



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

“ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN SUELO
CULTIVADO CON *Zea mays* EN EL RANCHO LA PALMA,
MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO”.

Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

ABRAHAM AGUSTÍN TORRES GARCÍA

DIRIGIDA POR:

**DRA. MARÍA ESTELA OROZCO HERNÁNDEZ
DR. GUSTAVO ÁLVAREZ ARTEAGA**

CONACYT- SEMARNAT 107956

TOLUCA, MÉXICO 2015





UAEM | Universidad Autónoma del Estado de México

3° (EV. DE GRADO)
OFICIO NO 361/2015

Toluca, México, 11 de septiembre de 2015

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
ABRAHAM AGUSTIN TORRES GARCÍA
FACULTAD DE QUIMICA
P R E S E N T E

La que suscribe Directora de la Facultad de Química, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, comunica a Usted que el Jurado de su Evaluación de Grado estará formado por:

FIRMA

Dr. Alejandro Rafael Alvarado Granados
PRESIDENTE

Dr. Gustavo Álvarez Arteaga
SECRETARIO

Dra. María Estela Orozco Hernández
PRIMER VOCAL

M. en C. Patricia Mireles Lezama
SEGUNDO VOCAL

Dr. José Emilio Baro Suárez
TERCER VOCAL

M. en G. Julio César Carbajal Monroy
SUPLENTE

Dra. María Eugenia Valdez Pérez
SUPLENTE

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO

"2015, Año del Bicentenario Luctuoso de José María Morelos y Pavón"

M. en A.P. GUADALUPE OFELIA SANTAMARIA GONZALEZ
DIRECTORA



c.c.p.Archivo

www.uaemex.mx

Facultad de Química • Paseo Colón Esq. Paseo Toluca • Toluca Estado de México
Tel. y Fax: 217-5109 y 217-3890 • fquim@uaemex.mx

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIAS	5
FINANCIAMIENTO	6
REGISTRO DE PROTOCOLO	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	9
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	10
<i>Enfoques de Investigación</i>	13
<i>Enfoque de las Ciencias Ambientales</i>	13
<i>Enfoque Sistémico</i>	13
JUSTIFICACIÓN	14
<i>Contribución de la propuesta</i>	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
HIPOTESIS	16
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
OBJETIVO GENERAL	16
<i>Objetivos Particulares</i>	16
ZONA DE ESTUDIO	18
<i>Suelo</i>	19
<i>Sistema agrícola</i>	27
METODOLOGIA	29
Muestreo de suelos	29
Muestreo de gases en campo y procesamiento en el laboratorio	30
Validación de la metodología de medición de CO ₂ en campo	33
Muestreo en Campo para suelos y su procesamiento en el laboratorio	34
Resultados	36
ARTICULO -RESULTADOS DE EMISIONES DE CO₂	37
<i>Resumen</i>	37
<i>Abstract</i>	38
<i>Resumo</i>	39
<i>Introducción</i>	39
<i>Materiales y método</i>	41
<i>Muestreo de suelos</i>	43
<i>Análisis de suelo en laboratorio</i>	44

<i>Muestreo de CO₂</i>	44
<i>Análisis de resultados</i>	47
<i>Emisiones de CO₂</i>	50
<i>Discusión de resultados</i>	52
<i>Conclusión</i>	56
<i>Referencias</i>	58
CONCLUSIONES GENERALES	61
GLOSARIO	63
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	64

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de México por brindarme los medios para continuar con mi formación en la Maestría en Ciencias Ambientales y por haberme brindado la oportunidad de escalar un peldaño más en el campo del conocimiento.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo recibido a través de la beca nacional y la beca mixta para realizar la estancia de investigación en España y el patrocinio para la realización de mi tesis de maestría, la cual forma parte del proyecto: Cambios de uso del suelo inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México; impactos locales y emisiones globales de gases efecto invernadero. CONACYT- SEMARNAT 107956

Agradezco sinceramente a mis directores de tesis, la Dra. en G. María Estela Orozco Hernández por la vinculación al proyecto, paciencia, confianza y dedicación en la elaboración de este trabajo, y al Dr. en C. Gustavo Álvarez Arteaga, por su apoyo y orientación durante la realización de este estudio, a los dos muchísimas gracias.

Agradezco a la Mtra en C. Patricia Mireles Lezama, a la Bióloga Antonieta Reyes Suazo por su apoyo y colaboración para realizar este trabajo. Así mismo agradezco al equipo de trabajo del Laboratorio de Ciencias Ambientales que me apoyaron en el muestreo de campo y en el de análisis de las muestras.

Agradezco a la familia Valdez Iglesias, sus atenciones, por brindar la información solicitada y las facilidades para realizar el muestreo de campo en las parcelas pertenecientes al Rancho la Palma.

DEDICTORIAS

A Dios que por su infinita bondad, amor, me brinda, la vida, salud y fortaleza, para permitirme llegar a la meta deseada.

A mis Padres por su apoyo incondicional, fe y confianza que siempre me brindan. Que con sus oraciones, sus sabios consejos y *la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y sobre todo por su amor.*

A mi hermana, por el apoyo moral que durante mis estudios me brindaste en el logro de un importante objetivo de mi vida, apoyo que recordare siempre como ejemplo de lucha y superación.

A mis Familiares que han fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de ésta tesis.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación parte de los objetivos del proyecto: “Cambios de uso del suelo inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México: impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero”, financiado por CONACYT con la clave CONACYT-SEMARNAT 107956.

REGISTRO DE PROTOCOLO

El protocolo del presente estudio fue aceptado por la Comisión Académica de la Maestría y Doctorado en Ciencias Ambientales en su sesión del día 22 de mayo de 2014, con clave de registro 01/MAC/2014.

RESUMEN

El suelo agrícola con producción de *Zea mays* es un emisor de dióxido de carbono (CO₂) que ha sido poco estudiado en México, y es necesario implementar estudios que permitan conocer la contribución del suelo en la emisión de CO₂, por ello esta investigación se enfoca en estimar las emisiones de dicho gas en un suelo cultivado con maíz en el Rancho la Palma, municipio de Temoaya, Estado de México. Para lograr este objetivo el proyecto se compone de un marco referencial en el cual se analizan estudios sobre las estimaciones de CO₂, identificando los materiales que se implementaron y que resultados se obtuvieron, lo que permitió construir el marco metodológico de esta investigación.

Las metodologías seleccionadas permitieron realizar un muestreo que aportó resultados confiables y validados con el análisis estadístico; de acuerdo con Schulze, (2000). En una primera etapa se realizó la selección de los sitios de estudio y para obtener muestras de suelo, se aplicó el método por zigzag con el objeto de obtener las características edáficas del sitio de estudio. El muestreo se realizó en dos sitios de cultivo y en una zona de erial. Se tomaron muestras de suelo y subsuelo a una profundidad de 0-20cm y 20-40 cm, en el laboratorio se determinó la densidad aparente (D.A), densidad real (D.R), pH con H₂O, pH con KCl, materia orgánica (M.O) y carbono orgánico (COS). En la segunda etapa se realizó el muestreo de CO₂ en suelo, en el ciclo agrícola primavera-verano 2013, utilizando cinco cámaras de PVC, con un diámetro de 30cm y altura de 20cm, sellado hermético y un ventilador que mezcló los gases al momento del muestreo, el análisis de 715 muestras de gas se realizó en un cromatógrafo GC 450 BRUKER. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, las emisiones promedio de CO₂ en un ciclo agrícola son 0.002252kg/m²/año, comparada con el almacén de carbono orgánico total 0.0069123 kg/m²/año, indica que el suelo en el Rancho la Palma, almacena tres veces más carbono orgánico por unidad de área, con respecto al CO₂ que emite a la atmósfera, lo cual

establece una línea base para caracterizar el comportamiento de este gas en otras regiones agrícolas del Estado de México.

ABSTRACT

Agricultural land with corn production is an emitter of carbon dioxide (CO₂) that has been little study in Mexico, and is necessary to implement studies to know the contribution of soil in CO₂ emissions so this research will focus on estimating said gas emissions in maize acreage in Rancho la Palma, municipality of Temoaya, State of Mexico. To achieve this objective, the project consists of a framework in which studies CO₂ estimates which were analyzed to identify the materials that were implemented and results obtained, which allowed building the methodological framework of the research.

Selected methodologies allowed a sampling of results from reliable validated with statistical analyzes, in a first stage the selection of study sites was made and to sample soil sampling method was applied to zigzag in order to obtain the soil characteristics of the study site, for which the sampling was conducted in two cultivation sites in an area of wasteland. Soil samples were taken and subsoil to a depth of 0-20cm and 20-40 cm in the laboratory bulk density (DA), particle density (DR), pH H₂O, KCl pH, organic matter (OM was determined) and organic carbon (COS). In the second stage sampling CO₂ in soil shall be performed, was conducted in the spring-summer 2013 agricultural cycle, using five cameras PVC, diameter of 30cm and height of 20cm, hermetic sealing and a fan to mix the gases at the time of sampling , 715 analyzing gas samples GC was performed on a BRUKER 450 chromatograph. The average CO₂ emissions in an agricultural cycle in order 0.002252kg / m², compared to the total organic carbon 0.0069123 kg / m², indicating that the soil in Rancho la Palma, stores three times more organic carbon per unit area with respect to the CO₂ emitted into the atmosphere, which establishes a baseline to characterize the behavior of this gas in other agricultural regions of the State of Mexico.

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Éste trabajo se enfoca a estimar la emisión de dióxido de carbono (CO₂) en suelo cultivado con *Zea mays* (maíz) en el Rancho la Palma, con el fin de identificar si el incremento de la emisión de CO₂ en suelo se debe a las prácticas agrícolas y/o a las condiciones físicas, biológicas del suelo. (FAO, 2009).

Para éste proyecto es fundamental identificar y analizar los estudios relacionados con la emisión y estimación de CO₂ en el suelo, las investigaciones realizadas en Latinoamérica corroboran el potencial de emisión de suelos agrícolas y las asocian al uso de abonos orgánicos e inorgánicos, la respiración vegetal y la descomposición de la materia orgánica (M.O) (Maqueda *et. al.* 2005).

Por su parte Montenegro *et. al* (2002), realizaron un estudio sobre el balance de las emisiones de CO₂ en sistemas agrícolas, primero definen a los sistemas agrícolas como: “conjuntos de explotaciones agrícolas individuales con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas” (FAO 2009, en Montenegro *et. al.* 2002). Los resultados de las emisiones fueron de 2,51 kg de CO₂ ha/año y de 6.87 kg de CO₂ ha/año; utilizó el método de cuantificación de (M.O.), posteriormente realizó una determinación de cenizas y tomó muestras de suelo para obtención de porcentaje espacio poroso, por último se implementó cámaras cerradas, ubicándolas al azar dentro de las zonas de muestreo en sistemas agrícolas, por un periodo de 20 min. Las cámaras empleadas eran cilindros de PVC sellados herméticamente, con un diámetro de 30cm, una altura de 20cm, las introdujo 1.5cm en el suelo, con el propósito de evitar fugas e interferencias externas; finalmente las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases, se realizó la determinación de cenizas en la materia orgánica del suelo para complementar sus resultados.

En estudios asociados con la implementación de cámaras, López *et. al.* (2008), realizaron una investigación sobre las cámaras de intercambio de gas (CIG) utilizadas para medir flujos de CO₂ y vapor de agua, principales componentes de la respiración el suelo, con la implementación de sensores de rayos infrarrojos (IR) complementados con termopares y anemómetros sónicos para medir los mismos flujos, se llegó a considerar dos métodos alternativos debido a que dichos instrumentos funcionan con principios diferentes. Sin embargo los resultados de investigaciones mostraron que ambos instrumentos se complementan gracias a las condiciones tecnológicas bajo las cuales funcionan; esto quiere decir que mientras las CIG funcionan en condiciones de calma los sensores IR requieren condiciones de viento.

En relación a la medición de flujos de CO₂ Balog *et. al.* (2005) utilizaron las técnicas cámara estática (CE) y CIG en diferentes ecosistemas de pastizal con el propósito de comparar los dos métodos; el periodo de estudio fue de dos años, cuando las condiciones climáticas fueron diferentes, las mediciones se hicieron durante nueve periodos, reportando que con la CIG los patrones de flujo diarios fueron en el mismo rango y en algún caso los flujos de CIG fueron más altos; mientras que con la CE se obtuvieron muestras de áreas de pastizal más grandes y dispersas. Concluyendo que en comparación con las CE el sistema CIG proporciona una buena herramienta para las mediciones de flujo de CO₂ en pastizal. En cuanto a las CE se han realizado pocas discusiones sobre la influencia de los mecanismos de mezcla o ausencia de éstos, Stadmark & Leonardson (2005) y Picot *et al.* (2003) no emplean ningún mecanismo de homogenización del biogás recolectado en la CE mientras que Singh *et al.* (2005) y Zimmo *et. al.* (2003) emplearon mecanismos de mezcla, dada las diferencias entre las cámaras y los sitios de muestreo no fue posible realizar una comparación de la influencia de la homogenización.

Por su parte Lasso (2010) realizó un estudio comparativo de tres tipos diferentes de CE, el sitio de muestreo que estableció el sistema de tratamiento de aguas

residuales del municipio de Ginebra. Construyó tres cámaras de 30 cm de diámetro por 30 de alto utilizando acrílico de 3mm de grosor, la primera cámara (C1) no tenía ningún mecanismo de mezcla, la segunda cámara (C2) provista con ventilador que favorecía a la homogenización de los gases dentro del sistema y por último en la tercera cámara (C3) uso una bomba que permitía la circulación de los gases por toda la cámara. El muestreo se realizó el mismo día cada semana entre las 11:00 hrs y las 15:00 hrs buscando homogeneidad de las condiciones ambientales, el muestreo se realizó semanalmente durante un mes y posteriormente se efectuó un muestreo mensual por tres meses. En conclusión, las tres cámaras son una metodología confiable y económica, la cámara que presentó menor dispersión en los datos fue la C2, esto puede asociarse a la homogenización de los gases al interior de la cámara que permite una mejor estimación de las emisiones (Lasso, 2010).

