



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES
FACULTAD DE CIENCIAS**

**EFFECTO DEL MANEJO EN DIFERENTES CULTIVOS BAJO
INVERNADERO EN LA EMISIÓN DE CO₂ DEL SUELO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

JUAN FRANCISCO ALBITER PINEDA

Tutor Académico

Dr. Jorge Alberto Lugo de la Fuente

Tutores Adjuntos

Dra. Rocio Vaca Paulín

Dr. Pedro del Águila Juárez

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. 2018.



DEDICATORIA

*Con amor, admiración y respeto este gran logro se lo dedico
a mi familia que con gran esfuerzo y sacrificio
hemos sabido salir adelante, ustedes son el pilar de este
gran logro hoy alcanzado porque es el resultado de sus
esfuerzos, sacrificios y el tiempo dedicado e invertido en mí.*

Ustedes son mi gran ejemplo a seguir

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por permitirme llegar a la meta deseada y agradezco principalmente a mi madre por darme la vida y por ayudarme a hacer posible un logro más; el cual no será el último pero quizá el más importante. Gracias por el apoyo incondicional y desinteresado, por sus sacrificios y esfuerzos constantes, por compartir conmigo tristezas, alegrías, éxitos, fracasos y por creer en mí; porque a través de sus consejos logre forjar un camino, guiarme y alentarme ante los obstáculos que se me presentaron, gracias por la fe que depositó en mí y darme todo sin esperar a cambio más que el orgullo de hacer de mí un triunfador.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo de la beca durante estos dos años de Maestría.

A la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) y al proyecto 3833/2014/ClA,

A los doctores Rocío Vaca, Pedro del Águila y Jorge A. Lugo, quienes además de apoyar la investigación y el proceso de titulación, fueron amigos, apoyo y ejemplo de superación y logro. Gracias por su tiempo y consejos.

Al equipo del laboratorio Nadia y Lili que con su apoyo y palabras de aliento siempre me han impulsado a seguir adelante, porque siempre estuvieron ahí dedicándome un poco de su tiempo a explicarme y apoyarme en lo que necesitaba, también por ser unas buenas amigas y confiar en mí.

A Erika Itzel por su confianza, respeto y amor; por el hecho de que en medio de su libertad está aquí, compartiendo una vida conmigo.

A Devora Bolaños por las facilidades para realizar el experimento dentro de sus invernaderos. A la Sra. Janine Useel de Vaqueiro por creer en mí por su apoyo incondicional el cual fue un motivo más para ver realizado mi sueño.

INDICE	
1. INTRODUCCIÓN	11
2. ANTECEDENTES	13
2.1. Calentamiento global	13
2.2. Cambio Climático	13
2.3. Gases de efecto invernadero (GEI).....	15
2.5. Definición de suelo.....	17
2.6 Propiedades del suelo	18
2.6.1 Propiedades físicas del suelo	19
2.6.1.1 Textura.....	19
2.6.1.2 Densidad aparente	20
2.6.2 Propiedades químicas del suelo	21
2.6.2.1 pH	21
2.6.2.2 Conductividad eléctrica.....	22
2.6.2.3 Materia orgánica	22
2.6.3 Propiedades bioquímicas del suelo	23
2.6.3.1 Mineralización del Nitrógeno.....	23
2.6.3.2 Carbono de la Biomasa Microbiana (CBM).....	24
2.6.3.3 Coeficiente metabólico qCO_2	26
2.7 La Respiración del suelo.....	27
2.7.1 Procesos que intervienen en la respiración del suelo	28
2.7.2 Factores que controlan la descomposición.....	29
2.7.2.1 Temperatura del suelo	29
2.7.2.2 Humedad del suelo	29
2.7.2.3 Propiedades del suelo	31
2.7.2.4 Alteraciones del suelo.....	31
2.7.2.5 Composición de la materia orgánica del suelo	32
2.8 Ciclo del carbono	34
2.9 Procesos de emisión y absorción de CO_2	36

