución del espacio poroso, modificación del arreglo estructural o baja en la estabilidad de los agregados, que impiden el intercambio de gases y agua. Además, la degradación física impide que el suelo funcione adecuadamente, ya que afecta la capacidad de transmisión de agua, el volumen de almacenaje y modifica el balance adecuado de agua y gases importantes para disolver los nutrientes necesarios para las plantas y microorganismos (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2013).

La degradación química está relacionada con la contaminación, salinización, acidificación, pérdida o distribución irregular de los nutrientes del suelo, en la transformación de los residuos orgánicos realizada por los microorganismos del suelo, así como la pérdida de carbono y alteración de la actividad microbiana. (Muñoz Iniestra *et al.*, 2013).

La degradación biológica del suelo se refiere al deterioro o la eliminación de una o más poblaciones de microorganismos en el suelo, a menudo asociado con un cambio en los procesos biogeoquímicos dentro del ecosistema, pues se tiene una disminución del funcionamiento de estos microorganismos (p. ej. degradación de materia orgánica, mineralización de nutrientes), o a la pérdida de materia orgánica frecuentemente equiparada con la pérdida de cobertura vegetal (Sims, 1990).

En México, las principales causas de degradación del suelo están relacionadas principalmente con las actividades humanas, las cuales disminuyen su productividad biológica y su capacidad actual o futura para sostener la vida humana, siendo que el 45.2% de la superficie del país presentaba degradación inducida por el hombre provocada por actividades como la deforestación, el sobrepastoreo y el uso de los recursos naturales (SEMARNAT, 2013).

Las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas son más vulnerables que otras por su alta dependencia de las precipitaciones pluviales. Es en estos lugares donde la degradación del suelo se acentúa más debido a la falta de agua y donde los organismos viven en el límite de sus umbrales de sobrevivencia (Muñoz Iniestra et al., 2013).

Así mismo la degradación de los suelos es el resultado de diversos factores como las variaciones climáticas y las actividades humanas. Esta situación incluye tres elementos distintos y con requerimientos diferentes como son las sequías recurrentes (en periodos cortos), fluctuaciones climáticas a largo plazo y degradación de suelos por actividades humanas (SEMARNAT, 2003).

Para evaluar la condición del suelo, se suelen emplear indicadores de calidad de suelo (ICS). Los indicadores son herramientas de medición que ofrecen información sobre las propiedades, procesos y características del suelo. Estos indicadores son atributos medibles que revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo al ambiente, e indican si la calidad del suelo mejora, permanece constante o decrece. Dan información sobre el efecto del cambio en el uso del suelo y el impacto que tienen las prácticas humanas sobre la degradación o su funcionamiento. No hay indicadores que sean adecuados para todos los propósitos y contextos. Los ICS pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo o procesos que ocurren en él (Estrada-Herrera *et al.*, 2017).

Uno de los principales consiste en el grado de funcionamiento del suelo a través del intercambio de CO₂, pues refleja una serie de procesos que involucran tanto el estado físico como su estado químico (pH, cantidad y calidad de elementos químicos), así como su composición biológica tanto heterotrófica (microorganismos, principalmente bacterias y hongos), como autotrófica (raíces de plantas). (Bautista Cruz *et al.*, 2004).

La respiración del suelo, o flujo de CO₂, es un componente importante del ciclo del carbono y se considera el segundo flujo de carbono más importante entre los ecosistemas de la tierra y la atmósfera, en consecuencia cualquier aumento en las emisiones de CO₂ en el suelo en respuesta al cambio ambiental tiene el potencial de aumentar sustancialmente los niveles de CO₂ en la atmósfera y proporcionar un efecto positivo al calentamiento global (Cantú *et al.*, 2010). La producción de CO₂ en el suelo es el resultado de diferentes procesos biológicos: como la respiración de raíces, el metabolismo de macro y microorganismos del suelo, así como de la descomposición de materia orgánica y, en menor medida, de la oxidación química de compuestos de carbono. La velocidad a la que se emite carbono del suelo en forma de CO₂ determina el flujo neto entre el suelo y la atmósfera. Pequeños cambios en la respiración del suelo afectan la dinámica global del C, pues cuando es liberado a la atmósfera, el CO₂ es uno de los gases más importantes en el efecto invernadero (Yáñez Díaz *et al.*, 2017).

2. ANTECEDENTES

Las tierras áridas representan cerca del 40 por ciento de las tierras de la superficie terrestre. Las zonas hiperáridas naturales cubren un área estimada en 1 000 millones de hectáreas mientras que las tierras áridas, semiáridas y áridas subhúmedas cubren un área de 5 100 millones de hectáreas a nivel global. Si bien el contenido de carbono y la capacidad de fijar CO₂ por unidad de superficie en las tierras áridas son bajos, pueden de cualquier manera hacer una contribución importante a la captura global de carbono y al mismo tiempo prevenir o disminuir la tasa de desertificación (FAO, 2002).

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta numerosos servicios ambientales importantes como el relacionado en los ciclos biogeoquímicos y el ciclado de nutrientes. Además, el suelo es la base de la producción agroalimentaria de los cuales depende la sociedad humana (Hernán Orjuela, 2016)

2.1 Zonas Áridas en México

Las zonas áridas y semiáridas de nuestro país ocupan un poco más de la mitad (52%) del territorio nacional donde estos ecosistemas abarcan 56.92 millones de hectáreas de las 138 millones que tiene el país (CONAZA, 2019). Se estima que albergan unas 6 mil especies vegetales, de las cuales, un poco más del 50% son endémicas, es decir, restringidas a nuestra nación. Todas estas plantas constituyen comunidades muy diversas, algunas muy singulares, con una gran diversidad en sus formas de vida, clara expresión de sus estrategias adaptativas para un ambiente tan selectivo, y muchas de ellas con una utilidad real o potencial (Gonzales, 2012). En el estado de Coahuila se presenta gran variedad de condiciones fisiográficas, climáticas y edáficas representativas de las zonas áridas y semiáridas, factores que han dado lugar a una alta diversidad de tipos de vegetación. La mayor parte del territorio coahuilense está incluida en el Desierto Chihuahuense y contribuye más que cualquier otro estado al número de especies endémicas para esta gran zona árida. En el estado se presenta la máxima concentración de cactáceas amenazadas dentro del Desierto Chihuahuense (Villarreal-Quintanilla y Encina-Domínguez, 2005).

El estado de Coahuila posee 14 unidades de suelo; predominan xerosol, litosol y regosol, que cubren 78.1 % de la superficie, las demás clases son: renzina, yermosol, solonchak, vertisol, castañozem, fluvisol, feozem, planosol, chernozem, solonetz y luvisol; la mayoría de ellos cubren áreas pequeñas (IUSS, 2007).

Los suelos de la clase Xerosoles son los más frecuentes en el estado, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas. Son suelos de colores claros por su bajo contenido de materia orgánica, sobre ellos predomina el matorral y pastizal, el cual suele usarse para el pastoreo (SEMARNAT, 2013).

La clase Litosoles es la segunda más frecuente de la superficie de la entidad, suele encontrarse en terrenos con pendiente como sierras, barrancas y lomeríos, por lo cual posee suelos poco profundos y susceptibles a la erosión, con presencia de roca y piedras (SEMARNAT, 2013).

2.2 Degradación del suelo

La degradación de la tierra es un conjunto de procesos dinámicos físicos, químicos y biológicos que afectan la productividad de los ecosistemas, lo cual puede llegar a ser irreversible y tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas (Granados Sánchez *et al.*, 2013).

La degradación del suelo es un proceso en el cual una o más de las funciones potenciales ecológicas del suelo son deterioradas, refiriéndose a algunos términos como: desertificación, desertización, avance del desierto, aridización, aridificación y xerotización. Los dos primeros son utilizados para indicar el cambio a condiciones más áridas, y en algunos casos indican diferencias en el grado de degradación. El término desertificación también se usa para denominar la degradación antropogénica y desertización para la degradación por causas natural (Granados Sánchez *et al.*, 2013).