Finalmente, en Colombia Segura (2005), determinó el contenido de CO₂ en los suelos por entidad federativa, región ecológica, uso del suelo y por áreas según su influencia humana. Para seleccionar los sitios potenciales de muestreo, se utilizó una cuadrícula de 5 km x 5 km sobrepuesta a mapas, escala 1:250 000, en cada sitio se registraron el uso del suelo y la influencia humana. A cada muestra se le determinó su contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) y sus resultados se emplearon para la generación de un mapa por interpolación y formato "raster", al cual se le sobrepusieron mediante sistemas de información geográfica (SIG) las capas de los límites estatales, uso del suelo e influencia humana (Segura C., 2005), al respecto la cartografía resultante es útil para observar en un solo plano la distribución del carbono orgánico en los suelos, sin embargo no da información sobre la capacidad de emisión de dióxido de carbono en escala detallada.

Enfoques de Investigación

Para abordar el tema de investigación se requiere de elementos básicos para su comprensión, éstos están dados por las ópticas o enfoques generales en los que se inserta. En este trabajo se consideran dos enfoques principales: El enfoque de las ciencias ambientales y el enfoque sistémico.

Enfoque de las Ciencias Ambientales

El enfoque multidisciplinar de las ciencias ambientales permite identificar, analizar y resolver problemas ambientales, como es el caso de las emisiones de dióxido de carbono; esto es posible mediante la implementación de instrumentos, técnicas, equipos, además de utilizar y adaptar diferentes metodologías que permitan combinar dos o más disciplinas con el objetivo de dar las soluciones o alternativas a la problemática ambiental que se estudia.

Enfoque Sistémico

En este enfoque se parte de la noción de sistema, que es un conjunto de elementos relacionados entre sí, de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos, que relacionados directa o indirectamente formarán el sistema que vamos a estudiar, en este caso el sistema agrícola y principalmente el suelo. (Chiavenato, 1992)

JUSTIFICACIÓN

La investigación se ubica en el contexto de la Estrategia Nacional de Acción Climática, en relación a las mediciones de CO₂ y forma parte del proyecto, “Cambios de uso del suelo, Inducidos por Actividades Agropecuarias en Ecosistemas Terrestres Templados y Cálidos del Estado de México: Impactos Locales y Emisiones Globales de Gases de Efecto Invernadero” (CONACYT-SEMARNAT”).

Se parte de que las actividades agrícolas expresan el papel que desempeña la actividad humana, como uno de los factores causales de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La cuarta y quinta comunicación nacional sobre la emisión de gases de efecto invernadero, permitió identificar un incremento significativo de las emisiones de la agricultura, al pasar de 6.3% al 12.3% (SEMARNAT-INE, 2009, SEMARNAT- INECC, 2012).

Dentro de los diferentes sectores emisores de GEI, el de Agricultura incluye las emisiones provenientes de cultivos y manejo de suelos, donde los principales GEI son CH₄ y N₂O. (SEMARNAT/INE, 2006), y marca que las emisiones de dióxido de carbono son menores, sin embargo otras opiniones indican que el suelo de los sistemas agrícolas tiene un contribución importante en la emisión de CO₂ (Montenegro, 2002).

Contribución de la propuesta

El alcance de la investigación está enfocado a estimar la emisión de (CO₂) en suelos de uso agrícola con producción de maíz en el Rancho la Palma ubicado en el municipio de Temoaya. Lo anterior se realizaron mediante la validación de las cámaras estáticas con mezclador de gases para la captura de CO₂ y colecta de datos en un ciclo agrícola. Se cuantificaron la emisión de dióxido de carbono en el sistema agrícola, correlacionándola con las variables edáficas y climáticas del momento de muestro.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática ambiental de la emisión de gases de efecto invernadero en México, plantea la importancia de; estimar la emisión de CO₂ del suelo de un sistema agrícola en un clima templado con la finalidad de establecer una línea base sobre las emisiones de CO₂ en un suelo cultivado con maíz durante un ciclo agrícola.

La investigación se realizó en el Rancho la Palma ubicado en la localidad de San José Las Lomas, en el municipio de Temoaya, Estado de México, en esta zona se estudió un sistema agrícola de maíz criollo amarillo, dicha actividad se desarrolla en zonas planas y onduladas (suelos vertisoles con incipientes formaciones de gilgays), lo que significa que los suelos tienen una capacidad diferente para emitir CO₂, lo cual está asociado a las condiciones del terreno y a las prácticas de manejo. Los trabajos para el cultivo del maíz se realizan con tractor y discos de arado, equipo fundamental para realizar las tareas agrícolas (Maqueda, 2005), mismas que repercuten directamente en la modificación de la estructura y composición física del suelo.

Se parte del ciclo agrícola así como el tipo de maquinaria, tipo de fertilizantes y demás trabajos, como el desarrollo del cultivo que modifica las condiciones naturales del suelo al mismo tiempo las variables; humedad del suelo, temperatura y velocidad del viento, todas estas variables estarán influyendo en la emisión de dióxido de carbono; en esta perspectiva el manejo realizado por los productores es un factor fundamental que incide en la capacidad de los suelos para emitir CO₂.

HIPOTESIS

Las prácticas agrícolas en suelo cultivado con *Zea mays* determinarán la magnitud de las emisiones de CO₂.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

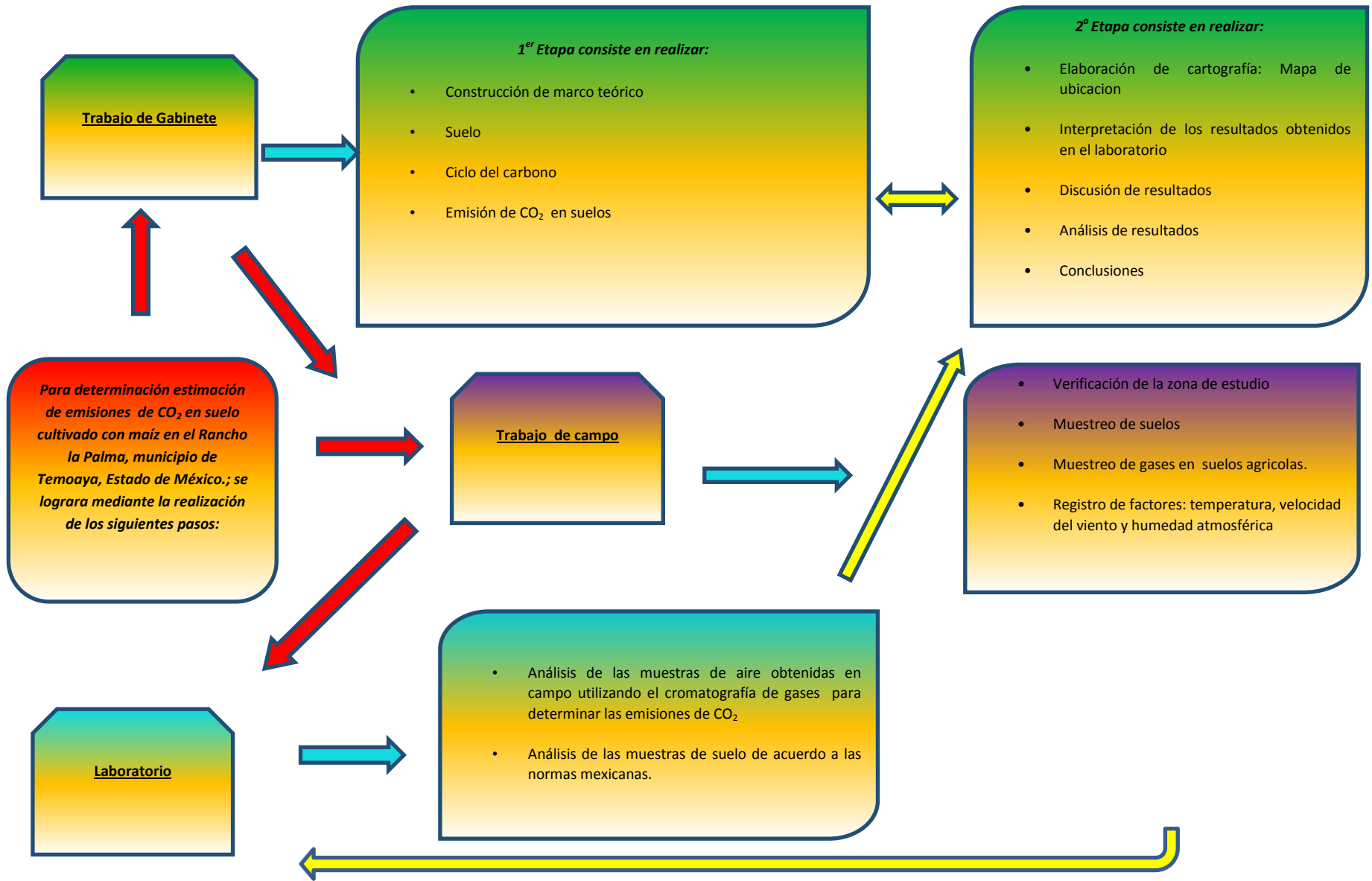
¿Las prácticas agrícolas en el suelo cultivado con *Zea mays*, en el Rancho la Palma incrementará las emisión de CO₂ debido a?

OBJETIVO GENERAL

Estimar la emisión de CO₂ en suelo cultivado con *Zea mays* en el Rancho la Palma.

Objetivos Particulares

- ❖ Identificar las prácticas agrícolas del Rancho la Palma, San José las Lomas en el municipio de Temoaya, Estado de México.
- ❖ Caracterizar la zona de estudio
- ❖ Validar de la metodología de medición de CO₂ en campo.
- ❖ Estimar las emisiones CO₂ en el suelo durante un ciclo agrícola de cultivo de *Zea mayz*.



ZONA DE ESTUDIO

La parcela de estudio pertenece al Rancho la Palma localizado en San José Las Lomas, municipio de Temoaya, Estado de México siendo el principal cultivo el maíz. Desde 1965 las tareas agrícolas se realizan empleando el tractor con rastra de disco, en el manejo del terreno incorporan cada año 2ton de estiércol mineralizado buscando así la conservación y fertilidad del suelo, para el cultivo del maíz realizan durante ocho días el riego de punta, el cual es un labor manual en el que aprovechan la pendiente del terreno y con la ayuda de la pala de punta distribuyen el agua en toda la parcela, siembran la semilla criolla de maíz amarillo, finalmente la producción se destina principalmente para alimentar el ganado bovino el cual oscila entre 70 y 100 cabezas esto depende de cuantas cabezas son destinadas a la engorda.

De acuerdo con CONAGUA, 2010 se presenta clima templado subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual de 13.4°C. Sus temperaturas extremas van de los 9° a los 35.5°C. Es uno de los lugares más fríos del valle de Toluca debido a su altitud. La primera helada se registra en octubre o noviembre y la última en abril. La humedad ambiental produce neblina al amanecer en un promedio de 24 días al año. Los vientos dominantes son del tipo C con dirección noreste-sureste y una precipitación pluvial de 899mm (Arzate 1999).

La región geológica pertenece al final del Terciario cuando se formaron elevaciones como el Xinantécatl o Nevado de Toluca y la estribación de la Sierra de las Cruces. La composición litología de la serranía se ubica en la transición de andesitas y la de las faldas en las tobas pumíticas del Plioceno.

En orden de importancia, su uso del suelo en el rancho es agrícola (66.62%), forestal (17.20%), pecuario (5.19%), urbano (0.39%) y de otros tipos (10.60%). El

57.6% del suelo agrícola es de punta de riego, el 40% de temporal y el restante corresponde a tierras ociosas (INEGI 2010).

El muestreo se realizó en dos parcelas cultivadas y en una de zona de erial muy próxima al cultivo, el suelo es vertisol. El área cultivada tiene una extensión de 3 hectáreas (has), en ella se ubicaron dos puntos de muestreo (véase imagen 1).

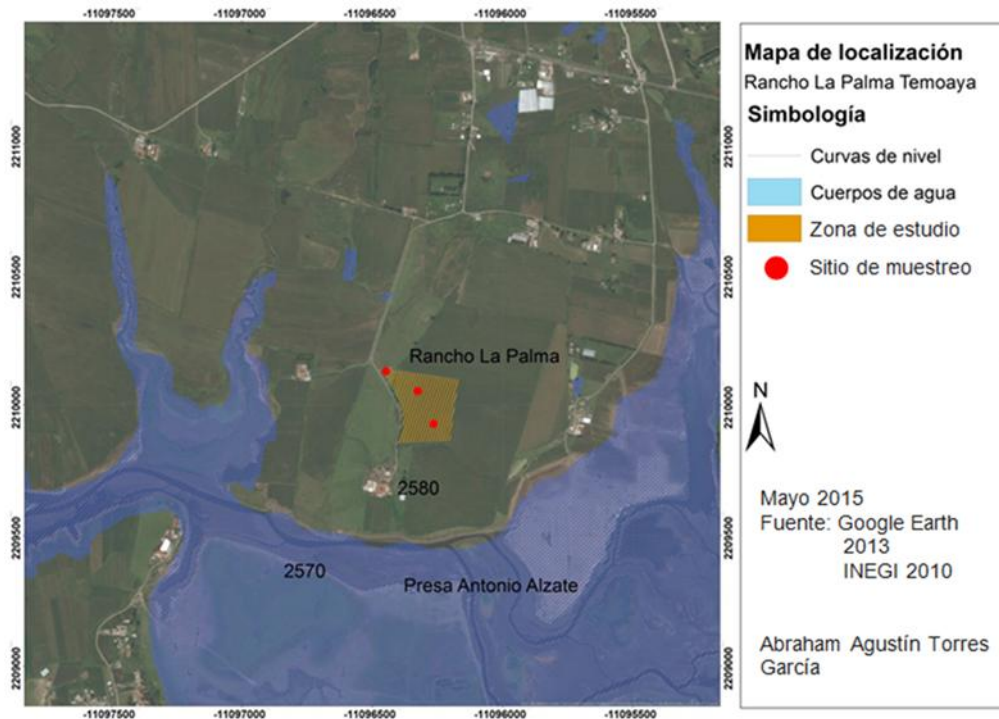


Imagen1.- Localización de la zona de estudio.

Suelo

Los suelos son sistemas naturales abiertos y complejos, con una gran diversidad de seres vivos y cuyas características y propiedades se desarrollan por la acción de los agentes climáticos y bióticos actuando sobre los materiales geológicos, acondicionados por el relieve y el drenaje durante un período de tiempo (UNC, 2008). El suelo es una entidad que evoluciona en un flujo de materiales geológicos, biológicos, hídricos y meteorológicos.