2.10	La agricultura como sumidero de CO ₂	37
2.11	Prácticas de manejo	38
3.	HIPÓTESIS.....	40
4.	OBJETIVOS.....	41
4.1.	General	41
4.2	Específicos.....	41
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
5.1	Descripción de la zona de estudio	42
5.2	Manejo de los cultivos y el suelo (información obtenida de las personas encargadas del invernadero)	43
5.3	Muestreo	44
5.4	Determinación del CO ₂ mediante la técnica de respiración modificada in situ	46
5.5	Cálculos para obtener el CO ₂	47
5.6	Análisis estadístico.....	48
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
6.1.	Emisiones de CO ₂	49
6.1.1	Primer muestreo (periodo de lluvias)	50
6.1.2	Parámetros físico-químicos del suelo	52
6.1.2.1	Conductividad eléctrica.....	53
6.1.2.2	pH	54
6.1.2.3	Materia orgánica (MO).....	54
6.1.3	Propiedades bioquímicas del suelo	55
6.1.3.1	Mineralización del Nitrógeno.....	55
6.1.3.2	Respiración basal	57
6.1.3.3	Carbono de la Biomasa Microbiana (C-BM)	58
6.1.3.4	Cociente Metabólico (<i>q</i> CO ₂)	59
6.1.4	Segundo muestreo (periodo de sequía).....	60
6.1.4.1	Temperatura y humedad del suelo.	62
6.1.5	Parámetros físicos y químicos del suelo.....	68

6.1.5.1	Conductividad eléctrica.....	68
6.1.5.2	pH.....	68
6.1.5.3	Materia orgánica (MO).....	69
7.	CONCLUSIONES.....	75
8.	REFERENCIAS.....	75

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1:	Ciclo del carbono.....	35
Imagen 2:	Polígono de los invmaderos.....	41
Imagen 3:	Cmaras cerradas.....	44
Imagen 4:	Frascos con una trampa álcali de NaOH para atrapar el CO ₂	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Comportamiento del CO ₂ para el primer muestreo (periodo de lluvias) y segundo muestreo (periodo de sequía).....	46
Figura 2:	Sumatoria de CO ₂ durante el primer muestreo (periodo de lluvias).....	47
Figura 3:	Comportamiento del CO ₂ durante el primer muestreo.....	49
Figura 4:	Contenido de MO en el primer muestreo (periodo de lluvias).....	52
Figura 5:	Mineralización del nitrógeno en el primer muestreo (periodo de lluvias)....	53
Figura 6:	Respiración basal primer muestreo (periodo de lluvias).....	54
Figura 7:	Flujo del CO ₂ para el segundo muestreo (periodo de sequía).....	57
Figura 8:	Flujo del CO ₂ que se desprende de cada cultivo en función del manejo, segundo muestreo (periodo de sequía).....	58
Figura 9:	Humedad del suelo durante el segundo muestreo.....	59
Figura 10:	Temperatura del suelo durante el segundo muestreo.....	60
Figura 10:	Flujo del CO ₂ q y la humedad del suelo.....	62

Figura 11: Flujo del CO ₂ q y la temperatura del suelo.....	63
Figura 12: Contenido de (MO) en .el segundo muestreo (periodo de sequía).....	66
Figura 13: Mineralización del nitrógeno en el segundo muestreo (periodo de sequía).	67
Figura 14: Respiración basal segundo muestreo (periodo de sequía).....	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Practicas de manejo que influyen en el flujo de CO ₂	28
Tabla 2: Practicas de manejo.....	43
Tabla 2: Propiedades físicas y químicas, periodo de lluvias.....	53
Tabla 3: Propiedades bioquímicas periodo de lluvias.....	59
Tabla 4: Propiedades físicas y químicas, periodo de sequía.....	68
Tabla 5: Propiedades bioquímicas, periodo de sequía.....	74