Los tipos de degradación de suelos pueden ser tres de acuerdo con García (2012), los cuales se describen a continuación:

2.2.1 Erosión

Se distinguen dos tipos principales de erosión:

Erosión hídrica: Es el desplazamiento de material del suelo a través del agua el cual genera diversas consecuencias negativas. La remoción de la superficie del suelo reduce su capacidad productiva y en casos extremos reduce la capacidad exploratoria de raíces, el efecto de pérdida de fertilidad de estos suelos es en mascarada con las aplicaciones de fertilizantes que se realizan para mejorar las producciones. (Da Veiga *et al.*, 2003).

Erosión eólica: Es el desplazamiento de material del suelo a través del viento ocasionado por la falta de cobertura vegetal o por sobrepastoreo. Es un fenómeno que se presenta ampliamente en climas áridos y semiáridos (Da Veiga *et al.*, 2003)

2.2.2 Degradación química

De acuerdo con López (2002) la degradación de la química en el suelo es la alteración de los contenidos de elementos naturales que da a lugar características inapropiadas para su funcionamiento. Se distinguen como degradación química los siguientes procesos:

Pérdida de nutrientes: A diferencia de los sistemas naturales, en los cuales la producción de biomasa está en equilibrio con las reservas naturales del suelo y con la fijación biológica de nitrógeno, los sistemas degradados resultan en la remoción neta de nutrientes del suelo. La degradación ocurre cuando el total de reservas de nutrientes en el suelo son inadecuadas para la producción de biomasa o cuando la tasa a la cual los nutrientes son movilizados es menor a la demanda de la biomasa.

Pérdida de materia orgánica: Es producida por la deforestación, el sobrepastoreo, los cambios adversos en el uso del suelo, el agotamiento de la biomasa y patrones de cultivo que afectan el balance del suelo como la labranza, el uso excesivo de fertilizantes, el monocultivo y la quema de materia orgánica. La pérdida de materia orgánica se considera con especial atención pues contribuye a la pérdida de otras características importantes en el suelo como la disminución de nutrientes y de la actividad microbiana conllevando a la pérdida de fertilidad del suelo.

Salinización: Se presenta por malos manejos del riego, el uso de aguas con altos contenidos de sales, carencia de drenaje y aplicación de técnicas de agricultura poco adecuadas. La salinización altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y en consecuencia su fertilidad. En sitios donde la evaporación es mayor que la precipitación el proceso se acelera.

Acidificación: Corresponde a la generación de acidez por actividades antropogénicas proveniente de dos fuentes principales el uso de fertilizantes en el suelo y el contacto con combustibles fósiles. La acidificación afecta de manera negativa el desarrollo de vegetación, reduce la actividad biológica y el ciclaje de nutrientes.

2.2.3 Degradación Física

La degradación física del suelo puede ser reconocida por la alteración en el grado de compactación de este, y la formación de costras y sellamiento. La compactación es causada por el uso de maquinaria pesada; el sellamiento se presenta en suelos de cobertura desnuda donde el impacto de las gotas de lluvias actúa directamente sobre la superficie del suelo, siendo susceptibles los suelos sin cobertura vegetal.

2.3 Antecedentes de evaluaciones de la degradación del suelo en México

En México se han realizado diversas evaluaciones de degradación del suelo, pero debido a diferencias metodológicas, sus resultados no son comparables. Los dos más recientes se hicieron en los primeros años del siglo XXI y son la Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, (SEMARNAT & UACH, 2003) y la Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, (SEMARNAT & CP, 2003).

Los resultados del primer trabajo muestran que 42% de la superficie nacional podría resultar afectada por erosión hídrica, y que 17 entidades federativas mostrarían daño en más de 50% de su territorio, entre ellas Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y el estado de México (73.7%). También las regiones montañosas de las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, así como

vastas regiones de Chiapas y las entidades del centro del país, tendrían riesgo de presentar alta y muy alta pérdida de suelo por erosión hídrica.

Con respecto a la erosión eólica, se estimó que 89% del territorio nacional estaría en riesgo de ser afectado. La mayor tasa de degradación potencial eólica se encuentra en las zonas áridas y semiáridas del país lo que concuerda con el tipo de vegetación y climas típicos de estas zonas.

El segundo estudio, el más reciente en México y el de mayor nivel de resolución permitió determinar de manera directa cuatro procesos de degradación del suelo: erosión hídrica, eólica, y degradación física y química, así como sus causas, tipos específicos y niveles de afectación (SEMARNAT, 2003).

De acuerdo con esta evaluación, el 44.9% de los suelos del país estaban afectados por algún proceso de degradación, los cuales se ubican tanto en zonas de ecosistemas naturales como manejados. La degradación química ocupaba el primer lugar (34.04 millones de hectáreas, 17.8% del territorio nacional), seguida por la erosión hídrica (22.72 millones de hectáreas, 11.9%), eólica (18.12 millones de hectáreas, 9.5%) y, al final, la degradación física (10.84 millones de hectáreas, 5.7%). Otro ángulo de análisis de la degradación de suelo es a través del nivel de afectación en que se encuentran los terrenos, el cual puede determinarse a partir de la reducción de la productividad biológica. (SEMARNAT, 2003).

La desertificación es un proceso de degradación de la tierra que afecta al 40% de la superficie terrestre. Las actividades y el cambio climático global son las causas principales de este proceso, las cuales provocan, entre otros efectos, la pérdida de la cubierta vegetal, erosión hídrica y eólica, salinización, compactación, disminución de la materia orgánica y pérdida de nutrientes del suelo, así como la acumulación de sustancias tóxicas y sequía (Granados-Sánchez et al., 2013).

Así mismo la desertificación desencadena una serie de factores socioeconómicos como pobreza, desnutrición y mortandad. Tanto la sequía como la desertificación favorecen la pobreza al romper las estructuras sociales y familiares, y provocar inestabilidad económica. Estas restricciones dan lugar a procesos migratorios de magnitud, que son característicos de las zonas áridas, semiáridas y tierras degradadas, y forman parte de un ciclo de agotamiento de los recursos naturales. En estas condiciones, los productores de las zonas afectadas por estos procesos deben intensificar la explotación de los escasos y pobres recursos naturales disponibles, causando una mayor desertificación del ecosistema y, por lo tanto, más pobreza y migración, con una secuela de profundos quiebres en la estructura social comunal y familiar (Morales & Parada, 2005).

En México la información sobre la de degradación del suelo con la delimitación de las tierras secas en el territorio, se observa que la degradación afecta a 43.56 millones de hectáreas, esto es el 43% de la extensión de las tierras secas del país: 2.2% corresponde a zonas áridas; 14.5% a subhúmedas secas y 26.2% a semiáridas (SEMARNAT, 2014).

2.4 Calidad del suelo

La evaluación de la calidad del suelo se ha convertido en un tema indispensable para determinar si un sistema de manejo es sustentable a corto o largo plazo. Dicha evaluación permite comprender y revertir el deterioro en la funcionalidad ecosistémica que ocurre como consecuencia de la degradación de los suelos, generada por fenómenos como erosión, compactación, pérdida de nutrientes, contaminación, alteraciones en el pH, reducción de la densidad y la actividad biológica, entre otros; la mayoría de ellos causados por la implementación de prácticas de manejo inadecuadas. La conversión de ecosistemas nativos a la agricultura o ganadería es uno de los principales impulsores de cambios ambientales, debido a que se asocia con la pérdida de cobertura, pérdida de biodiversidad, contaminación de suelos y aguas, e incluso contribuyendo con el cambio climático a través de la emisión directa e indirecta de gases de efecto

invernadero. Lo anterior conlleva a un deterioro de la calidad del suelo, ya que disminuye su capacidad para realizar sus funciones de producción biológica, protección ambiental y sustento para la salud humana (Quintero, 2013).

A partir del incremento en el nivel de degradación de la tierra se determinaron criterios para evaluar la calidad del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, los cuales representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (García *et al.*, 2012).

De acuerdo con Doran y Parkin (1994) el propósito del uso de los indicadores de calidad del suelo (ICS) es que estos reflejen su capacidad de funcionar. Adicionalmente, Estrada-Herrera *et al.*, (2017) postula que los indicadores no deben seleccionarse para cada caso en particular, sino que deben ser los mismos para poder comparar la información a nivel internacional. Así mismo, Bautista-Cruz *et al.* (2004) sostienen que los indicadores deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan.