Los componentes del suelo se pueden clasificar en inorgánicos, como la arena, la arcilla, el agua y el aire; y orgánicos, como los restos de plantas y animales. Uno de los componentes orgánicos de los suelos es el humus, de acuerdo con (Galdames Ortíz, 2000) se encuentra en las capas superiores de los suelos que constituye el producto final de la descomposición de los restos de plantas y animales, junto con algunos minerales; tiene un color de amarillento a negro, confiriendo un alto grado de fertilidad primordial en los suelos agrícolas, siendo así la cantidad de materia orgánica necesaria para asegurar la fertilidad del suelo varía ampliamente según haya sido su proceso de formación, qué otros componentes posee, las condiciones climáticas locales. Se puede decir que, en general, un 5% de materia orgánica en el suelo es, en la mayoría de los casos, un mínimo adecuado de suelo saludable, aunque para algunos suelos las mejores condiciones para el cultivo se consiguen cuando el contenido de materia orgánica supera el 30% Bunch, R. (2003).

El cuerpo del suelo y sus correspondientes horizontes individuales juegan papeles diferentes debido a la distribución desigual de materiales. Existe un intercambio de material entre el cuerpo de suelos, no sólo a través del viento, si no por acción del agua y los organismos. Un suelo tiene un presupuesto de entradas y salida con procesos complejos y perpetuamente dinámicos que incluyen; el intercambio entre el suelo y el medio de materiales tales como el oxígeno, agua y dióxido de carbono e intercambio de materiales dentro del suelo, como el intercambio de gases; las respuestas de control automático como, la expansión y contracción de las masas de arcilla en un suelo que se agrieta; finalmente la producción y consumo de nuevos materiales tanto orgánicos como minerales (UNC, 2008). El sistema suelo produce e introduce en el ciclo nuevas formas de materiales orgánicos y minerales, en tanto que esa materia está siendo eliminada del sistema hacia el medio y el sustrato.

De acuerdo con la (WRB 2007) describe a los vertisoles como suelos zonales (ligados a condiciones bioclimáticas concretas), ricos en bases y con una marcada diferenciación textural dentro del perfil edáfico. Estos suelos son los arcillosos por antonomasia, albergan una alta proporción de arcillas expansivas. Por tanto, desde un punto de vista textural pueden considerarse un Grupo de Referencia de Suelos de la WRB opuesto al de los Arenosoles, cuyas propiedades se deben a la gran cantidad de arenas que poseen. Sin las primeras dan lugar a estructuras y procesos complejos. Su escasa heterogeneidad, en cuanto al número de horizontes, oculta, en primera instancia, una rica arquitectura y dinámica.

La superficie de los paisajes de suelos vérticos puede dar lugar a complejas microtopografías idiosincrásicas denominadas microrelieves gilgai, con alternancia de protuberancias y pequeñas depresiones dispuestas en unas geometrías casi cristalina. Esta es el resultado del continuo movimiento de los materiales desde la superficie hasta el subsuelo y viceversa (ibid). Es decir los materiales se remozan, como forzados por un tipo especial de convección. Se trata del típico tipo de suelos zonales, aunque en el área de estudio se ubican principalmente en ambientes con acusados contrastes de humedad. De hecho el vocablo Vertisoles procede del latín “vertere”, es decir “dar la vuelta o voltear” La roca madre o material parental se encuentra constituida por sedimentos en las que abundan las mencionadas arcillas producidas por la neoformación a partir de meteorización de rocas o de antiguos materiales subacuosos. Suelen ubicarse en las depresiones de paisajes ondulados y llanuras

Además, poseen una alta densidad, agregados cuneiformes y otros caracteres estructurales producto de los desplazamientos de materiales edáficos. Dicho de otro modo, podría defenderse, metafóricamente, que tales edafotaxa se contraen y expanden, más o menos cíclicamente, como un corazón, al ritmo de las estaciones. Resultan ser muy duros en seco y extremadamente plásticos al humedecerse.

La mayoría de los Vertisoles tiene una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y un alto porcentaje de saturación de bases (PSB). La reacción del suelo varía entre débilmente ácida a débilmente alcalina; los valores de pH oscilan entre 6.0 a 8.0. Valores más altos de pH (de 8.0 a 9.5) fueron medidos en estos suelos con mucho sodio intercambiable. La CIC del material del suelo (en 1 M NH_4OAc a pH de 7.0) alcanza comúnmente valores entre 30 y 80 cmol (+)/ kg de suelo seco; la CIC de la arcilla es del orden de 50 m a 100 cmol (+)/kg de arcilla. El porcentaje de Saturación de Bases es mayor de 50% y a menudo cercano al 100% con Ca_{2+} y Mg_{2+} ocupando más del 90% de los sitios de intercambio; la relación Ca/Mg es normalmente entre 3 y 1. Vertisoles Sálícos y Nátricos son comunes en las partes más áridas de la cobertura de estos suelos. En algunos sitios, la sodicidad ocurre también en áreas de alta precipitación, por ejemplo, en depresiones endorreicas. Como se señaló anteriormente, las arcillas- Na tienen una mayor tensibilidad y esfuerzos de cizalla que las arcillas-Ca y un alto porcentaje de sodio intercambiable (PSI) está asociado con una estructura de suelo de clase relativamente gruesa. (WRB 2007)

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g. cm^{-3} o t. m^{-3}). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada & Alvarez, 2008).

La textura del suelo es la proporción en la que se encuentran distribuidas variadas partículas elementales que pueden conformar un sustrato. Según sea el tamaño, porosidad o absorción del agua en la partícula del suelo o sustrato, puede

clasificarse en 3 grupos básicos que son: la arena, el limo y las arcillas, los cuales constituyen el esqueleto del suelo.

Las partículas más pequeñas son la arcilla y se clasifican por el USDA como las de diámetros menores de 0,002 mm. Le siguen las partículas limo con diámetros entre 0,002 y 0,05 mm. Y las más grandes son la arena con tamaño de las partículas mayores a 0,05 mm. A su vez la arenas puede subdividirse en gruesa, intermedia como media, y las menores como fina.

El esqueleto representa la parte inerte del suelo y tienen por lo tanto solamente funciones mecánicas, constituyen el armazón interno sobre las cuales se apoyan las fracciones finas del suelo, facilitando la circulación del agua y del aire.

El limo participa solo en forma limitada en la actividad química del suelo, con las partículas de diámetro inferior, mientras que su influencia en la relación agua – suelo no es insignificante, y se incrementa con el aumento de los diámetros menores de este.

La arcilla comprende toda la parte coloidal mineral del suelo, y representa la fracción más activa, tanto desde el punto de vista físico como del químico, participando en el intercambio iónico, y reaccionando en forma más o menos evidente a la presencia del agua, según su naturaleza. Por ejemplo la arcilla montmorillonita, es una arcilla expansora de tres capas que tiene una gran superficie y una elevada capacidad de intercambio catiónico siendo el Na^+ y el Ca^{+2} son los cationes intercambiables típicos (Monsalvo et.al 2006).

El suelo puede dividirse apropiadamente en tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida constituye aproximadamente el 50% del volumen de la mayor parte de los suelos superficiales y consta de una serie de partículas inorgánicas y orgánicas cuyo tamaño y forma varían considerablemente. La distribución proporcional de los diferentes tamaños de partículas minerales determina la

textura de un suelo determinado. Los tamaños de las partículas minerales y la proporción relativa de los grupos por tamaños, varían considerablemente entre los suelos, pero no se alteran fácilmente en un suelo determinado. Así, la textura del suelo se considera una de las propiedades básicas (WRB 2007). Por lo cual el suelo de la zona de estudio tiene una textura franco arcillo arenoso, esto contribuye a un espacio poroso del 50% y gracias a las arcillas se puede retener la humedad, pero el exceso de riego provoca la translocación de las mismas con ello de los nutrientes. Por esta razón además de considerar que el suelo está dentro de los rangos de pH para los vertisoles éste tiende a ser ácido lo que limita la disponibilidad de nutrientes los agricultores aplican en cada ciclo agrícola abonos químicos para poder mejorar la cosecha.

Resaltando que la Materia Orgánica (M.O) es pieza fundamental en la respiración del suelo. Los factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica son la vegetación y el ingreso de residuos, composición de las plantas, los factores climáticos, condiciones de temperatura y humedad y las propiedades del suelo textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez. (Robert, 2002)

La materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene.

La descomposición de estos restos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus. La transformación que sufren los restos vegetales y animales en el suelo se realiza bajo la acción de distintos grupos de microorganismos así como de diversos representantes de la microfauna edáfica ácaros, insectos, lombrices, estas desintegraciones pueden ser también de manera mecánica, oxidaciones, hidrólisis. Constituye un proceso biológico básico en el que el carbono (C) es recirculado hacia la atmósfera como dióxido de carbono (CO_2), el nitrógeno (N) es hecho disponible como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) y otros elementos

asociados (P,S, y varios micronutrientes) aparecen en la forma requerida por las plantas superiores (WRB 2007).

En este proceso algo del C es asimilado dentro del tejido microbiano (la biomasa del suelo) y parte es convertido en Humus. Parte del humus nativo es mineralizado simultáneamente, en consecuencia el contenido total de materia orgánica es mantenido a un nivel estable característico del suelo y del manejo del sistema.

La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende de la temperatura, la disponibilidad de oxígeno, el drenaje, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos. En un tipo de suelo dado expuesto a prácticas agrícolas constantes, se alcanza un casi equilibrio situación estable- de la materia orgánica del suelo después de 30 a 50 años. (Gupta et.al 1988)

En la composición del humus se encuentra un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, en constante estado de degradación y síntesis. Por tanto, abarca un conjunto de sustancias de origen muy diverso, que desarrollan un papel de importancia capital en la fertilidad, conservación y presencia de vida en los suelos. A su vez, la descomposición del humus en mayor o menor grado, produce una serie de productos coloidales que, en unión con los minerales arcillosos, originan los complejos órgano minerales, cuya aglutinación determina la textura y estructura de un suelo. Estos coloides existentes en el suelo presentan además carga negativa, hecho que les permite absorber cationes H^+ y cationes metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible; debido a este hecho, los coloides también reciben el nombre de complejo absorbente (ibid).

La materia orgánica en los suelos juegan un papel de importante en el suelo y en el funcionamiento de los ecosistemas además interviene en forma activa en la formación del suelo, condiciona su comportamiento en relación al crecimiento de

las plantas y microorganismos, al influir en el movimiento y almacenamiento de agua, intercambio catiónico, y constituir una fuente de nutrientes.

El termino humus se utiliza en un sentido amplio, para indicar las sustancias orgánicas que resultan de los procesos de humificación. El humus incluye únicamente componentes orgánicos que han adquirido una forma relativamente estable ante la biodegradación.

Las sustancias húmicas se caracterizan por no presentar características físicas y químicas específicas como la composición elemental definida o un punto de fusión concreto por mencionar algunos. Estas sustancias son de color oscuro, con carga negativa, de carácter ácido, predominantemente aromáticas, hidrófilas, químicas complejas, de un peso elevado molecular y son compuestos relativamente oxidados. Las sustancias no húmicas incluyen aquellos materiales orgánicos cuyas, características químicas resultan todavía identificables tales como los glúcidos, proteínas, péptidos, aminoácidos, etc. (Porta Casanellas, 1994).

No obstante que la revolución verde en diversas partes del mundo, partió del supuesto de que la fertilidad del suelo puede mantenerse y mejorarse con el uso de fertilizantes químicos. Se ignoró y menospreció la importancia de contar con materia orgánica del suelo.

En décadas la imposición de criterios técnicos industriales en la pequeña agricultura, debilitó los procesos que aseguran que los suelos obtengan nueva materia orgánica y que protegen la materia orgánica almacenada en el suelo de ser arrastrada por el agua o el viento. Con el paso del tiempo, conforme se agotan los niveles de materia orgánica, los efectos se han hecho más visibles con devastadoras consecuencias en algunas partes del mundo. (Gupta et. al 1988)

Se considera que en la era pre-industrial, el equilibrio entre aire y suelo era de una tonelada de carbono en el aire por unas 2 toneladas depositadas en el suelo. La relación actual ha bajado, aproximadamente, a 1.7 toneladas en el suelo por cada tonelada que presente en la atmósfera.

Según (La Salle J, 2008) en una amplia gama de estudios, los suelos agrícolas en Europa y Estados Unidos han perdido, en promedio, de 1 a 2% de materia orgánica en los 20 a 50 centímetros superiores. Este dato puede ser una subestimación ya que casi siempre el punto de comparación es el nivel de materia orgánica de principios del siglo XX, cuando muchos suelos ya estaban sometidos a procesos de industrialización y por tanto podrían haber perdido, ya entonces, importantes cantidades de materia orgánica. Algunos suelos del medio oeste agrícola de Estados Unidos, que en los años cincuenta solían contener un 20% de carbono, en la actualidad, llegan apenas a 1 o 2%. Estudios de Chile, Argentina, Brasil, Sudáfrica y España reportan pérdidas de hasta 10%. Datos proporcionados por investigadores de la Universidad de Colorado indican que la pérdida promedio mundial de materia orgánica en las tierras de cultivo es de 7 puntos porcentuales.

Sistema agrícola

Los sistemas se definen como conjuntos de explotaciones agrícolas individuales con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas. Según el alcance del análisis, un sistema agrícola puede abarcar unas docenas o a muchos millones de familias (FAO 2009).

De acuerdo con la FAO la clasificación de los sistemas agrícolas de las regiones en desarrollo se ha fundado en los siguientes criterios, estos son los recursos naturales básicos disponibles, y comprenden el agua, las tierras, las zonas de pastoreo y bosques; el clima, en el cual, la altura es un elemento determinante; el

paisaje, que comprende la pendiente; la dimensión de la finca, el régimen y la organización de la tenencia de la tierra.

La pauta dominante de las actividades agrícolas y los medios de sustento de las familias, comprendidos en los cultivos, el ganado, los árboles, la acuicultura, la cacería y la recolección, la elaboración y las actividades externas a la finca agrícola; y también las principales tecnologías empleadas, que determinan la intensidad de la producción y la integración de los cultivos, el ganado y otras actividades. Debido a su gran amplitud geográfica, diversidad topográfica y abundante biodiversidad, América Latina y el Caribe tienen una de las gamas más diversas y complejas de sistemas agrícolas de todas las regiones del mundo.

La primera gran división de los sistemas agrícolas, comprende la agricultura de riego y temporal.

Sistema Agrícola de Riego abarca enormes áreas de tierras áridas en el norte y centro de México y los valles costeros y del interior del Perú, Chile y Argentina occidental. La superficie total de casi 200 millones de hectáreas contiene sólo 7,5 millones de hectáreas de tierra cultivada, pero casi todos los de regadío. El método principal que se utiliza en estos sistemas es el riego por inundación o de surco. Otros sistemas emplean aspersores y riego de goteo. La presencia de la infraestructura de riego permite un grado relativamente alto de la intensificación de la producción en general, de orientación comercial además aporta a la población agrícola casi 11 millones de dólares. Los productos clave dentro de este sistema son el arroz, el algodón, la fruta, la horticultura, la viña el maíz. (FAO, 2001)

Agricultura extensiva o de temporal predomina en los países subdesarrollados, que utilizan limitados recursos técnicos y una mano de obra relativamente elevada, dado el bajo nivel de maquinaria agrícola utilizada se practica en un 83% de las tierras cultivadas y produce más del 60% de alimentos del mundo. (FAO, 2011)

METODOLOGIA

La metodología que se utilizó para la realización de esta investigación, comienza con la selección de parcelas para el establecimiento del experimento, mediante imágenes obtenidas de google earth, en la cuales se ubicarán las parcelas mas representativas de la zona y posteriormente se verificaron en campo, eligiendo una extensión de 3 ha, que es utilizada para el cultivo de maíz. Dicha parcela se dividió en dos zonas, la primera donde el agricultor realiza todas las labores para el cultivo del maíz y otra denominada sitio control donde el suelo no tiene ningún tipo de manejo; cada sitio conto con cinco cámaras cerradas y mezclador de gases para el muestreo.

Para obtener el control de las variables se realizó el análisis físico y químico de la unidad edáfica, además de monitoreo durante la toma de muestras las variables atmosféricas del sitio, como son: la humedad, temperatura, velocidad del viento, ya que estas variables se relaciona en la emisión de CO₂ en el suelo.

En el laboratorio se determinó el porcentaje de humedad, contenido de carbono orgánico, textura, espacio poroso, (Schulze, 2000). Para ello se abordaran las diferentes metodologías que indican cómo realizar un adecuado muestreo en campo, tanto de gases como de suelo.

Muestreo de suelos

El muestreo se realizó el 13 de enero de 2014. Se tomaron 16 muestras con una barrena cubriendo todo el terreno en forma de zigzag y de cada punto de muestreo se tomó una muestra de suelo de 0-20cm y la muestra de subsuelo fue de 20-40 cm de profundidad; posteriormente se colocaron en dos cubetas una correspondía al suelo y las otra al subsuelo.

Después de obtener las dieciséis muestras se vaciaron cada una de las cubetas sobre un plástico y se revolviaron las muestras hasta obtener una muestra homogénea, por el método del cuarteo se tomó una cuarta parte de esa muestra y se colocó en bolsas de plástico etiquetadas con los datos de cada muestra para posteriormente hacer el análisis en el laboratorio. (Gutiérrez S. et al, 2006)

Las muestras de suelo y subsuelo fueron secadas al aire libre y a temperatura ambiente, durante quince días. Con el material seco y tamizado se determinó la densidad aparente (D.A), densidad real (D.R), pH con H₂O, pH con KCl, contenido de humedad en seco, materia orgánica (M.O). El análisis se realizó con los parámetros de fertilidad de suelo de la NOM-021RECNAT-2000 y el manual para el manejo físico de suelos (Cavazos y Rodríguez, 1992).

Muestreo de gases en campo y procesamiento en el laboratorio

Para obtener las muestras de gas en la parcela de maíz, de acuerdo con Lasso (2010) se recomienda ubicar las cámaras estáticas en el centro y en la periferia de sitio de muestreo de tal forma que cubran la mayor parte de la superficie, la separación entre las cámaras dependerá del tamaño del área de muestreo, para lograr esta representatividad de acuerdo con la validación se utilizarán cinco cámaras (figura 1 y 2). De acuerdo con los estudios de Lasso (2010) y Montenegro (2002), se menciona que las horas para el muestreo serán entre las 11hrs y las 16hrs, con el objeto de disminuir las variaciones ambientales del sitio.



Figura 1. Diagrama de ubicación de los sitios de muestreo de gases (Torres, 2014)

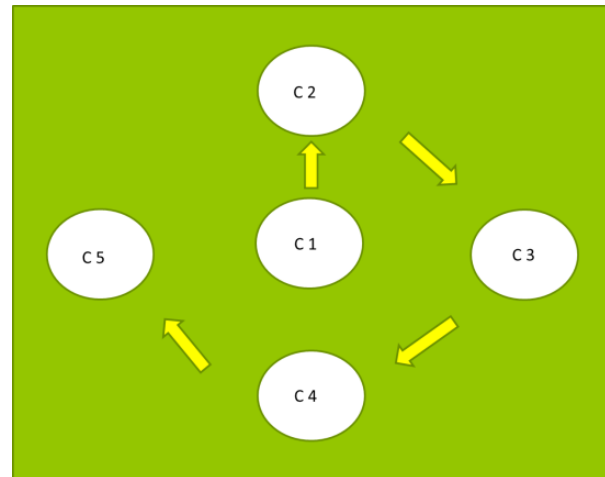


Figura 2. Organización de las cámaras estáticas, en el sitio de muestreo. Elaboración propia

Las cámaras empleadas serán cilindros de PVC con un diámetro de 15cm, una altura 15cm, en la parte superior tiene una “septa” (diafragma o tapón resistente) para usarse varias veces y un ventilador al interior de la cámara para homogenizar la mezcla de gases para el momento del muestreo Figura 3.



Fotografía 3. Cámara estática diseñada para muestreo de gases (Torres, 2014)

Para tomar las muestras la cámara se debe de introducir 2.5cm en el suelo con el propósito de evitar fugas y contaminación de la muestra, previo a la toma de la muestra se activa el ventilador durante 1min para homogenizar la mezcla de

gases, se toman la muestra homogenizada utilizando un “vial” (frasco pequeño para contener medicamentos inyectables) que previo se puso al vacío, se introduce la aguja Van der Waals que tanto a la cámara como al vial, durante 1 min; se etiqueta el vial para identificar la muestra. Posteriormente en una bitácora se anotan las lecturas tomadas de: temperatura del suelo (utilizando un termómetro de mercurio), temperatura ambiental (utilizando un termómetro ambiental), velocidad y dirección del viento (empleado un anemómetro), finalmente se toma la humedad ambiental (utilizando un higrómetro).

El muestreo se hará mensualmente considerando el trabajo agrícola y la etapa fenología en la que se encuentre el cultivo, esto con el objeto de que la muestra sea representativa con la etapa del ciclo agrícola. El muestreo se realizará por un periodo de 12 meses, en un horario de las 12 a las 15 horas, tomando las muestras en lapsos de 10 min durante los primeros 30min de cada hora. El sitio agrícola de muestreo se dividirá en dos áreas ubicando cinco cámaras estáticas por área, esto con el objetivo de obtener una mayor calidad en la toma de muestras, además de ubicar fuera de la zona agrícola un sitio control que tenga la característica de que el suelo no es manipulado por algún tipo de trabajo agrícola, también se tomarán muestras de gas con el mismo método, con el objeto de tener un punto de comparación de las emisiones de CO₂ entre un suelo agrícola cultivado con maíz y un suelo sin uso antrópico, para poder analizar los resultados obtenidos en relación en que es lo que contribuye en la emisión de CO₂ en el suelo. (Cueva *et. al.* 2012)

Para el análisis de las muestras de gas se utilizara la cromatografía de gases, que es una técnica de separación, su gran capacidad para resolver muestras complejas ha conducido a utilizarla cada vez más como técnica analítica. Esta utilización, ha conducido al desarrollo de una instrumentación, que utiliza siempre la separación por elución, puede operar en continuo, con mayor eficiencia en la separación con un mayor control de las condiciones cromatográficas para incrementar la reproducibilidad de los resultados (BRUKER 2009).

El cromatógrafo que se utilizó es el GC 450 BRUKER que está equipado para poder analizar CO₂ y CH₄. Para trabajar con este equipo se sigue el manual “*Instructivo básico de operaciones de gases VARIAN CP-3800/SOFTWARE GALAXIE*” establecido por (VARIAN 2008) y es compatible para el equipo con el que se cuenta. Los resultados obtenidos de la cromatografías de las muestras se expresa en partes por millón (ppm).

El cromatógrafo después de la lectura del gas genera automáticamente un cromatograma, que es el registro grafico producido por la separación de sustancias gaseosas o de sustancias químicas disueltas que se desplazan a través de una columna de material absorbente que extrae las distintas sustancias en capas diferentes (Torres 2010).

Validación de la metodología de medición de CO₂ en campo

Con el objetivo de hacer una investigación de calidad, es fundamental tener una metodología de muestreo de gases con cámaras estáticas en campo validada, que contribuya con resultados veras y confiables en la emisión de CO₂ en suelo cultivado con maíz. Para ello es necesario en primer lugar determinar qué tiempo requiere una cámara estática para alcanzar la saturación de gases, que de acuerdo con Balog *et. al.* (2005) tardaría aproximadamente 40 min, para las cámaras que serán usadas en esta investigación se encontró que se saturan a los 30 minutos, este dato se obtuvo tomando muestras de gas del suelo como se menciono en los párrafos anteriores con intervalos de 10 minutos en lapsos de una hora, repitiéndose durante 12 horas.

Al tener identificado cual es el tiempo de saturación de las cámaras se realizó en muestreo mensual por un periodo de seis meses; en el primer mes el horario fue de las 7hrs a las 19:30hrs, tomando las muestras en viales (etiquetados con los datos clave para su identificación); en lapsos de 10 min durante los primeros 30 min de cada hora, en los 20 min restantes entre cada hora de muestreo la cámara se retira del suelo, durante la toma de muestras se tomaron las mediciones de

temperatura de suelo, temperatura ambiental, velocidad del viento, así mismo realizaron observaciones en relación estado del tiempo (nublado, despejado, soleado, entre otros), para correlacionar posteriormente estas variables con las del suelo (temperatura y humedad).

Posteriormente las muestras se analizaron por cromatografía de gases, obteniendo resultado que indican que de las 7hrs a las 11hrs la temperatura del suelo se incrementa 5° C con respecto al registro de temperatura inicial, a partir de las 12hrs a las 15hrs la temperatura se incrementa hasta 15° C más que la registrada a las 11hrs y en el transcurso de las 16hrs a las 19:30hrs la temperatura oscila de 1°C a 3°C en relación a la temperatura obtenida a las 16hrs, de esta forma se determinó que el muestreo para los próximos cinco meses se estableciera de las 11hrs a las 16.30hrs.

Una vez procesadas las muestras en el cromatógrafo de gases, los resultados de las emisiones de CO₂ más altos en el suelo, fueron en el horario de las 12hrs a las 15hrs, en una concentración promedio de 250ppm de CO₂ para el suelo que se monitorea.

Muestreo en Campo para suelos y su procesamiento en el laboratorio

El muestreo de aire proveniente del suelo se realizó de acuerdo a la metodología que propone Kutsch (2010) modificada por Torres y Reyes (inédito) a continuación se detalla la colocación de las cámaras estáticas con mezclador de aire en la zona de muestreo a una distancia de 15 m una de otra.

Para la toma de muestras de suelos se hará de acuerdo al método agronómico, de acuerdo con Gutiérrez S. *et. al.* (2006) denominado zigzag que a continuación se describe.

La parcela debe dividirse en áreas homogéneas de muestreo en cuanto a color, textura, tratamientos y cultivos. El número de muestras depende de la variabilidad o heterogeneidad de la parcela. La estimación será tanto más exacta cuanto

mayor sea el número de submuestras. De modo orientativo se considera adecuado tomar de 15 a 40 muestras en cada parcela, haciéndolo en zig-zag e introduciendo todas las muestras en una bolsa común. No deberá tomarse ninguna muestra que represente una superficie mayor de 4 hectáreas. Se aconseja tomar de 10 a 20 submuestras para parcelas comprendidas entre 5 000 y 10 000 m².

El muestreo se realizará tomando 16 muestras por hectárea con una barrena cubriendo todo el terreno en forma de zigzag y de cada punto de muestreo se tomara una muestra de suelo de 0-20cm y otra en el mismo punto de 20-40 cm de profundidad; posteriormente se colocaran en dos cubetas.

Después de obtener las muestras se vaciará cada una de las cubetas sobre un plástico y revolverán hasta obtener una muestra homogénea, por el método del cuarteo se tomara una cuarta parte de esa muestra de aproximadamente dos kilos colocándola en bolsas de plástico etiquetadas con los datos de cada muestra, para posteriormente analizarlas en el laboratorio.


Las muestras de suelo se les realizara los análisis de: Densidad Aparente (D.A), Densidad Real (D.R), de acuerdo con el Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos de acuerdo a Cavazos y Rodríguez (1992) y los análisis de pH con H₂O, pH con KCl, contenido de Humedad, porcentaje de espacio poroso, densidad de raíces por área, porcentaje de Carbono Orgánico (%C.O); se harán e acuerdo a la Norma-021RENAT 2000.

Finalmente con los resultados de emisiones de CO₂ que se obtengan, se realizaran análisis estadísticos que nos permitan relacionar las emisiones con las variables del suelo vs variables climáticas vs labores agrícolas; lo que permitirá responder la pregunta de investigación y comprobación de la hipótesis planteados para esté estudio.

RESULTADOS

Como resultado se envió un artículo a la revista Spanish Journal of Soil Science (SJSS), en el cual se explica cómo se obtuvieron las emisiones de CO₂, su análisis estadístico y su interpretación. El envío de este artículo tiene como respaldo el siguiente acuse de recibido por parte de la revista SJSS.

[SJSS] Acuse de recibo de envío Recibidos x

 **SJSS. Spanish Journal of Soil Science** <info@sjss.universia.net>
para mí ▾

Abraham Agustín Torres García:

Gracias por enviar el manuscrito "EMISIONES DE CO₂ EN SUELO AGRICOLA, ESTADO DE MEXICO" a Spanish Journal of Soil Science. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: <https://sjss.universia.net/author/submission/1350>
Nombre de usuario/a: abraham-torres

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.