2.5 Dinámica del Carbono

La materia orgánica del suelo (MOS) es un elemento clave de la salud del suelo porque regula e interviene en muchas de sus funciones, incluyendo el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS), disponibilidad y ciclo de los nutrientes de las plantas, mantenimiento de la biodiversidad del suelo, promueve la porosidad, aireación, y capacidad de retención de agua, regulando el pH y la conductividad hídrica. La conservación y monitoreo de las reservas del COS a niveles nacional e internacional es un desafío complejo que requiere políticas adaptadas localmente para asegurar la implementación efectiva de las prácticas pertinentes (FAO, 2017). Por lo anterior, el manejo de la MOS es una de las estrategias clave para lograr la Neutralidad en la Degradación de las Tierras (NDT). Esta estrategia busca evitar la degradación de nuevas extensiones de suelo y que la degradación inevitable se compense al restaurar una cantidad igual de tierra ya degradada. Es decir el concepto tiene dos dimensiones vinculadas reducir la tasa de degradación de la tierra no degradada; y aumentar la tasa de restauración de tierras degradadas (Kust *et al.*, 2016).

El COS es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69.8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2002). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo. Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Martínez *et al.*, 2008).

La erosión es uno de los pocos procesos del suelo que puede eliminar COS estable en grandes cantidades, por lo que sus efectos pueden ser importantes. Por lo tanto, la importancia de la degradación del suelo en general y la de la erosión en particular, en la dinámica del C y las posibles emisiones de gases de efecto invernadero, no se puede ignorar, por lo que el control efectivo de la erosión del suelo es esencial para el uso sostenible de los suelos agrícolas, pecuarios y forestales, así como la mejora de la calidad del medio ambiente.

La evaluación del CO₂ es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes “pools” del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana. Existe una relación muy estrecha entre la actividad biológica de un suelo y su fertilidad por lo que parámetros vinculados a la primera han sido propuestos como indicadores apropiados (Guerrero Ortiz y Quintero Lizaola, 2012).

2.6 Situación Actual del estudio de carbono en México

Con la evaluación del C en el suelo se podría determinar la degradación del suelo, a pesar de esto el conocimiento sobre la dinámica del flujo de carbono en los ecosistemas Mexicanos es muy limitado los estudios con los que se cuenta se originaron a partir de esfuerzos individuales ya que no existe un programa gubernamental estratégico para garantizar fondos a largo plazo para el establecimiento y la continuidad de este tipo de estudios. Una de las dependencias que ha venido estudiando los flujos de C en México es MexFlux que cuenta

actualmente con 11 sitios de estudio en México y tiene más de 30 años en datos (Vargas et al., 2013). Con este tipo de estudios individuales se podría utilizar la información recolectada para extrapolar los datos de intercambio de carbono del suelo como indicadores de degradación biológica del mismo, y así estandarizar las metodologías utilizadas para el análisis de la degradación biológica del suelo en particular y de los ciclos biogeoquímicos a nivel mundial.

La importancia de enfocar estudios en las regiones semiáridas de México se debe a su gran importancia en la industria y significativa contribución en la actividad económica y producto nacional bruto del país. Además estas regiones suelen ser más vulnerables al presentarse cuatro de los problemas más serios de la humanidad: disponibilidad de agua, migración, inseguridad y degradación.

3. JUSTIFICACIÓN

La degradación del suelo constituye uno de los problemas medioambientales más importantes a escala mundial debido a que gran parte de los suelos presentan algún grado de degradación y disminución en su calidad. La identificación y análisis de los indicadores de calidad es prioritario en el ámbito de las ciencias del suelo, no solo para mejorar cuestiones agronómicas sino también por el deterioro y pérdida de diversidad edáfica que se ha manifestado en las últimas décadas.

Dada la amplia diversidad de suelos en el país, el presente trabajo busca evaluar las características biológicas y ambientales de las zonas áridas y semiáridas del Sureste de Coahuila, que nos permitan evaluar de manera eficiente y confiable la degradación biológica del suelo en zonas áridas y semiáridas, aportando información sobre la respiración del suelo. El incorporar indicadores biológicos, los cuales son más sensibles al cambio, nos permitirá describir o explicar la degradación del suelo en un contexto más amplio.

4. HIPÓTESIS

Al comparar indicadores físicos, químicos y biológicos en diferentes sistemas de uso de suelo permitirá determinar el grado de degradación biológica y calidad de los suelos en el sureste del estado de Coahuila.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Identificar los factores bióticos y abióticos que controlan el flujo de carbono en el suelo bajo diferentes intensidades y usos de suelo durante la temporada de secas mediante el uso de indicadores fisicoquímicos, biológicos y ambientales.

5.2 Objetivos específicos

- Analizar las características fisicoquímicas y biológicas de muestras de suelos recolectadas en el sureste del estado de Coahuila en temporada de secas, para identificar su nivel de degradación.
- Evaluar las variaciones del flujo de CO₂ en el suelo y su relación con las variables ambientales, con el fin de comparar la emisión de CO₂ en los diferentes sistemas de uso de suelo.
- Comparar, a través del Análisis de Varianza, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para evaluar su calidad bajo diferentes condiciones de uso de suelo.

6. METODOLOGÍA

6.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe y General Cepeda, ubicados en el sureste del estado de Coahuila de Zaragoza. El clima es seco, semi-seco y muy seco con temperatura promedio de 17 °C y de 30 a 36 °C desde abril a octubre. El promedio de precipitación anual es de 484 mm con la mayor precipitación durante julio, agosto y septiembre (CONAGUA, 2017). Los suelos dominantes para la región son Litosoles, Xerosoles y Regosoles (SEMA, 2007), los cuales presentan una clase textural media y fases físicas petrocálcicas y predregosas. La vegetación dominante corresponde a matorral desértico rosetófilo y micrófilo y las especies dominantes son, *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata*, *Yucca carnerosana*, *Y. filifera*, *Dasyllirion cedrosanum* y numerosas especies de cactáceas, incluyendo *Echinocactus spp*, *Echinocereus spp*, *Mammillaria spp*, *Opuntia spp* entre otras.

6.2. Diseño experimental

Se identificaron 45 sitios de muestreo incluyendo los principales usos de suelo de la región: agrícolas, ganaderos, huertos, industriales y conservados, con nueve sitios de cada uso de suelo. Los sitios seleccionados son representativos de distintas intensidades de uso. De manera general, los sitios agrícolas se encontraban en descanso debido a la época de medición, pero que presentan regularmente cultivos de gramíneas con distinta intensidad y frecuencia de uso; los sitios ganaderos seleccionados fueron tanto potreros con distintas intensidades de uso como campos de pastoreo semi-estabulado; en el caso de los huertos, se seleccionaron huertos de nogal activos con hasta 30 años de producción y manejo y algunos abandonados con nogal en pie; los sitios industriales fueron parcelas en las inmediaciones de empresas; para los sitios conservados se verificó que existieran indicadores de su grado de conservación, como la presencia de vegetación propia de la región como la presencia de diversas especies de cactáceas.

Se seleccionaron 5 puntos (réplicas) por sitio mediante transectos lineales con separación de 30 m ($n=225$), en los cuales se colocaron anillos de PVC de 4" de diámetro a una profundidad de 5 cm. Los collares fueron colocados un día antes para su medición al día siguiente. El muestreo se realizó en febrero de 2019, durante cinco días, en el horario de máxima actividad de respiración del suelo (12:00-16:00); durante el muestreo no se registró precipitación y no se identificó alteración a los sitios de medición. En cada punto de muestreo se determinó el flujo de CO₂ durante 60 segundos utilizando una cámara cerrada dinámica portátil (SRC-1, PP-Systems, Massachusetts, EE.UU.), acoplado a los anillos mencionados y conectada a un analizador de gas infrarrojo (EGM-5, PP-Systems). Adicionalmente, se midió *in situ* la temperatura ambiental, humedad relativa ambiental con una microestación WatchDog (mod. 1450), temperatura y humedad del suelo con un sensor Hydraprobe III conectado al EGM (Stevens water), y la radiación fotosintéticamente activa (PAR), con un sensor MQ-200 (Apogee Instruments).