The screenshot shows the submission confirmation page for the Spanish Journal of Soil Science (SJSS). The page features the SJSS logo and the text "SJSS: Spanish Journal of Soil Science". A navigation bar includes links for "INICIO", "OBJETIVOS Y ÁMBITOS DE ESTUDIO", "CUERPO EDITORIAL", "CARTA DE LA DIRECTORA", "ACCESO A LA REVISTA", "INDICIOS DE CALIDAD", "CÓDIGO ÉTICO", "ENVIAR ARTÍCULOS", "RECOMENDACIONES PARA LA REVISIÓN", and "RECURSOS". The "universia PUBLICATIONES" logo is also present. The main content area displays the submission details under the "Envío" section, including the author's name, title, and submission date. A sidebar on the right contains sections for "USUARIO/A" (User), "NOTIFICACIONES" (Notifications), "AUTORIA" (Author), and "ENVÍOS" (Submissions).

RESUMEN	REVISIÓN	EDICIÓN
Envío		
Autores/as	Abraham Agustín Torres García, María Estela Orozco Hernández, Gustavo Alvarez Arteaga, Emilia Fernández Hondoño	
Título	EMISIONES DE CO ₂ EN SUELO AGRICOLA, ESTADO DE MÉXICO	
Archivo original	1350-3567-1-SM.DOCX 2015-06-05	
Archivos adicionales	Ninguno/a AÑADIR UN ARCHIVO COMPLEMENTARIO	
Emisor/a	Abraham Agustín Torres García 	
Fecha de envío	junio 5, 2015 - 04:04	
Sección	Artículos	
Editor/a	SJSS Spanish Journal of Soil Science 	
Estado		
Estado	En revisión	
Iniciado	2015-06-05	
Modificado por última vez	2015-06-05	

martes, 9-junio-2015
Español | English | Português
ISSN: 2253-6574

USUARIO/A
abraham-torres
▶ Mis revistas
▶ Mi perfil
▶ Cerrar sesión

NOTIFICACIONES
▶ Ver
▶ Administrar

AUTORIA

ENVÍOS

A continuación se presenta el artículo producto de esta investigación.

EMISIONES DE CO₂ EN SUELO AGRICOLA, ESTADO DE MÉXICO

Abraham Agustín Torres García¹, María Estela Orozco Hernández², Gustavo Álvarez Arteaga³, Emilia Fernández Ondoño⁴.

RESUMEN

Este estudio estima las emisiones de CO₂ en suelo cultivado con *Zea mays*, en el Rancho la Palma, municipio de Temoaya, Estado de México. El muestreo se realizó en dos sitios de cultivo y en una zona de erial. Se tomaron muestras de suelo y subsuelo a una profundidad de 0-20cm y 20-40 cm, en el laboratorio se determinó la densidad aparente (D.A), densidad real (D.R), pH con H₂O, pH con KCl, materia orgánica (M.O) y carbono orgánico (COS). El muestreo de CO₂ se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano 2013, utilizamos cinco cámaras de PVC, con diámetro y altura de 15cm, sellado hermético y un ventilador que mezcla los gases al momento del muestreo, el análisis de 715 muestras de gas se realizó en un cromatografo GC 450 BRUKER. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación de las emisiones promedio de CO₂ en un ciclo agrícola, en el orden de 0.002252kg/m²/año, comparada con el carbono orgánico total 0.0069123 kg/m²/año, indica que el suelo en el Rancho la Palma, almacena tres veces más carbono orgánico por unidad de área, con respecto al CO₂ que emite a la atmósfera, lo cual establece una línea base para caracterizar el comportamiento de este gas en otras regiones agrícolas del Estado de México. El diseño y muestreo a través de las cámaras estáticas es susceptible de replicarse en otras unidades edáficas y cultivos. Los estudios sobre la estimación de CO₂ en los suelos sujetos al cultivo, podrían fortalecer el papel de los sistemas agrícolas como almacenes de carbono y opción en la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero.

Palabra Clave: CO₂/dióxido de carbono, emisión, suelo agrícola, cámaras estáticas.

ABSTRACT

This study estimated CO₂ emissions in *Zea mays* acreage in Rancho la Palma, municipality of Temoaya, State of Mexico. Sampling was conducted in two cultivation sites in an area of wasteland. Soil samples were taken and subsoil to a depth of 0-20cm and 20-40 cm in the laboratory bulk density (DA), particle density (DR), pH H₂O, KCl pH, organic matter (OM was determined) and organic carbon (COS). CO₂ sampling was conducted in the spring-summer 2013 agricultural cycle, we use five-chamber PVC, with 15cm diameter and height, hermetic sealing and fan mix the gases at the time of sampling, analysis of gas samples ⁷¹⁵He conducted on a GC 450 BRUKER chromatograph. The average CO₂ emissions in an agricultural cycle in order 0.002252kg / m², compared to the total organic carbon 0.0069123 kg / m², indicating that the soil in Rancho la Palma, stores three times more organic carbon per unit area with respect to the CO₂ emitted into the atmosphere, which establishes a baseline to characterize the behavior of this gas in other agricultural regions of the State of Mexico. Design and sampling through static camera is capable of replicating in other units soil and crops. Studies on estimating CO₂ in soils subjected to cultivation, could strengthen the role of agricultural systems as carbon stores and choice in mitigating the emission of greenhouse gases. Amostragem CO₂ foi realizado na primavera-verão 2013 ciclo agrícola, usamos cinco câmaras PVC, com 15 cm de diâmetro e altura, vedação hermética e ventilador de misturar os gases no momento da amostragem, análise de amostras de gás ⁷¹⁵He realizado num cromatógrafo GC 450 BRUKER

Keywords: CO₂, carbon dioxide emissions, agricultural land, static chamber.

RESUMO

Este estudo estima as emissões de CO₂ em área plantada de *Zea mays* em Rancho la Palma, no município de Temoaya, Estado do México. A amostragem foi realizada em dois locais de cultivo em uma área de deserto. As amostras de solo foram tomadas e subsolo a uma profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm na densidade de laboratório (DA), densidade de partículas (DR), pH H₂O, KCl pH, matéria orgânica (MO foi determinada) e carbono orgânico (COS). As emissões médias de CO₂ em um ciclo da agricultura para 0,002252 kg / m², em comparação com o carbono orgânico total 0,0069123 kg / m², indicando que o solo em Rancho la Palma, armazena três vezes mais carbono orgânico por unidade de área com respeito ao CO₂ emitido para a atmosfera, que estabelece uma base para caracterizar o comportamento deste gás em outras regiões agrícolas do Estado do México. O desenho e através da câmara de amostragem estática é capaz de se replicar em outras unidades de solo e das culturas. Os estudos sobre a estimativa de CO₂ em solos submetidos a cultivo, poderá reforçar o papel dos sistemas agrícolas como lojas de carbono e escolha na mitigação da emissão de gases de efeito estufa.

Palavra-Chave: as emissões de carbono de CO₂ /, terrenos agrícolas, câmeras ainda dióxido.

Introducción

El grupo de expertos sobre el cambio climático, informaron sobre el incremento de las concentraciones de CO₂, ocasionadas por la quema de combustibles fósiles y las emisiones netas del cambio de uso de suelo (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2013). Los cambios en los sistemas biofísicos e incremento de la temperatura, han renovado el interés por analizar el papel del suelo en la reducción de las emisiones de CO₂ (Zambrando et.al 2004).

No obstante que la importancia del suelo se centra en la función que desempeña en la fijación de carbono atmosférico (IPCC, 2013), ya que el suelo captura tres o cuatro veces más carbono que la atmósfera y la biosfera, sin embargo se afirma que la agricultura tradicional es uno de los factores causantes del incremento de la emisión de CO₂ ((Lal, 2008), Lal, 1997).

Se estima que las emisiones de CO₂ no son un problema en la agricultura, debido a que en un año agrícola las emisiones se compensan con las captaciones, la agricultura es responsable de 4 % del aumento de la radiación anual forzada por efecto del CO₂ (Novoa, 2000).

El ciclo global de carbono resalta que la mitad del CO₂ que la vegetación extrae de la atmósfera mediante la fotosíntesis, es depositado y acumulado en el suelo en forma de materia orgánica. En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Smit et.al 2014 y Aguilera et.al, 2000), la emisión de este gas de efecto invernadero, también es forzada por la erosión y la lixiviación del suelo.

El carbono orgánico del suelo (COS) asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que depende fuertemente por el manejo del suelo (Martínez et al, 2008)

El contenido de carbono orgánico en el suelo, puede ser fuertemente modificado, degradado o mejorado por los cambios en el uso y manejo de la tierra (López et.al, 1990). Los flujos de carbono orgánico del suelo y la atmósfera, pueden ser positivos bajo la forma de captura, o negativos como emisión de CO₂ (Robert, 2002).

El carbono orgánico puede devolverse como CO₂ a través de la mineralización de la materia orgánica, este proceso depende de la temperatura, la disponibilidad de oxígeno, el drenaje, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y los cultivos (Aguilera et.al, 2000). El CO₂ emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la MOS donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Fortín *et al.*, 1996).

La variación de los almacenes de carbono orgánico y las emisiones de CO₂ de los suelos cultivados, depende de las condiciones físicas y biológicas del suelo, aquellas que regulan las entradas y salidas de materia orgánica (Germanwastch, 2008), las emisiones de CO₂ se asocian a la descomposición de la materia orgánica en el suelo (Smit et.al 2014 y Tuvery et.al 2001, Maquenda, 2005), lo que es condicionado por las actividades de laboreo que aceleran la descomposición y la mineralización del carbono orgánico y producen la emisión de CO₂.

El escaso conocimiento sobre los efectos que tienen las prácticas agrícolas en la emisión de CO₂, sustenta la pertinencia de establecer una línea base sobre el CO₂ que liberan los suelos cultivados. El objetivo de este estudio es estimar las emisiones de CO₂ en suelo cultivado con *Zea mays* (maíz) en el Rancho la Palma, municipio de Temoaya, Estado de México.

Materiales y método.

El Rancho la Palma se localiza en San José Las Lomas, municipio de Temoaya, Estado de México, domina el clima templado con lluvias en verano con una temperatura media anual de 13.4°C siendo sus temperaturas extremas de 9° a los 35.5°C (CONAGUA 2010), con suelo vertisol que presenta contrastes de humedad, el cual está dispuesto en un terreno ondulado con pendiente de 5°. El principal cultivo es el *maíz*. Para las tareas agrícolas se utiliza tractor con rastra de

disco, semilla criolla de maíz amarillo, riego por inundación y la producción se destina principalmente para alimentar el ganado bovino dichas prácticas agrícolas se llevan realizando desde hace 50 años.

El muestreo de suelo y CO₂ se realizó en una parcela con una extensión de 3 hectáreas (has), en esta área se ubicaron dos sitios en suelo cultivado con maíz y otro que corresponde a un erial, sin uso aparente. La unidad edáfica en los tres sitios es suelo vertisol (Figura 1).

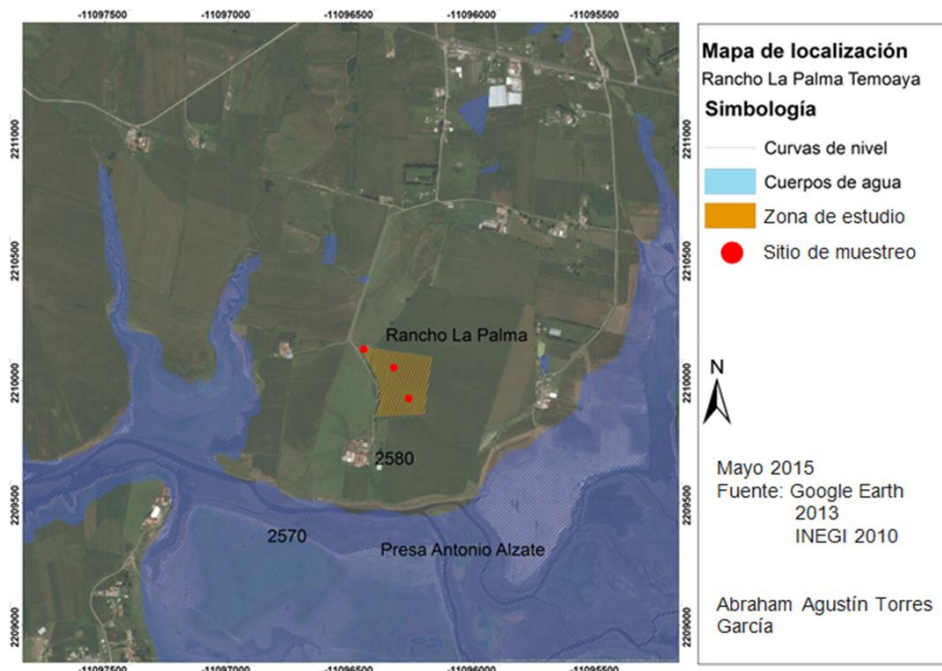


Figura 1. Ubicación del Rancho la palma y distribución de los sitios de muestreo

La base referencial mundial del recurso suelo (WRB. 2007), describe los vertisoles, como suelos zonales ligados a condiciones bioclimáticas concretas.

El material parental que les da origen está constituido por sedimentos en los que abundan las arcillas expandibles producidas por la neoformación a partir de meteorización de rocas o de antiguos materiales subacuáticos.

La superficie de los paisajes de suelos vérticos da lugar a micro-relieves gilgai, que alternan protuberancias y pequeñas depresiones dispuestas en una geometría

casi cristalina. Esta es el resultado del continuo movimiento de convección de los materiales desde la superficie hasta el subsuelo y viceversa.

Los suelos vertisoles son ricos en bases y presentan marcada diferenciación textural en el perfil edáfico, albergan alta proporción de arcillas y escasa heterogeneidad en los horizontes. Poseen alta densidad, agregados cuneiformes y otros caracteres estructurales producto de los desplazamientos de los materiales edáficos. Podría decirse que tales edafotaxa se contraen y expanden, cíclicamente, al ritmo de las estaciones, y son muy duros en seco y plásticos al humedecerse.

La mayoría de los suelos vertisoles tiene una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y alto porcentaje de saturación de bases (PSB). La reacción del suelo varía entre débilmente ácida a débilmente alcalina; los valores de pH oscilan entre 6.0 a 8.0. El porcentaje de saturación de bases es mayor de 50% y a menudo cercano al 100% con Ca^{2+} y Mg^{2+} que ocupan más del 90% de los sitios de intercambio; la relación Ca/Mg es normalmente entre 3 y 1.

Las arcillas sódicas (Na) tienen una mayor tensibilidad y esfuerzos de cizalla, que las arcillas cálcicas (Ca), y sodio intercambiable (PSI) asociado con una estructura de suelo de clase relativamente gruesa. Los Vertisoles Sálícos y Nátricos son comunes en las partes más áridas de la cobertura de estos suelos. En algunos sitios, la sodicidad ocurre también en áreas de alta precipitación, por ejemplo, en depresiones endorreicas.

Muestreo de suelos

La parcela se dividió en porciones homogéneas a partir del color y la textura del suelo. El terreno se cubrió en zigzag y con la barrena se tomaron 16 muestras por hectárea, en cada sitio se tomó una muestra de suelo de 0-20cm y otra a 20-40 cm de profundidad; el material se colocó en recipientes separados y se mezcló

hasta obtener una muestra homogénea. Posteriormente se tomó la cuarta parte del material, colocándolo en bolsas de plástico etiquetadas, para trasladarlas al laboratorio (Gutiérrez et al, 2006)

Análisis de suelo en laboratorio

El análisis se realizó con los parámetros de fertilidad de suelo de la NOM-021RECNAT-2000 y el manual para el manejo físico de suelos (Cavazos y Rodríguez, 1992). Las dieciséis muestras de suelo (0-20cm) y las dieciséis de subsuelo (20-40 cm), durante quince días se secaron al aire libre y temperatura ambiente. El material seco y tamizado permitió determinar la densidad aparente (D.A), densidad real (D.R), pH con H₂O, pH con KCl, contenido de humedad, materia orgánica (M.O).

El carbono orgánico (COS) se calculó con la fórmula (1): $COS = D_a \times P_r \times C$, donde, D_a es la densidad aparente (g cm⁻³), P_r es la profundidad del suelo (cm), espacio poroso; Densidad de raíces por área y C es el carbono orgánico del suelo (%) (Díaz et al, 2007).

Muestreo de CO₂

De acuerdo con los resultados obtenidos se eligió la parcela considerando en que toda la zona de estudio contara con características similares en las que destacan el tipo de suelo que correspondió a un vertisol, uso de suelo, prácticas agrícolas, topografía.

Para este muestreo se construyeron cinco cámaras de PVC, con diámetro y altura de 15cm, los cilindros en la parte superior tienen una "septa" (diafragma o tapón), que garantiza el sellado hermético. Cada cámara cuenta con un ventilador para homogenizar los gases al momento del muestreo (Véase fotografía 3 y figura 4)



Fotografía 3. Cámara estática diseñada para muestreo de gases (Torres, 2014)

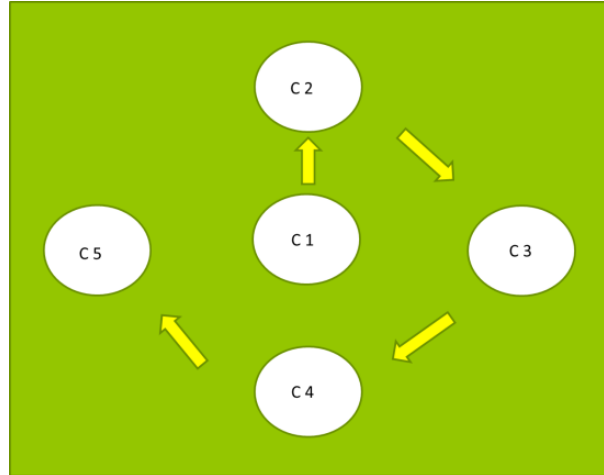


Figura 4. Organización de las cámaras estáticas, en el sitio de muestreo. Elaboración propia

El muestreo se realizó con la metodología modificada de Kutsch (2010), que se aplicó en el ciclo agrícola del año 2013, comprende los meses de marzo a octubre y concluyó con el ensilado del maíz.

La colecta de las muestras se realizó dos días después de cada tarea agrícola: Barbecho-Riego (Marzo); Siembra-Abono (Abril), 1ª Escarda-Fertilización (Mayo); Riego (Junio), 2ª escarda (Julio) y los meses de agosto a octubre (ensilado).

Se colocaron cinco cámaras cerradas en cada sitio de muestreo, la cámara uno se situó en el centro y la cámara dos se colocó en el punto cardinal norte. Las demás se colocaron en los cuatro puntos cardinales, siguiendo el orden de las manecillas del reloj y a una distancia de 2m de la cámara uno. Para lograr representatividad y con el objeto de disminuir las variaciones ambientales del sitio, el muestreo se realizó entre las 11 hrs y las 16 hrs (Lasso, 2006 y Montenegro, 2002).

CICLO AGRICOLA 2014, RANCHO LA PALMA				
Mes	Tareas agrícolas	Sitio 1 (cultivo)	Sitio 2 (cultivo)	Sitio 3 (erial o control)
		gr de CO ₂ emitidos	gr de CO ₂ emitidos	gr de CO ₂ emitidos
Marzo	Barbecho, Riego	0.25087	0.25204	0.24943
Abril	Siembra Abono	0.24918	0.25204	0.24376
Mayo	1ª escarda Fertilización	0.21824	0.21773	0.19458
Junio	Riego	0.24566	0.24498	0.23778
Julio	2ª escarda	0.27251	0.27496	0.26565
Agosto	-	0.33162	0.33305	0.29847
Septiembre	-	0.28512	0.28329	0.28295
Octubre	Ensilado	0.39250	0.39019	0.38813
Total de emisiones en gr		2.2457	2.24828	2.16075

Tabla 1. Ciclo agrícola del Rancho La Palma en el año 2014

En el sitio se colocó la cámara en el suelo a 2.5cm de profundidad, con el propósito de evitar fugas y contaminación de la muestra, previamente se activó el ventilador durante 1min para garantizar la homogeneidad de la mezcla de gases, la extracción del gas se realizó con un vial tratado al vacío, durante 1 min se introdujo la aguja Van der Waals, en la cámara y en el vial, enseguida se etiqueto el vial para identificar la muestra. En una bitácora se anotaron las lecturas de la temperatura del suelo, la temperatura ambiental, la velocidad y dirección del viento, y la humedad ambiental.

La lectura de las emisiones se realizaron en horario de 12 a 15 horas y en lapsos de 10 min durante los primeros 30 min de cada hora. En cada sitio se mantuvo un intervalo de 30 min para trasladar el equipo y se tomaron 4 muestras por cada sitio, por ejemplo, en el sitio uno se muestreo en el siguiente horario: 12:00, 12:10, 12:20, 12:30, en el sitio dos se comenzó a las 13:00, siguiendo la misma secuencia. Se obtuvieron un total de 715 muestras de gas.

El análisis se realizó por medio del cromatografo GC 450 BRUKER, la técnica analítica consiste en la separación de los gases por elución, lo que permite operación continua, eficiencia, control e incrementa la reproducibilidad de los resultados (BRUKER 2009).

Análisis de resultados.

En el Rancho la Palma el ciclo de cultivo del maíz comienza con el barbecho de la tierra en el mes de marzo, utilizan tractor con rastra de disco, aplican 2ton de estiércol seco al año y riego de punta en un periodo de ocho días. Este tipo de riego, consiste en aprovechar la pendiente del terreno y distribuir el agua con la pala de punta con labor manual, el agua se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical descendente. Solamente se humedece una parte del suelo, en la parte húmeda se concentran las raíces de la planta, requiere abonado frecuente, puesto que el movimiento del agua puede producirse lavado excesivo de los nutrientes (Cantú et.al 2010).

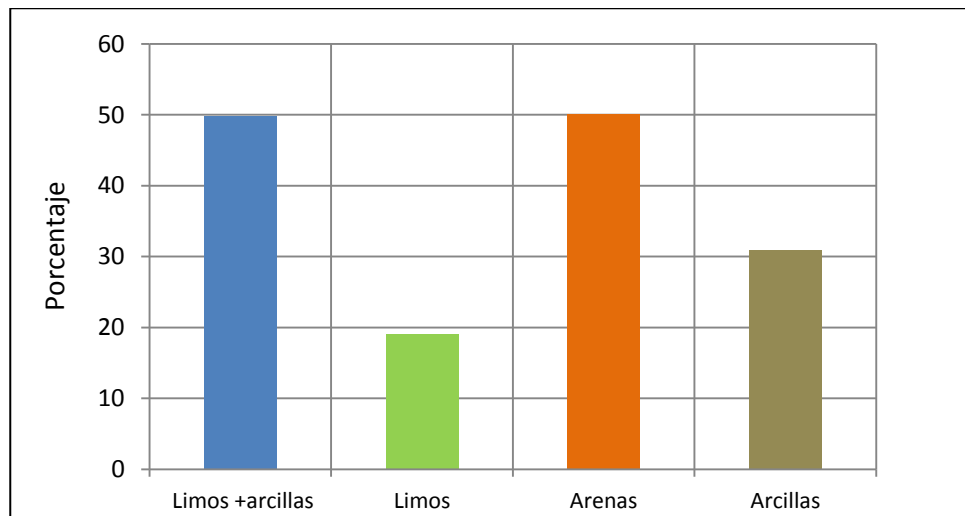
En abril se siembra la semilla criolla de color amarillo, a los 15 días se realiza la primera escarda y la fertilización química, la tarea se repite en los quince días siguientes. En los meses de mayo, junio y agosto, el cultivo se riega cada 15 días dependiendo del clima, cuando llueve de manera constante se suspende el riego. El maíz se ensila o permanece en la parcela hasta secarse para luego cosecharlo, estas tareas dependen de las necesidades del agricultor. Para ciclo agrícola 2013 los agricultores decidieron ensilar el maíz debido que contaban con suficiente forraje para alimentar al ganado bovino de engorda, el cual obtuvieron en la cosecha del año 2012.

La característica distintiva del suelo vertisol es la elevada proporción de arcillas expandibles, que los califica como muy arcillosos, en estado seco forman grietas

anchas y profundas. Son aptos para la agricultura, pero el reciclado constante del material edáfico, modifica o invierte las capas del suelo.

Características físicas y químicas del suelo vertisol

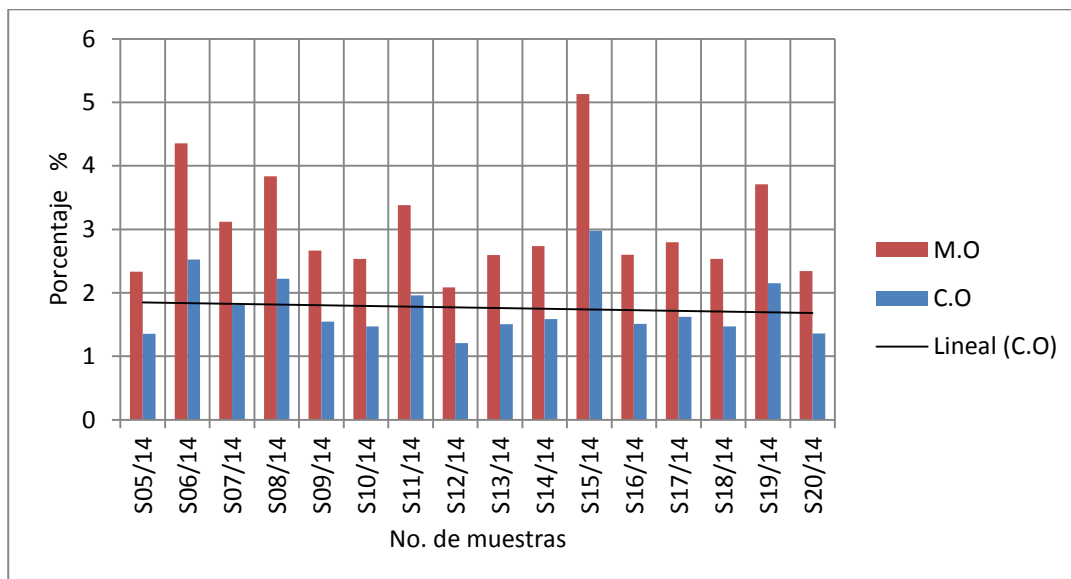
En el sustrato del suelo analizado, dominan los limos+ arcillas (50%), las arenas (50%), seguidas por las arcillas (30%) y limos (20%), (Grafica 2).



Grafica 1. Textura de suelo

Las arcillas son partículas pequeñas con un diámetro menor a 0,002 mm, las partículas de limo con diámetros entre 0,002 y 0,05 mm, y las arenas con 0,05 mm y más. La distribución proporcional de los diferentes tamaños de partículas minerales determina la textura de un suelo (USDA, 1982). El suelo analizado tiene una textura franco arcillo arenosa, la arcilla mormolinolita y el espacio poroso de 50% es consistente con la circulación del agua de riego y la respiración del suelo. El suelo en cultivo presenta una tendencia ligera a la acidez (ph 6.0), en la medida que este factor se incrementa, reduce la disponibilidad de nutrientes, en esta perspectiva los agricultores aplican en cada ciclo agrícola fertilizante químico para mejorar el rendimiento de las cosechas.

Los valores promedio de los parámetros de fertilidad, indican materia orgánica hasta 5.1% (MO); espacio poroso (P) de 50%, humedad 80%, densidad aparente 1.0 y densidad real de 2.1 (Grafica 1).



Grafica 2. Relación materia orgánica y carbono orgánico

Hace cincuenta años, el padre del actual dueño del rancho la Palma, identificó que para lograr el desarrollo del maíz se requería incrementar el riego y la fertilización de la milpa. Un técnico le convenció que las quemas de rastrojo en la milpa afectaban la materia orgánica del suelo, lo que motivo la erradicación de esta práctica tradicional y la adopción de medidas conservacionistas – Dejar el rastrojo en la parcela y aplicar lama) para incrementar la MO en el suelo de cultivo.

La estimación del carbono orgánico total (COT) se realizó con los parámetros de la Tabla 1. El carbono orgánico en suelo y subsuelo es similar, lo que puede estar condicionado por la textura areno-arcillo-limosa y el espacio poroso (50%), que describen un suelo suelto y poco compacto (Keller y Håkansson, 2010).

Rancho la Palma	Pr.	%C.O	D.A	D.R	pH. H2O	pH. KCl	%Humedad en seco	C(T/Ha)	C Total (Ton/ Ha)
Suelo	0-20	1.766	1.04	2.12	6.14	5.02	3.09	35.3391	69.123
Subsuelo	20-40	1.642	1.03	2.10	6.09	5.1	3.12	33.784	

Ton /ha de C= (Ha) (D.A) (Profundidad de muestreo) (%C.O).