Se determinó el efecto del cambio de uso de suelo en la respiración mediante Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía ($p<0.05$). Para determinar diferencias significativas entre las medias se utilizó la prueba de Tukey's. También se realizaron análisis de correlación de Pearson's y regresiones lineales entre las variables. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software STATISTICA V10.0, y se graficó con el software Sigma Plot V12.5.

6.3. Mediciones del flujo del CO₂, temperatura y humedad del suelo

La respiración del suelo (R_s) se determinó *in situ*, con un EGM-5 el cual está equipado con un sensor infrarrojo no dispersivo (IRGA) y una cámara de suelo. Las mediciones se realizaron diariamente del 04 de febrero del 2019 al 08 de febrero del 2019. Las lecturas se hicieron para cada sistema, con cinco repeticiones al azar a una distancia mínima de 30 m entre ellas. La cámara se colocó directamente sobre los anillos de PVC colocados veinticuatro horas antes de la medición, el tiempo de las mediciones fue de aproximadamente 60 segundos. El flujo de CO₂ se estimó en micromoles de dióxido de carbono por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

6.4. Muestreo

El muestreo consistió en la colecta de una muestra de aproximadamente 500 g de suelo a una profundidad de entre 10–20 cm para cada uno de los sitios de muestreo una vez terminada la medición de la R_s y demás variables ambientales. Esto se realizó con una pica y una pala de jardinería, las muestras se colocaron en bolsas plásticas y se etiquetaron para su traslado y posterior almacenamiento en un refrigerador a una temperatura de 4°C.

6.4. Análisis de laboratorio

Propiedades fisicoquímicas del suelo

Una vez terminada la toma de muestras, estas fueron llevadas al Laboratorio de Interacción Suelo Ambiente Planta del CINVESTAV-Unidad Saltillo, debidamente identificadas. En los análisis se determinaron los siguientes parámetros:

- pH
- Materia Orgánica
- Conductividad Eléctrica
- Densidad aparente

Los métodos analíticos fueron:

- Determinación del pH por el método del potenciómetro relación agua:suelo, 1:2.5.
- Determinación de materia orgánica por el método de calcinación a 400° C durante 4 h (Pansu y Gautheyrou, 2007).
- Determinación de sales solubles totales por el método del conductímetro.
- Determinación de densidad aparente a partir del método volumétrico de probeta (Soriano & Pons, 2004).

Determinación de pH

Previamente se preparó el suelo tamizándolo en malla de 2mm, se pesó en la balanza analítica 10 g de suelo, inmediatamente se colocó en un tubo falcón de 250 ml y se le agregó 25 ml de agua destilada. Posteriormente se colocó la muestra en un agitador durante 15 min con posterior reposo de 30 min. Pasado el tiempo de reposo, se determinó el pH con un medidor Thermo scientific modelo Orion Star A211 previamente calibrado.

Determinación de materia orgánica

Se tomó el peso de crisoles de porcelana secos. Después se agregó 5 g de suelo a cada crisol, para pesar el crisol con la muestra de suelo. Se colocaron los crisoles con la muestra en la mufla y se calcinaron a 400° C durante 4 horas. Posteriormente se pesaron las muestras de suelo calcinadas en los crisoles.

Determinación de conductividad eléctrica

Se pesaron 10 g de suelo previamente tamizado en tubos falcón para después añadir 25 ml de agua destilada. Se agitaron los tubos durante 10 min en un agitador orbital y se dejaron reposar durante 30 min. Enseguida se colocó el papel filtro sobre el embudo en tubos falcón limpios para llevar a cabo la filtración. Después de obtener el extracto, se introdujo el electrodo en el extracto para realizar la medición.

Determinación de la densidad aparente

Para determinar la densidad aparente por el método volumétrico de probeta, se procedió a pesar una probeta de 10mL vacía, después se agregó suelo hasta completar los 10mL, una vez lleno se golpeteo la probeta sobre una franela con fuerza moderada y se volvió a agregar suelo para completar los 10 mL, se volvió a pesar la probeta ahora con suelo y se restó el peso de la probeta vacía para calcular la densidad aparente.

6.6 Análisis de datos

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software STATISTICA V10.0. Mediante análisis de Varianza (ANOVA) de una vía ($P < 0.05$). Para determinar diferencias significativas entre las medias se utilizó la prueba de Tukey HSD ($P < 0.05$). Adicionalmente se realizaron análisis correlación de Pearson entre la R_s y las variables bióticas y abióticas. Para los análisis de datos se tuvo en cuenta una correlación entre la temperatura y la humedad del suelo que afectan la R_s . (Curiel Yuste et al., 2003; Matías et al., 2012).

7. RESULTADOS

El intervalo de respiración del suelo (R_s) total tuvo una variación de entre <0.001 y $1.11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De acuerdo con análisis de varianza se obtuvieron diferencias ($p \leq 0.05$) en la R_s , humedad de suelo y materia orgánica (MOS) para el factor uso de suelo. La mayor R_s se identificó en sitios de uso Agrícola ($0.26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), seguido por el Ganadero ($0.24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), posteriormente por el suelo de Huertos ($0.20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), suelos Conservados ($0.048 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y finalmente los suelos de uso Industrial ($0.045 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Se observó un comportamiento para la respiración Agrícola>Ganadero>Huerto>Industrial y Conservado.

Se compararon las variables Temperatura ambiental, Humedad relativa ambiental, Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), Temperatura del suelo, pH, Conductividad Eléctrica, Densidad aparente y MOS con relación a los cinco diferentes usos de suelo. La tabla 1 muestra el comportamiento de estas variables con respecto a los distintos usos y cómo están relacionados entre sí. La PAR no muestra ninguna diferencia significativa entre ninguno de los usos. Los suelos con usos Agrícola y Huerto no mostraron diferencias significativas en ninguna variable ambiental analizada, lo mismo sucede con los suelos de usos Conservado e Industrial. El suelo con uso Ganadero presentó la mayor conductividad eléctrica y el menor pH y densidad aparente en comparación al resto de usos de suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones ambientales asociadas a la respiración del suelo bajo diferentes condiciones de uso en el sureste del Estado de Coahuila.

Variable	Agrícola	Conservado	Huerto	Ganadero	Industrial	F _{4,220}	P
T ambiental (°C)	29.56±1.25 ^a	27.63±1.18 ^{ab}	29.35±1.18 ^a	24.47±1.19 ^b	29.86±1.10 ^a	3.65	0.01
HR amb. (%)	27.26±0.81 ^a	24.38±1.09 ^{bc}	26.76±0.64 ^{ab}	28.36±0.48 ^a	21.62±0.52 ^c	13.23	<0.001
PAR	986.31±80.71 ^a	852.38±71.65 ^a	720.84±95.79 ^a	693.31±81.68 ^a	842.98±63.64 ^a	2.18	0.07
T suelo (°C)	26.20±1.05 ^{ab}	26.43±0.94 ^{ab}	26.95±1.06 ^{ab}	23.93±0.83 ^b	28.13±0.94 ^a	2.51	0.04
pH	8.04±0.05 ^a	8.16±0.04 ^a	8.11±0.05 ^a	7.80±0.05 ^b	8.21±0.05 ^a	11.30	<0.001
CE (µs/cm)	1516.66±148.48 ^b	814.60±49.19 ^b	1884.32±280.31 ^b	8914.36±1435.96 ^a	1000.77±181.31 ^b	27.31	<0.001
Densidad (g/ml)	1.11±0.01 ^b	1.20±0.02 ^a	1.04±0.01 ^b	0.95±0.03 ^c	1.20±0.02 ^a	30.50	<0.001

Valores representan la media ± error estándar (n=45). Letras diferentes significan diferencias significativas entre usos de suelo, de acuerdo con la comparación múltiple de medias de Tukey (p < 0.05), en una ANOVA de una vía. T= temperatura, HR= humedad relativa, PAR= Luz fotosintéticamente activa, CE=Conductividad Eléctrica.

La figura 1 muestra como la humedad del suelo fue distinta en los diferentes usos de suelo estudiados. Las diferentes letras representan diferencias entre los usos de suelo, de acuerdo con los resultados del ANOVA y la comparación múltiple de la media Tukey HSD ($p < 0.05$). La línea dentro del recuadro es el valor mediano que indica el rango intercuartil (percentiles 25 a 75), y los bigotes se extienden al valor más extremo dentro del rango intercuartil 1.5.