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos del suelo agrícola

El carbono orgánico no alcanza 2%, es posible que se deba a la variación ocasionada por la labranza y riego continuo, sobre un suelo con arcillas expandentes (Taboada y Alvarez, 2008).

Emisiones de CO₂

Con el objeto de verificar el nivel de confianza de los datos obtenidos en 715 muestras de gas, aplicamos la prueba ANOVA, que consiste en analizar la varianza de los datos, para ello se dividió la variación total de las mediciones en fuentes de variación, las fuentes de variación son las hipótesis o modelo y la residual debida al error experimental. (Tabla 2).

Mes	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
MARZO	230.439	62	.000	250.35190	248.1802	252.5236
ABRIL	273.501	62	.000	241.00937	239.2479	242.7709
MAYO	268.781	62	.000	218.90746	217.2794	220.5355
JUNIO	125.457	62	.000	255.18444	251.1184	259.2504
JULIO	114.360	62	.000	275.20175	270.3913	280.0122
AGOSTO	41.717	62	.000	336.15000	320.0427	352.2573
SEPTIEMBRE	1.061	62	.293	284.24159	216.9683	268.4514
OCTUBRE	24.182	62	.000	391.76159	359.3767	424.1465

Tabla 2. Prueba para una muestra, nivel de confianza.

El nivel de confianza y la amplitud de intervalo variaron conjuntamente, un intervalo amplio tiene más probabilidad de acierto (mayor nivel de confianza), en el caso de estudio el nivel de confianza de los datos fue de 95%, por lo tanto el diseño del modelo es válido.

El análisis estadístico de los valores medios de las muestras de gas, indica que las emisiones de CO₂ en los sitios de muestreo 1 y 2 (S1 S2) en cultivo y el sitio 3 (S3) en la zona erial, sin uso aparente, experimentaron incremento en el lapso de tiempo cero, hasta el minuto 30 (Tabla 3).

	Minuto 00	Minuto 10	Minuto 20	Minuto 30
Promedio de los valores registrados	259.57 ppm	245.86 ppm	218.86 ppm	265.37 ppm

Tabla 3. Promedio a lo largo de distintos minutos de muestreo de emisión de CO₂.

La estimación de la respiración del suelo, medida a través de sus emisiones de CO₂, da idea de la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo, y el uso de la tierra (Ordoñez et al, 2008:10).

Como se aprecia en la tabla 4, las emisiones de CO₂ en general no son elevadas en relación con Montenegro et.al (2002), sin embargo dentro del carácter experimental del estudio, los valores altos se explican por el incremento de la humedad, la temperatura del suelo, la respiración de las raíces del cultivo, lo cual se asocia al hecho de que el maíz alcanzó su máximo desarrollo, es posible que la magnitud de las emisiones se deba a la actividad fenológica del maíz y a la actividad dinámica del suelo.

El comportamiento de estos factores se explica a partir de la ocurrencia de un fenómeno de microconversión térmica en el suelo. De acuerdo con el monitoreo de temperatura realizado al inicio de la investigación se obtuvo que, en la zona de estudio, por la mañana la temperatura ambiente fue de 10°C y la del suelo de 11°C, conforme avanzaba el tiempo, la temperatura en el suelo se incrementó 1 °C hasta las 11:00hrs y luego se incrementó 2°C hasta las 15hrs. A partir de las 15hrs la temperatura del suelo se mantuvo en 30°C en promedio y conforme entraba la noche por hora disminuía 0.5°C aproximadamente, la temperatura del suelo en general se mantuvo en 20 y 30 °C promedio durante el tiempo del muestreo de gases.

Diferencia de emisiones de CO ₂ entre los sitios de muestreo									
Mes	Tareas agrícolas	Sitio 1 (cultivo)		Sitio 2 (cultivo)		Sitio 3 (erial o control)		Temperatura °C	% Humedad de suelo
		ppm	gr	ppm	gr	Ppm	Gr		
Marzo	Barbecho, Riego	250.87	0.25087	252.04	0.25204	249.43	0.24943	29	71
Abril	Siembra Abono	249.18	0.24918	250.89	0.25204	243.76	0.24376	30	74
Mayo	1ª escarda Fertilización	218.24	0.21824	217.73	0.21773	194.58	0.19458	33	66
Junio	Riego	245.66	0.24566	244.98	0.24498	237.78	0.23778	38	79
Julio	2ª escarda	272.51	0.27251	274.96	0.27496	265.65	0.26565	36	87
Agosto	-	331.62	0.33162	333.05	0.33305	298.47	0.29847	39	93
Septiembre	-	285.12	0.28512	283.29	0.28329	282.95	0.28295	38	90
Octubre	Ensilado	392.50	0.39250	390.19	0.39019	388.13	0.38813	35	92

Tabla 4. Diferencia de emisiones de CO₂ entre los sitios de muestreo. Elaboración propia

Los valores inferiores corresponden al mes de mayo, en este mes la temperatura del suelo aumenta en relación al mes de abril y la humedad decrece de 74% a 66%, además se realiza la primera escarda, la que consiste en cubrir el surco con tierra y se fertiliza con nitrógeno y urea, lo que reduce la disponibilidad de oxígeno en el suelo y por lo tanto aletarga la actividad biológica.

Discusión de resultados

En los sistemas de manejo tradicionales, la quema de rastrojo y el laboreo intensivo del suelo, producen emisiones extras de dióxido de carbono a la atmósfera y reducen el carbono orgánico, en relación con la reducción del contenido de materia orgánica en el suelo (Ordoñez et al, 2008).

No obstante que en el Rancho la Palma la incorporación de materia orgánica a través del estiércol seco y la suspensión del riego en condiciones de lluvia abundante, mitiga el lavado del suelo agrícola y ha mantenido estable el índice de acidez (pH 6), el cual se ubica en el rango de ligeramente ácido a básico (5.5 a 7)

y favorece el desarrollo del maíz. Ante el exceso de agua, la arcilla y los nutrientes del suelo, presentan alta probabilidad de experimentar translocación, Las prácticas de conservación de suelo asociadas a la materia orgánica, entre 2% a 5% y el % de carbono orgánico por debajo, indica un proceso puntual de aumento o disminución de la mineralización de la materia orgánica, que podría estar condicionado por la aireación, la accesibilidad de los microorganismos (Mendiara, 2012) y la conversión natural del suelo vertisol.

En la zona de estudio, en el sitio de cultivo el carbono orgánico total (COT) se estimó en 69.123ton/ha, o 0.007 kg/m² y en el sitio de control se estimó 52.317ton/ha o 0.005 kg/m², estos resultados comparados con la parcela de La Alcantarilla, Zacazonapan Estado de México (Torres 2011) con 121.23ton/ha, o 0.012 kg/m² de un suelo vertisol en condiciones climáticas y edáficas similares, indica que el suelo agrícola del Rancho La Palma almacena 42% menos de carbono orgánico.

El carbono orgánico del suelo (COS) afecta las propiedades relacionadas con el rendimiento de los cultivos. El COS asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, modifica la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

El suelo de la zona de estudio presenta mediana fertilidad en condiciones naturales, por ello los productores adicionan fertilizantes químicos, compuestos principalmente de Nitrógeno y Urea.

Tomando en cuenta que el CO₂ que proviene de la respiración de los microorganismos, las raíces de las plantas y la mineralización de la materia orgánica (M.O) y se concentra en el espacio poroso (Aguilera 1996). No obstante que la amplitud del espacio poroso determinado en 50% en el suelo muestreado, favorece la emisión de gases a la atmósfera, las oscilaciones de la materia orgánica y carbono orgánico que se identificaron en las muestras de suelo y

subsuelo, asociadas al laboreo constante, indican distintas magnitudes de mineralización y emisión de CO₂.

Conforme menos se labra el suelo, este absorbe y almacena más carbono, y por consiguiente sintetiza más materia orgánica, lo que a largo plazo aumenta su capacidad productiva, y al mismo tiempo disminuye el CO₂ que se libera a la atmósfera; de acuerdo con lo observado en esta investigación el comportamiento de los sitios de estudio no obedecen a lo antes mencionado, puesto que en los sitios de cultivo solo se incrementó la emisión de CO₂ en los meses de Abril a Agosto con respecto al sitio control, destacando que en la zona de cultivo también se eleva el almacén de carbono. Sin embargo, la magnitud de la respuesta de los sistemas agrícolas varía considerablemente en función de las condiciones edafológicas y climáticas (Álvaro y col., 2003).

A través del análisis estadístico de *prueba de Tukey* nos permite comparar las medias de las observaciones de los intervalos en estudio comprobando así la normalidad correspondiente, en las que no identificamos diferencias significativas en las emisiones mensuales de CO₂.

En los meses de abril a agosto las emisiones son iguales en los sitios de cultivo y diferente en el sitio erial, esto se debe en parte a las tareas que se hacen en la parcela tales como la siembra, el abonado, la escarda, el riego, además del desarrollo vegetativo y radicular del cultivo lo cual se ve reflejado en la respiración del suelo incrementando la emisión de CO₂; mientras que en los meses de marzo, septiembre y octubre no existen diferencias significativas en los tres sitios. En los meses de septiembre y octubre el suelo alcanza una humedad de 91% y una temperatura de 37°C, lo que favorece a la mineralización de la MO, al clímax del desarrollo del maíz, propicia el aumento en la emisión de CO₂ en los tres sitios de muestreo.

El comportamiento regular de las emisiones de CO₂ en los meses en los que se realizan las diferentes prácticas agrícolas, indica que las emisiones están reguladas por la humedad del suelo (lluvia y riego), la temperatura ambiente propia del clima templado (18° a 28°) y la temperatura del suelo, que se constató alcanza un promedio de 30°C, estos factores favorecen la actividad de los microorganismos que descomponen los restos orgánicos y la emisión de gas.

Tomando en cuenta que los suelos agrícolas emiten 6kg/ha de CO₂ al año (Montenegro, 2002) y los vertisoles emiten 2kg/ha de CO₂ al año (Martínez 2008).

En este estudio experimental, las emisiones promedio de CO₂ en un ciclo agrícola (ocho meses) y de acuerdo con las labores agrícolas: Barbecho-Riego (Marzo); Siembra-Abono (Abril), 1ª Escarda-Fertilización (Mayo); Riego (Junio), 2ª escarda (Julio) y los meses de agosto a octubre (ensilado), están en el orden de 2,252.78ppm/Ha; 2.252.78gr/m² o 0.002252kg/m², y el carbono orgánico total (COT) en el orden de 69.123 Ton/Ha, 6.912.30 gm² o 0.0069123 kg/m², indica que el suelo vertisol cultivado con maíz en el Rancho la Palma, almacena tres veces más carbono orgánico por unidad de área, en relación al CO₂ que emite a la atmósfera.

Conclusión

En la zona de estudio las prácticas de manejo agrícola focalizan elevar el rendimiento del maíz para alimentar el ganado bovino de engorda. La regulación del riego, la permanencia de los esquilmos en la parcela y la aplicación de estiércol, han introducido ciertos controles que mantienen la fertilidad del suelo en un nivel estable mitigan la lixiviación del sustrato y los nutrientes, incorporan materia orgánica y adicionan nitrógeno). Sin embargo el rendimiento meta de cinco toneladas por hectárea de maíz, está sostenido básicamente por la aplicación de fertilizantes químicos (Nitrógeno y Urea).

Los resultados de la medición del CO₂ emitido por el suelo en un ciclo y en cada fase de trabajo agrícola, indican que la emisión aumenta en relación con la temperatura, la humedad y la actividad biológica del suelo favorecida por las prácticas agrícolas.

Las estimaciones más bajas de CO₂ se registraron en el mes de mayo siendo que este mes fue caluroso y seco, donde la temperatura fue de 33°C y la humedad del suelo disminuyó al 66%, estos factores afectan negativamente a la actividad biológica del suelo y por consiguiente a su respiración, en este caso para que la actividad biológica se favorezca se necesitaría que aumentara el porcentaje de humedad en el suelo. Además en este mes se realizó la fertilización química y orgánica, lo que podría estar inhibiendo la emisión de CO₂, frente al incremento de las emisiones de óxido nitroso (N₂O), esta es una línea de atención para estudios posteriores, cuyo desarrollo dependerá de contar con la tecnología apropiada para la determinación. (Grzesiak, 2009)

Las emisiones más altas de CO₂ se obtuvieron en los meses de agosto a octubre, no obstante que las condiciones ambientales son estables y el maíz está en la etapa final de su desarrollo y por lo tanto aumenta la actividad biológica del

cultivo, la materia orgánica en el suelo alcanza su mayor nivel de mineralización ocasionado por las prácticas agrícolas y la extracción de nutrientes del cultivo.

Las emisiones de CO₂ en un ciclo agrícola, en el orden de 2,252.8077ppm, 2.252.78gr/m² o 0.002252kg/Ha, establece una línea base para caracterizar el comportamiento de este gas en suelos vertisoles en otras regiones agrícolas del Estado de México.

Referencias

Aguilera, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile.

Álvaro, J.; López, M.V.; Gracia R.; y Arrúe, J.L. 2003. Effect of tillage on short-term CO₂ emissions from a loam soil in semiarid Aragon (NE Spain). Mediterranean Rainfed Agriculture. Strategies for sustainability. IAMZ. Zaragoza, Junio

BRUKER,2009. Manual de Cromatografía de gases. S.A Mexicana

Cavazos Teresita y Rodríguez Octavio; 1992; Física de suelos; Ed. Trillas; México
Cantú Silva Israel, González Rodríguez Humberto y Gómez Meza Marco. 2010. *Emisiones de CO₂ en vertisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo*. Universidad Autonoma de Yucatan, Merida. Mexico

Díaz Franco R., Acosta Mireles M.,Carrillo Anzures F., Buendía Rodriguez E., Flores Ayala E., Echevers Barra J.D., Determinacion de ecuaciones alometricas para estimar biomasa y carbono de pinus patula. 2007
Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial trillas. México, D. F. México

Gutiérrez S. Raul. 2006. Introducción al Método Científico, Decimoctava edición, Esfinge, México.

Germanwastch. 2008. *Globale Klimawandel. Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten*. Deutschland

Grzesiak M.T (2009) Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. Plant Root. 3:10-16

INEGI Instituto nacional de Estadística y Geografía 201). Serie I escala 1:50000, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IPCC Working Group I Contribution to AR5. 2013. Climate Change 2013, The Physical Science Basis. The Twelfth Session of Working Group I (WGI-12) was held from 23 to 26 September 2013 in Stockholm, Sweden.