Los suelos con uso Agrícola, Ganadero y Huerto no mostraron diferencias significativas entre ellos, los suelos de Huertos y sitios Conservados tampoco mostraron diferencias significativas, así mismo los usos Industrial y Conservado no mostraron diferencias significativas entre ellos, sin embargo, estos dos últimos si mostraron diferencias significativas con los usos Agrícola y Ganadero.

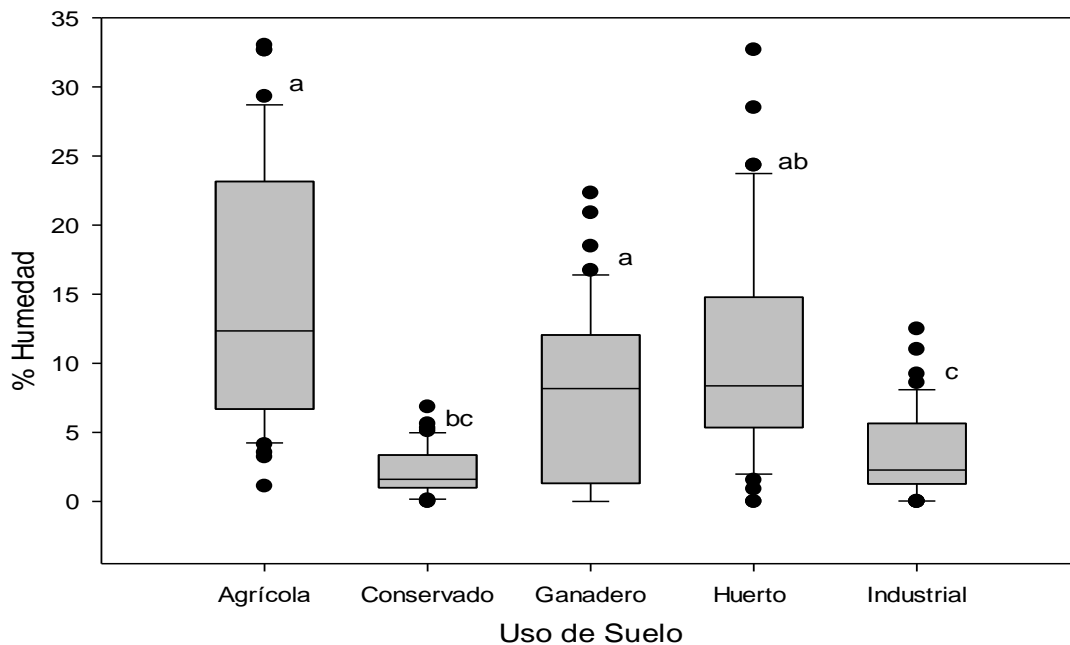


Figura 1. Efecto del uso del suelo sobre el porcentaje de Humedad en el sureste del Estado de Coahuila.

Con respecto a los indicadores biológicos de la calidad del suelo, la figura 2 muestra como la MOS varió en los diferentes usos. Las diferentes letras representan diferencias entre los usos de suelo; Tukey HSD comparación múltiple de la media ($p < 0.05$). La línea dentro del recuadro es el valor mediano que indica el rango intercuartil (percentiles 25 a 75), y los bigotes se extienden al valor más extremo dentro del rango intercuartil 1.5.

El suelo de uso Ganadero mostró una mayor cantidad de MO. No se encontraron diferencias significativas entre los suelos de uso Agrícola y Huerto, así mismo, no se encontraron diferencias entre los usos Conservado e Industrial.

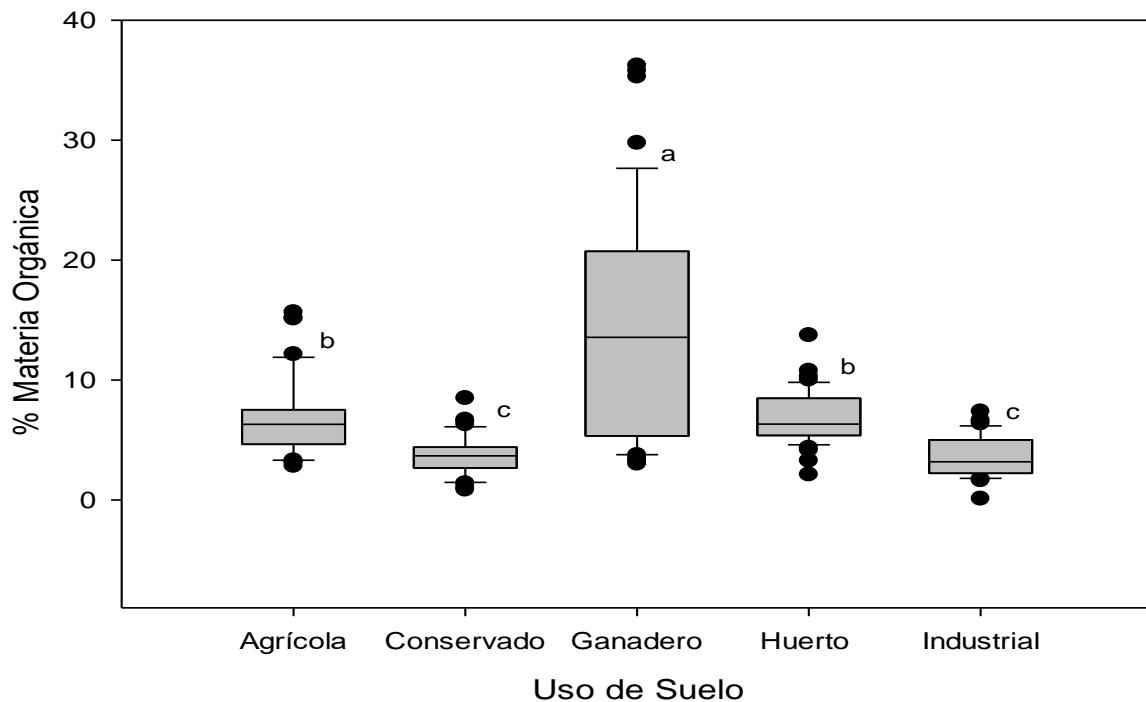


Figura 2. Efecto del uso del suelo sobre el porcentaje de Materia Orgánica en el sureste del Estado de Coahuila.

La figura 3 muestra como la Respiración del suelo (R_s) varió en los diferentes usos de suelo. Las diferentes letras representan diferencias entre los usos de suelo; Tukey HSD comparación múltiple de la media ($p < 0.05$). La línea dentro del recuadro es el valor mediano que indica el rango intercuartil (percentiles 25 a 75), y los bigotes se extienden al valor más extremo dentro del rango intercuartil 1.5.

No hay diferencias significativas entre los usos Agrícola Ganadero y Huerto, pero si hay diferencias significativas con los usos Conservado e Industrial, entre estos últimos no hay diferencias significativas. La R_s fue similar entre los usos Conservados e Industriales es decir sigue el mismo comportamiento que con las demás variables analizadas.

Los suelos de uso Ganadero y Agrícola mostraron una R_s significativamente mayor en comparación con los suelos de Huertos, de sitios conservados y con influencia industrial.

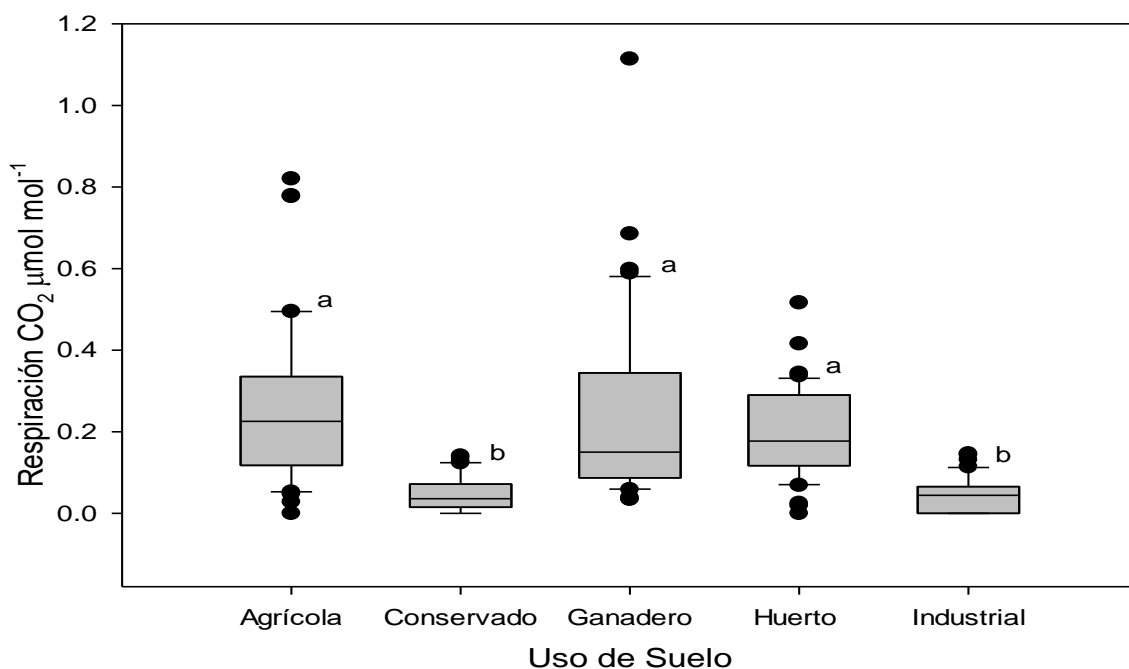


Figura 3. Efecto del uso del suelo sobre la respiración edáfica en el sureste del Estado de Coahuila.

Tabla 2. Correlación de Pearson's entre las propiedades fisicoquímicas bajo diferentes condiciones de uso de suelo en el sureste del Estado de Coahuila. Los efectos significativos están en negrita (*p<0.05; **p<0.001; *p<0.0001).**

	Ta ambiental	RH ambiental	Par	Ta Suelo	Humedad Suelo	RS Lineal	pH	CE	Densidad	MOS
RH ambiental	-0.61***									
Par	0.63***	-0.44***								
Ta Suelo	0.95***	-0.66***	0.61**							
Humedad Suelo	0.12	0.12	-0.02	0.05						
R _s Lineal	0.13*	0.09	0.16*	0.09	0.56***					
pH	0.26***	-0.20**	0.17*	0.24**	-0.15*	-0.26***				
CE	-0.07	0.04	-0.03	-0.02	0.08	0.43***	-0.48***			
Densidad	0.01	-0.12	-0.01	0.01	-0.29***	-0.53***	0.44***	-0.55***		
MOS	-0.04	0.21**	0.02	-0.06	0.27***	0.55***	-0.40***	0.61***	-0.82***	

Rs= respiración del suelo ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), Ta= temperatura, RH= humedad relativa, PAR= Luz fotosintéticamente activa, H= humedad, CE=Conductividad Eléctrica, MOS= Materia Orgánica del suelo.

En la tabla 2 se observa cómo se encuentran correlacionadas las variables fisicoquímicas del suelo con respecto a la R_s , en ella se muestra qué % de humedad y MOS se correlacionaron positivamente con la R_s , mientras que la densidad se relaciona negativamente. Es decir, a mayor porcentaje de materia orgánica y mayor humedad, mayor respiración del suelo se presentó, en cambio entre mayor fue la densidad del suelo menor fue la liberación de CO_2 del suelo.

La Humedad y la MOS se correlacionaron positivamente con la R_s con $R^2=0.31$, $p<0.0001$ y 0.33 , $p<0.0001$, respectivamente (Figuras 4 y 5, respectivamente). Es decir, a un mayor porcentaje de MO también se tuvo una mayor R_s tal como se observó los sitios Ganadero, Huerto y Agrícola; caso contrario a lo que sucedió en los usos Conservado e Industrial, en donde al tener valores más bajos de MOS presentan una menor liberación de CO_2 por parte del suelo, este mismo comportamiento se observa para la Humedad.

La R_s se correlacionó positivamente con otras propiedades químicas y ambientales (Tabla 2) como la CE con $R^2=0.18$, $p<0.0001$, T_a Ambiental con $R^2=0.018$, $p<0.05$ y PAR con $R=0.16$, $p<0.05$ estos dos últimos sin ser tan significativos.

Las propiedades fisicoquímicas también estuvieron correlacionadas entre ellas, se observa como la MOS y la CE están correlacionadas positivamente con $R^2=0.37$, $p<0.0001$ es decir la CE fue mayor cuando el porcentaje de MOS aumentó. Al mismo tiempo la MOS se correlacionó negativamente con la Densidad aparente con $R^2= -0.67$, $p<0.0001$ esto sugiere que entre mayor fue el porcentaje de MOS menor fue la Densidad.

Las otras variables presentaron correlaciones esperadas como que la T_a del ambiente este correlacionada positivamente con la T_a del suelo con $R=0.95$, $p<0.0001$ sucede lo mismo con la correlación positiva de la PAR con la T_a del ambiente con $R= 0.63$, $p<0.0001$.

Para corroborar la correlación entre la humedad del suelo, y la respiración, se realizó una regresión lineal entre estas dos variables. Así mismo entre las variables MOS y R_s .

Se encontró que la humedad del suelo se relacionó positivamente con la R_s (Figura 4). Es decir, la R_s es explicada por la humedad del suelo ($R^2= 0.31$). Los sitios de uso Agrícola, Ganadero y Huerto presentan los valores de Humedad de suelo y R_s mal altos.

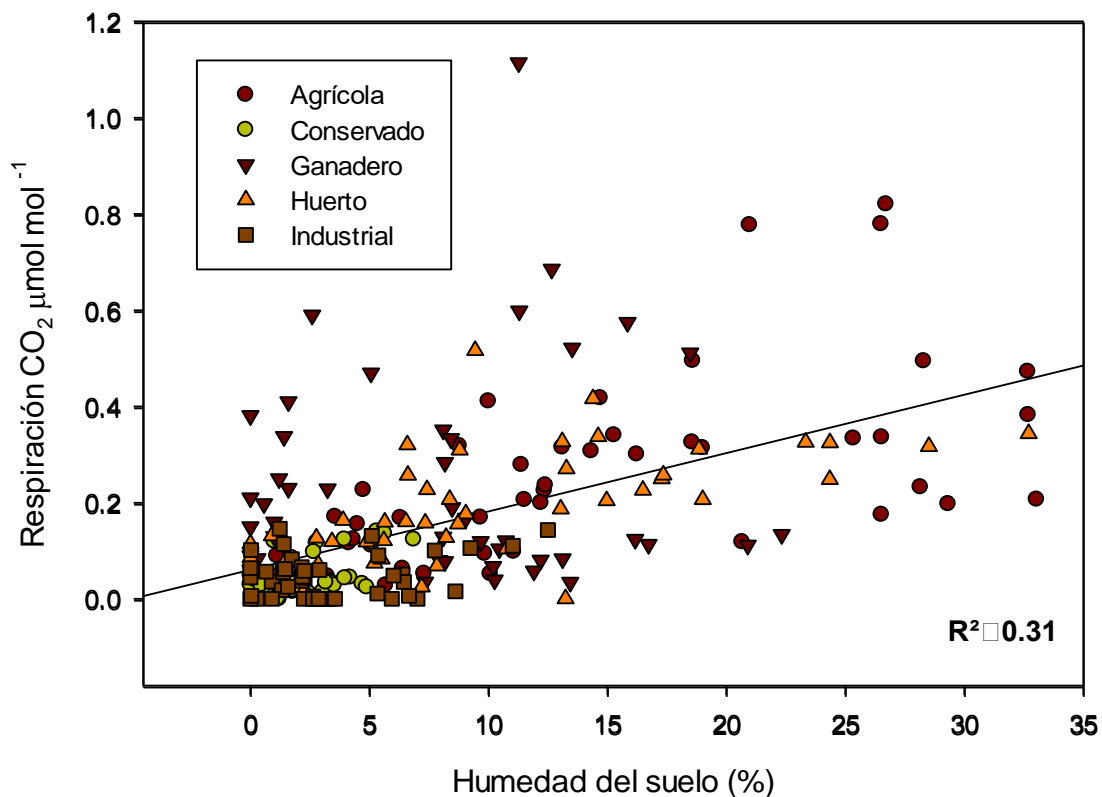


Figura 4. Regresión lineal entre la respiración y el porcentaje de humedad del suelo para cada uno de los diferentes usos de suelo localizados al sureste del Estado de Coahuila.