Keller T. & Håkansson I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma

Kustsch Werner L. Bahn Michael and Heinemeyer Andreas 2010. *Soil Carbon Dynamics an Integrated Methodology*. Cambridge University Press

LAL, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. Soil Till.

Lassos Palacios Ana Paola. 2006. *Cámaras estáticas para la estimación de gases de efecto invernadero en las lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales*.

López Ritas J. López Medina J. 1990. El diagnóstico de suelo y plantas-métodos de campo y laboratorio. Mundi-prensa Madrid.

Martínez H, Eduardo, Fuentes E, Juan Pablo, Acevedo H, Edmundo 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo, R.C.Suelo Nutr. Veg. 8

Maqueda González María Rosario, Carbonell Padrino María Victoria, Martínez Ramírez Elvira, Flórez García Mercedes 2005. *Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura*.

Mendiara Co, Sarah 2012. Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro. UVIC Universitat de Vic Escolta Politècnica Superior, Barcelona, España, pp. 82.

Montenegro J., Abarca S. (2002). Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones Agronomía Costarricense UCR. Costarrica, Novoa, R. (2000). Inventario de gases con efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria chilena. Agri Tec.

Ordóñez-Fernández, R., Carbonell Bojollo, R., González-Fernández, P., Perea Torres, F. 2008. Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO₂ en un suelo arcilloso de la vega de Carmona, CAREL, Año VI.

Número 6, enero de 2008

Robert, M. (2002). Captura de carbono en el suelo para un mejor manejo de la tierra. *Informe sobre recursos mundiales de suelos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

SMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana (2000). NOM-021-RECNAT-2000. México

Smit P, D, Martino Z., Cai D Gway H. H., Janzen P Kumar B. McCarl, S. Ogle F. M., Howen, McAllister T., Wathenbach 2007. *Green house mitigation in agriculture*. Philosophical Transaction of the Royal Society

Taboada, M. A. y C. R. Álvarez (Ed.). 2008. Fertilidad Física de los Suelos. 2da. Edición. Editorial Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires.

Torres Abraham, Reyes Antonieta 2013. Metodología para muestreo de gases en suelos. Inedita

Tuvery C., G. 2001. *Weather derivatives for espeecefic events risks in agriculture*. Rev Aricul econ 23

Torres Abraham 2013 Estimación de captura de carbono en suelos, bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan, Estado de México. Universidad Autónoma del estado de México.

United States Department of Agriculture USDA, Soil Conservation Service. 1972, Revised Ed. 1982. Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. Soil Survey Investigations Report No. 1. U.S. Govt. Printing Office, Washington, USA

Zambrano Alexis, Felix Franquis, Infante Angel. 2004. *Emisión y captura de carbono en suelos en ecosistemas forestales*.

WRB Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, I. G. (2007). Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma: FAO.

CONCLUSIONES GENERALES

En el Rancho la Palma las prácticas de manejo agrícola focalizan elevar el rendimiento del maíz para alimentar el ganado bovino de engorda. La regulación del riego, permanencia de los esquilmos en la parcela y la aplicación de estiércol, han introducido ciertos controles que mantienen la fertilidad del suelo en un nivel estable mitigan la lixiviación del sustrato y los nutrientes, incorporan materia orgánica y adicionan nitrógeno). Sin embargo el rendimiento meta de cinco toneladas por hectárea de maíz, está sostenido básicamente por la aplicación de fertilizantes químicos (Nitrógeno y Urea).

Las practicas agrícolas en suelo cultivado con maíz si determinan la magnitud de las emisiones de CO₂, debido que estas al modificar la estructura del suelo, el porcentaje de húmeda, la integración de materia orgánica, el uso de agroquímicos y el desarrollo del cultivo, se favorece la emisión de CO₂ pero estas son minoría con respecto a la captura de carbono.

Los resultados de la medición del CO₂ emitido por el suelo en un ciclo y en cada fase de trabajo agrícola, indican que la emisión aumenta en relación con la temperatura, la humedad y la actividad biológica del suelo.

Las estimaciones más bajas de CO₂ se registraron en el mes de mayo, en este mes se realiza la fertilización química y orgánica, lo que podría estar inhibiendo la emisión de CO₂, frente al incremento de las emisiones de óxido nitroso (N₂O), esta es una línea de atención para estudios posteriores, cuyo desarrollo dependerá de contar con la tecnología apropiada para la determinación.

Las emisiones más altas de CO₂ se obtuvieron en los meses de agosto a octubre, no obstante que las condiciones ambientales son estables y el maíz está en la etapa final de su desarrollo y por lo tanto disminuye la actividad biológica del cultivo, la materia orgánica en el suelo alcanza su mayor nivel de mineralización ocasionado por las prácticas agrícolas y la extracción de nutrientes del cultivo.

Las emisiones de CO₂ en un ciclo agrícola, en el orden de 2,252.8077ppm, 2.252.78gr/m² o 0.002252kg/Ha, establece una línea base para caracterizar el comportamiento de este gas en suelos vertisoles en otras regiones agrícolas del Estado de México.

El diseño y procedimiento de muestreo a través de las cámaras estáticas es susceptible de replicarse en otras unidades edáficas y cultivos. Los estudios sobre la estimación de CO₂ en suelos sujetos al cultivo, proveen información para determinar el estado de salud del suelo y evaluar los resultados de las prácticas agrícolas, así como sugerir mejores formas de manejo que fortalezcan la función de los suelos agrícolas como almacenes de carbono y opción viable en la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero.

Hay que resaltar que estudio plantea una línea de atención para explorar las emisiones en la época seca del año natural (noviembre, diciembre, enero y febrero), en este lapso se supondría que el suelo carece de humedad y las arcillas se agrietan propiciando la emisión de CO₂. Lo cual puede variar debido a que los suelos arcillosos de la zona estudiada han mostrado que son capaces de retener la humedad de un período de lluvia anterior y por lo tanto las labores agrícolas inician en el mes de febrero, si esto es así es importante suprimir el riego al inicio del barbecho temprano, siempre y cuando se verifique la humedad presente en el suelo.

GLOSARIO

CO₂: El dióxido de carbono (fórmula química CO₂) es un gas incoloro, inoloro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico encontrado en la naturaleza está compuesto de un átomo de carbono unido con sendos enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El CO₂ existe en la atmósfera de la Tierra como gas traza a una concentración de alrededor de 0,04 % (400 ppm) en volumen. (Donald et.al 1996).

Emisiones: Arrojar, exhalar o echar hacia fuera algo. (Real Academia Española, 2014). Son los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana o natural (por ejemplo: las plantas emiten CO₂).

Suelo: Parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. (Boul et.al 1997)

Materia orgánica (M.O): Materia que está formada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas y animales y sus productos de residuo en el ambiente natural. Las estructuras básicas están formadas de celulosa, tanino, cutina, y lignina, junto con varias otras proteínas, lípidos, y azúcares. Es muy importante en el movimiento de nutrientes en el medio ambiente y juega un rol en la retención del agua en la superficie del planeta Tierra. (Aiken et.al 2007)

Carbono Orgánico (COS): Es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico generalmente al humus en el caso de los suelos. (Rudolph, 2002)

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Aiken, George (2007). United States of America. United States Geological Survey. Organic Matter in Ground Water.

Balogh J., Foti S., Nagy Z, Czobel S., Pinter K., Peli E. R. y Tuba Z. (2005) Comparison of carbon dioxide fluxes over sandy grassland vegetation as measured by the eddy_covariance technique and by open system chamber. Prodedings on de 8th Hungarian Congress on Plant Physiology and 6th Hungarian Conference on Photosynthesis.

Bertalanffy L. (1976). Teoria General de los Sistemas. México: Editorial Fondo de Cultura Económica.

Buol, Stanley W., F.D. Hole and R.W. McCracken. (1997). Soil Genesis and Classification, 4th ed. Iowa State Univ.

Bunch, R. (2003). Nutrient quantity or nutrient access? A new understanding of how to maintain Bunch, R soil fertility in the tropics.

Cárdenas H. (1992). Residuos Agrícolas. Barranquillas, Colombia, Presenca.

Carter S. (1991). Análisis geográfico del uso de la tierra en Centroamérica. Agricultura sustentable en laderas centroamericanas. San José, Costa Rica: Memorias del Taller IICA/CIAT/CATIE/COSUDE.

Cavazos T., Rodríguez O. (1992). Manual de prácticas de física de suelos. México: Trillas: Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar

Cuello C. & Durrin, P. (1995). Sustentainable Development and Philosophies of Technology in Phil & Tech Fall. Eu.

Cuevas R. A., Yépez E.A, Garatuza P. J., Watts J.C., y Rodríguez C. J. (2012). Diseño y uso de un sistema portátil para medir la respiración de suelo en ecosistemas. Instituto Tecnológico de Sonora. Terra Latinoamericana.

Chiavenato I. (1992). Introducción a la teoría de la administración . Mc Graw-Hill.

Donald G. Kaufman; Cecilia M. Franz (1996). Biosphere 2000: protecting our global environment. Kendall/Hunt Pub. Co. ISBN 978-0-7872-0460-0. Consultado el 20 Septiembre 2015.

Doran J. W. (1996). Methods for assessing soil quality. En: J.W. Doran and Alice J. Jones (Ed.). SSSA Special Publ. 49. *Soil Science Society of America Inc.* Madison, WI

FAO Food and Agriculture Organization. (2009). Captura de carbono en suelos para un manejo de la tierra. Institut national de recherche agronomique París Francia

FAO Food and Agriculture Organization. (2001). Sistemas de producción agropecuaria y pobreza. Como mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores ante este mundo cambiante. Malcom Hal

FAO Food and Agriculture Organization. (2002). Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Malcom Hall

Galdames O. D., (2000). Ingeniería Ambiental y Medio Ambiente. DF. Imprenta Universitaria de México

Grzesiak M.T (2009) Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. *Plant Root.* 3:10-16

Gupta, V, V.S.R, Germida, J.J, (1988). Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.*

Gutiérrez S. R. (2006). Introducción al Método Científico. Decimotercera edición, Esfinge, México.

Hall M. E. (2001). Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza. Roma. FAO y Banco Mundial.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, P. I.(2000). Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación . Protocolo S/F artículos 1.3 y 1.4.

Johansen O. (2004). Introducción a la teoría general de sistemas. México Limusa

Kustsch W. L., Bahn M. and Heinemeyer A. (2010). Soil Carbon Dynamics an Integrated Methodology. Cambridge University Press

La Salle J. T. E. (2008). Regenerative Organic Farming:A Solution to Global Warming. Rodale Institute.

Lasso P. A. P. (2010). *Camaras estaticas para la estimacion de emisiones de gases de efecto invernadero en lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales domesticas*. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Posgrado de ingeniería Santiago de Cali

Lopez S. A., Gil M. J. A. (2008). Flujos de CO₂ y LE medidos con cámaras de cambio de gas y sensores de IR bajo condiciones de cielo abierto. Unidad Regional Univercitaria de Zonas Aridas de la AUCh, Mermejillo, Dgo. México. Buenavista Saltillo Coah Mexico.

Maqueda G. M. R. (2005). Carbonell Padrino María Victoria, Martínez Ramírez Elvira, Flórez García Mercedes. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente UVC, Colombia vol. II, núm. 2, pp. 14-18,

Medina V. J. (2010). La Dieta del Dióxido de Carbono (CO₂) Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México.

Monsalvo, R., de Pablo L., Chávez, M. L., 2006, Hydration of Ca-montmorillonite at basin conditions: A Monte Carlo molecular simulation: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas

Montenegro J., Abarca S. (2002). Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones Agronomía Costarricense UCR. Costarrica, pp. 17- 24

Novoa R. (2000). Inventario de gases con efecto invernadero emitidos por la actividad agropecuaria chilena. Agri Tec.

ODEPA Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, O. d. (2006). Temporada Agrícola. Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura. Andros Impresores

ONU Organización de las Naciones Unidas, O. d. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Informal 84

Picot B., Paing J., Sambuco J. P., Costa R. H. R., Rambaud A. & Shilton A. N. (2003). Biogas Production, sludge accumulation and mass balance of carbon in anaerobic ponds. Waste Stabilisation Ponds: Pond Technology for the New Millennium.

Porta Casanellas, J. e. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa.

Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española [Dictionary of the Spanish Language] (23rd ed.). Madrid, Spain: Author

Robert, M. (2002). Captura de carbono en el suelo para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Schulze, E. D. (2000). Metodología para medir la captura de carbono en sistemas naturales y agrícolas. Managing forest after Kyoto. Science

Segura Castruita, M. E. (2005). Carbono Orgánico de los suelos de México (Vol. 23). Terra Latinoamericana.

Singh V. P., Dass P. Kaur K. Billore S. K. Gupta P. K., & Parashar D. C. (2005). *Nitrous oxide fluxes in a tropical shallow urban pond under influencing factors*. Current science Bangalore.

Sordo Martínez Liset, Rodríguez de la Rosa Ángel Rafael y Cruz Morales Jorge (2001). Validación de la técnica para la determinación cuantitativa de cefotaxima sódica por Clar. Rev Cubana Farm v.35 n.2 Ciudad de la Habana Mayo-Agosto.

Standamark J, & Leonardson L. (2005). *Emissions of greenhouse gases from ponds constructed for nitrogen removal*. Ecological Engineering.

Torres Abraham 2013 Estimación de captura de carbono en suelos, bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan, Estado de México. Universidad Autónoma del estado de México.

Torres Abraham, Reyes Antonieta 2013. Metodología para muestreo de gases en suelos. Inedita

Torres de Young S. (2010). Glosario de los términos más usados en cromatografía. Introducción a la Cromatografía. Ediciones de la Univ. Nacional de Colombia. ISBN: 9581701192.

UAM Univercidad Autónoma Metropolitana. (1989). Diccionario Geomorfológico. DF, Universidad Autónoma Metropolitana.

UNC Universidad Nacional de Catamarca. (2008). Global Warming, Rodale Institute. Recuperado el 16 de Octubre de 2013, de Génesis del suelo y características generales: <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/bellamy>

Universidad Austral de Chile. (2001). Medición de la Capacidad de CAPTURA DE CARBONO en Bosques de Chile. Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico

Zimmo O. R., Van der Steen N. P. & Gijzen H. J. (2003). *Comparison of ammonia volatilization rates in algae and duckweed-based waste stabilization ponds treating domestic wastewater*. Water Research.

WRB Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, I. G. (2007). Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma: FAO.