Asimismo, la cantidad de materia orgánica explica en 33% la R_S de acuerdo con los resultados de la regresión lineal entre estas dos variables (Figura 5). Se observa como en los sitios de uso Ganadero y Agrícola hay mayor porcentaje de materia orgánica y al mismo tiempo la respiración es mayor. Así mismo se aprecia como la R_S es menor en los usos Industrial y Conservado donde la materia orgánica es visiblemente menor.

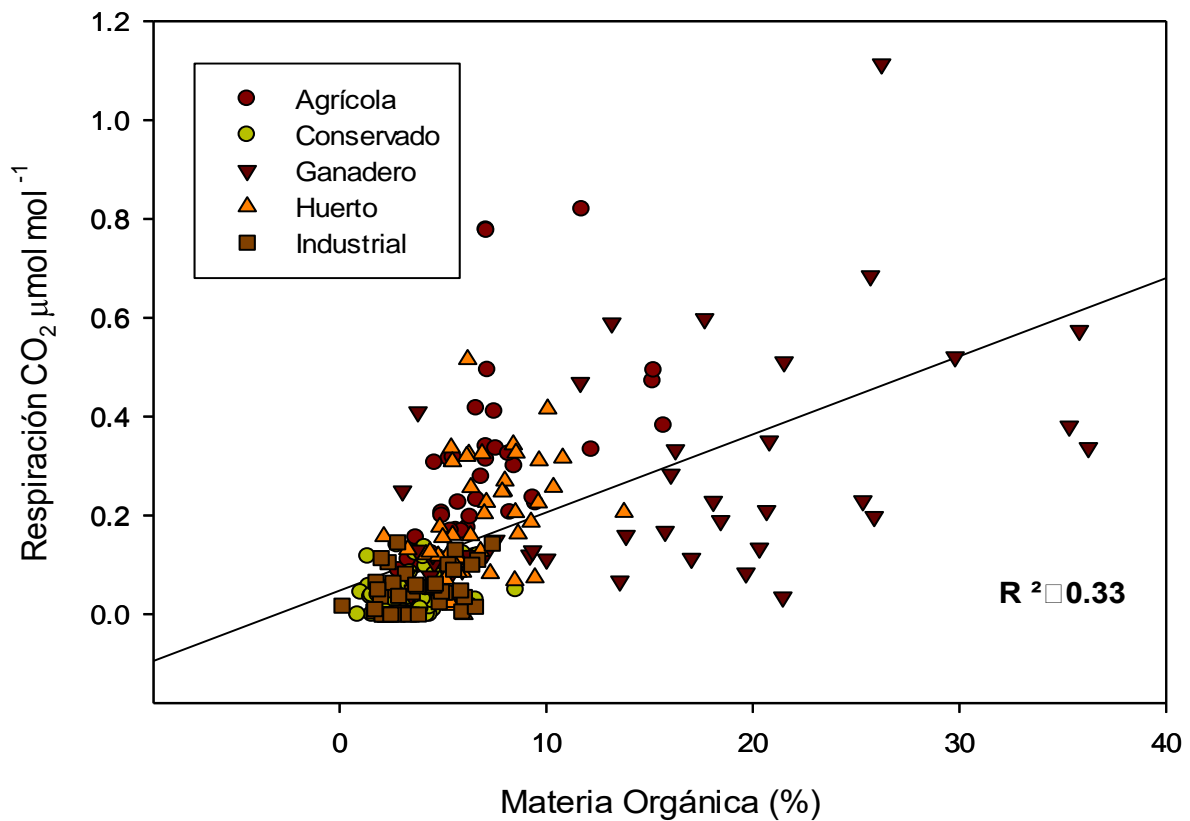


Figura 5. Regresión lineal entre la respiración y el porcentaje de Materia Orgánica del suelo para cada uno de los diferentes usos de suelo localizados al sureste del Estado de Coahuila.

8. DISCUSIÓN

La respiración del suelo (R_s) en el sureste del estado de Coahuila medida en este estudio se encontró dentro de los rangos reportados con anterioridad para sitios áridos, en estudios como el de Cable *et al.*, (2011) donde se evaluó el valor la R_s en siete desiertos diferentes y como la temperatura afecta, o el trabajo de Lucas *et al.*, (2008) donde se analizó la influencia de la humedad en la R_s de ecosistemas áridos, dichos estudios encontraron que el comportamiento de la R_s es similar en suelos áridos y esta varía bajo las diferentes condiciones de humedad y temperatura que presenten los suelos, por ejemplo, aumentando cuando la temperatura disminuye y la humedad es mayor, en concordancia con los resultados obtenidos en este estudio.

La R_s se vio afectada por el cambio de uso de suelo, siendo los sitios ganaderos y agrícolas los que presentaron una mayor cantidad de CO_2 liberado, al igual que lo reportado por Yáñez-Díaz *et al.* (2017) quien demostró que en un mismo tipo de suelo, con diferentes tipo de usos presenta diferencias en emisiones de CO_2 . De igual forma Vallejo *et al.* (2005) señala que el cambio de usos del suelo es la principal causa que determina el suelo como sumidero de C pues estos cambios influyen en la humedad y contenido de materia orgánica. Todo esto concuerda con obtenido en este estudio pues se observó una tendencia en el aumento de la materia orgánica, la humedad y la respiración del suelo en los distintos usos.

En todas las variables medidas se encontró un efecto derivado del cambio de uso de suelo, siendo más evidente en el caso de los suelos de sitios ganaderos, esto se puede explicar debido al alto contenido de humedad y materia orgánica generado por el manejo que se le da, el uso de agua es destinado principalmente para el ganado, siendo la orina la principal fuente de humedad hacia el suelo, mientras que la materia orgánica proviene del materia fecal y restos de alimento del ganado. Así mismo, la mayor cantidad de materia orgánica retiene una mayor cantidad de humedad del suelo (Abu-Hamdeh, 2001).

Por su parte los sitios agrícolas y huertos presentan altos valores de humedad del suelo debido al manejo de estos. La vegetación de los sitios agrícolas y huertos requieren riego constante y abundante. Así mismo durante el muestreo en campo se observó que este riego a veces es excesivo, mientras que en los sitios conservados e industriales el riego es nulo y sólo se cuenta con las precipitaciones durante la temporada de lluvias.

El contenido de MOS está directamente relacionado con el uso y manejo, los sitios conservados mantienen la vegetación característica de zonas semiáridas que incluye varias familias de cactáceas y arbustos, siendo en general suelos pedregosos con bajo contenido de MOS, esta característica es similar en los suelos con influencia industrial. Sin embargo, en estos suelos con influencia industrial, la vegetación nativa es muy escasa y en general se muestran suelos desnudos con algunos indicios de contaminación. Mientras que en los demás usos de suelo el contenido de MOs es mayor, en estos sitios la vegetación nativa ha sido reemplazada, por la agricultura, Huertos de nogal y para el establecimiento de actividades ganaderas.

Analizando la densidad aparente, si esta propiedad aumenta, la compactación del suelo también en consecuencia la retención de humedad disminuye, limitando el crecimiento de raíces. Al mismo tiempo a medida que aumenta la MOS la densidad aparente disminuye (Sepúlveda-Blanco, 2009). Esto explica los datos obtenidos pues sitios con densidad aparente alta tienen menor contenido de Humedad y MOS y en consecuencia menor respiración.

Como se ha venido mencionando los resultados de la R_s entre los diferentes usos de suelo se ven explicados principalmente por el contenido de MOS y humedad. Ramos y Zuñiga (2008) concluyen que la Humedad es un factor limitante para la respiración, modificándola y controlándola. Al mismo tiempo la humedad juega un papel importante en la actividad microbiana pues su rendimiento fisiológico depende del contenido de agua, un bajo contenido de humedad podría limitar o restringir los procesos bioquímicos subterráneos y así disminuir la R_s (Lai et al., 2013).

Por otro lado, la MOS también representa un factor importante, aunque se dispone de menos información de su efecto sobre la respiración del suelo, está documentado que esta propiedad tiene influencia en otros parámetros como la riqueza de especies, la biomasa, la actividad de los microorganismos del suelo, características estructurales y composición de la comunidad vegetal. Estos parámetros son componentes del reservorio de carbono ya que la respiración del suelo procede de dos flujos principales: de la respiración de las raíces (respiración autotrófica) y de la respiración de los organismos del suelo (respiración heterotrófica) (Martínez *et al.*, 2009).

En este estudio, la R_s los sitios ganaderos y agrícolas presentaron una mayor cantidad de CO_2 liberado, esto relacionado con la mayor humedad y cantidad de MO que éstos presentan, representando una liberación de C del suelo, en lugar de su almacenamiento, esto como repuesta de la actividad microbiana del suelo (Yáñez-Díaz *et al.*, 2017).

Al considerar cinco usos de suelo diferentes, se puede contrastar los efectos que han tenido las prácticas humanas en los suelos semiáridos de la región sobre la calidad del suelo, esto al comparar las diferentes variables, si consideramos que los suelos conservados mantienen las características originales de los suelos en la región se observan evidentes alteraciones en las variables medidas, estas alteraciones tienen una profunda influencia en los procesos de degradación del suelo. Yáñez-Díaz *et al.* (2017) menciona que la alteración en las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo en regiones áridas genera disturbios ambientales en los mecanismos naturales del suelo y los procesos hidrológicos. Es decir, los usos de suelo analizados presentan alteraciones o algún grado de degradación al considerar las variables analizadas como ICS.

9. CONCLUSIONES

El ciclo del carbono en las zonas áridas es afectado por el cambio de uso del suelo de acuerdo con los resultados de este estudio. Además, se demostró que la respiración del suelo es un proceso importante que puede ser utilizado como un indicador biológico para la cuantificación los procesos ecológicos de las zonas áridas y semiáridas porque es muy sensible a los factores ambientales.

Sin embargo, la incorporación de este indicador en la evaluación del grado de uso del suelo está limitada debido a la falta de información sobre el proceso de respiración del suelo y su relación con la temperatura, la humedad y el contenido de MO.

El presente estudio demuestra que es posible utilizar la R_s como un indicador de la calidad del suelo, pues esta variable está reflejando el funcionamiento y el manejo del suelo, que al complementarse con otros indicadores biológicos (materia orgánica), físicos (humedad del suelo) y químicos (conductividad eléctrica) nos permiten establecer la calidad de los suelos bajo las condiciones de uso actual.

Logrando así, abordar una brecha de conocimiento aportando datos que puedan servir como contraste para estudios posteriores.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Hamdeh, N. H. (2001). Soil and water: measurement of the thermal conductivity of sandy loam and clay loam soils using single and dual probes. *J. Agr. Eng. Res.*, 80(2): 209-216.
- Bautista-Cruz, A., Etchevers, J., del castillo, R., & Gutiérrez-Castorena, M. D. C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13.
- Cable, J. M., Ogle, K., Lucas, R. W., Huxman, T. E., Loik, M. E., Smith, S. D., Nowak, R. S. (2011). The temperature responses of soil respiration in deserts: a seven desert synthesis. *Biogeochemistry*.
- Cantu Silva, I., González Rodríguez, H., & Gómez Meza, M. (2010). CO₂ Efflux in Vertisol under different land use systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.
- CONAGUA. (2017). Estadísticas del Agua en México
- Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., & Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones geográficas*, 81-104.
- CONAZA. (2019). La producción en zonas áridas de México. *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*
- Da Veiga, M., Do Prado Wildner, L., & Benites, J. R. (2003). Latin American Conservation Agriculture Network — RELACO. In L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela & A. Holgado-Cabrera (Eds.), *Conservation Agriculture: Environment, Farmers Experiences, Innovations, Socio-economy, Policy* (pp. 105-110). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51, 813-831.
- FAO. (2002). *Captura De Carbono en los suelos para un mejor manejo en la tierra* Paper presented at the Informe sobre los recursos Mundiales del Suelo Paris, Francia
- FAO. (2015). *Fao.org*. *Fao.org*.
- FAO. (2017). Liberación del potencial de carbono orgánico del suelo Roma, Italia.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35, 125-138.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., Vázquez-Alarcón, A., & Ruíz-Puga, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19, 45-66.
- Guerrero Ortiz, P., & Quintero Lizaola, R. (2012). RESPIRACIÓN DE CO₂ COMO INDICADOR DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN ABONOS ORGÁNICOS DE LUPINUS. *Terra Latinoamericana*, 355-362.
- Gutiérrez-Cedillo, J. G., L. I. Aguilera-Gómez y C. E. González-Esquivel (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15: 51-87.
- Hernán Orjuela, B. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos. *Revista de ciencias Agrícolas*.
- Kust, G., Andreeva, O., & Cowie, A. (2016). Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment. *Journal of Environmental Management*, 195. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.043
- Lai, L., Wang, J., Tian, Y., Zhao, X., Jiang, L., Chen, X., . . . Zheng, Y. (2013). Organic Matter and Water Addition Enhance Soil Respiration in an Arid Region. *PLoS ONE*, 8(10), 1-11. doi: 10.1371/journal.pone.0077659
- López, F. R. (2002). Degradación del suelo; causas, procesos, evaluación e investigación. *Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial*.

- Martínez H, E., Fuentes E, J. P., & Acevedo H, E. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8, 68-96.
- Martínez, T., González-Garrido, L., & Delgado, J. (2009). *Respiración del suelo en zonas riparias: efecto de la materia orgánica, de la vegetación herbácea y de la biomasa de raíces*.
- Morales, C., & Parada, S. (2005). *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales*. Chile: CEPAL.
- Muñoz Iniestra, D. J., Ferreira Ramírez, M., Escalante Arriaga, I. B., & López García, J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana*, 31, 201-210.
- Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2007). *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*: Springer Science & Business Media.
- Quintero, V. E. V. (2013). Importancia y Utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente Microbiano *Colombia Forestal*.
- Ramos, V. E., & Zuñiga, D. D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel laboratorio. *Departamento académico de Biología*.
- SEMA. (2007). Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado, Bitácora Ambiental.
- SEMARNAT. (2003). La degradación de suelos en México. México
- SEMARNAT. (2014). SEMARNAT; El medio ambiente en México. *SEMARNAT; El medio ambiente en México*.
- SEMARNAT, y CP. (2003). Evaluación de la Degradación del Suelo por causa del Hombre. México.
- SEMARNAT, y UACH. (2003). Evaluación de la pérdida de suelos por erosión Hídrica y Eólica en la República Mexicana. México.
- SEMARNAT. (2013). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos*. Coahuila: SEMARNAT-CONAFORT.
- SEMARNAT. (2013). *La Degradación de suelos en México*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales .
- Sepúlveda, B. R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*.
- Sims, G. K. (1990). Biological Degradation of Soil. In R. Lal & B. A. Stewart (Eds.), *Advances in Soil Science: Soil Degradation Volume 11* (pp. 289-330). New York, NY: Springer New York.
- Soriano, D., & Pons, V. (2004). *Prácticas de edafología y climatología Alfaomega*. México.
- Vallejo, R. V., Díaz, F. F., & De la Rosa, D. (2005). Impactos sobre los recursos edáficos. *Impacto del Cambio Climático en España*.
- Vargas, R., Yépez, E. A., Andrade, J. L., Angeles, G., Arredondo, T., Castellanos, A. E., . . . C. (2013). Progress and opportunities for monitoring greenhouse gases fluxes in Mexican ecosystems.
- Villarreal-Quintanilla, José Á., & Encina-Domínguez, Juan A. (2005). Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botanica Mexicana*, (70).
- Yáñez Díaz, M. I., Cantú Silva, I., González Rodríguez, H., Marmolejo Monsiváis, J. G., Jurado, E., & Gómez Meza, M. V. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8, 123-149.