RESUMEN

Cuando se lleva a cabo una operación convencional del suelo de uso florícola se emplean prácticas de manejo como la labranza, el riego, también la aplicación de fertilizantes, que favorecen los rendimientos y la producción, pero estas inclusive traen consecuencias que alteran las propiedades físicas, químicas, biológicas del suelo y a su vez producen cambios y de ahí que tienen una correlación con la generación de gases de efecto invernadero (GEI) que los suelos emiten (Sainju *et al.*, 2012). Debido a esta situación el objetivo de este trabajo fue valorar las emisiones de CO₂ en diferentes tipos de cultivo (rosa, clavel, fresa y jitomate) bajo invernadero, para evaluar la eficacia de diferentes manejos que se le dan al suelo y su relación con el desprendimiento de CO₂ atmosférico. El muestreo del CO₂ se realizó en dos temporadas, la primera fue julio de 2016 (temporada de lluvias) y la segunda febrero de 2017 (temporada de secas). En donde la actividad consistió en evaluar *in situ* el CO₂ que se desprende de la actividad microbiana del suelo de cada cultivo, para esto se utilizaron cámaras cerradas y mediante la utilización de una trampa con una solución de NaOH 0.1 N se capturó el CO₂ que se desprende de la actividad microbiana del suelo y por titulación con HCl 0.1 N se cuantificó el CO₂. Los resultados indican evidencias del manejo (riego, labranza, rotación, levantamiento de tierra y uso de plaguicidas) que se da a cada cultivo tuvo un efecto significativo sobre la actividad biológica del suelo al observarse cambios (aumentos y disminuciones) de CO₂ durante las dos temporadas estudiadas. Para la temporada de lluvias, se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en donde la actividad de emisión de CO₂ fue mayor en el cultivo de jitomate (750 Kg CO₂ha⁻¹d⁻¹) seguida del clavel (285 Kg CO₂ha⁻¹d⁻¹) y rosa (162 Kg CO₂ha⁻¹d⁻¹). Los valores más altos de la respiración microbiana se encontraron en el cultivo de jitomate, esto es debido a que el suelo del cultivo contiene una mayor actividad de microorganismos y el cultivo se está rotando constantemente, lo que crea un aumento en emisiones de CO₂, más aún se considera también el manejo de labranza que aporta al cultivo mayor cantidad de residuos orgánicos (biomasa) que favorece al suelo en un

incremento en la actividad microbiana y mineralización. Para la temporada de secas también hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), el contenido de CO_2 fue similar para el cultivo de rosa ($125 \text{ Kg CO}_2\text{ha}^{-1}\text{d}^{-1}$), y fresa ($121 \text{ Kg CO}_2\text{ha}^{-1}\text{d}^{-1}$), no así para el cultivo de clavel ($84 \text{ Kg CO}_2\text{ha}^{-1}\text{d}^{-1}$) que presentó la menor emisión de CO_2 . La disimilitud en la emisión de CO_2 con relación a la época (lluvias y secas), el manejo y tipo de cultivo indican diferencias en un 25% en la emisión de CO_2 para el cultivo de rosa y un 70% para el cultivo de clavel, lo que responde al objetivo de esta investigación.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un consenso social y científico, casi generalizado, en torno a la idea de que nuestro modo de producción y consumo energético está generando una alteración climática global debido a la emisión de GEI, dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4), han aumentado su concentración un 80% (IPCC, 2007).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las actividades antropogénicas incluyen el uso de suelo y el cambio del uso del suelo en los sistemas agrícolas y forestales, el desarrollo industrial y la expansión urbana entre otras fuentes. Todos ellos han contribuido a alterar los ciclos de C y N en los ecosistemas terrestres (IPCC, 2007).

Los cambios en los usos de suelo han contribuido de manera importante al incremento de GEI en la atmósfera, especialmente de dióxido de carbono (CO_2), aumentando sus emisiones desde 1970 en un 80%. Estos cambios causan la alteración de los suelos provocando un impacto sobre el ciclo del carbono, aumentando las tasas de descomposición de la fracción orgánica creando así un flujo de CO_2 a la atmósfera.

Entre las recomendaciones del Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en inglés), y contemplado en el Protocolo de Kioto, se encuentra el proceso de secuestro de carbono en suelos, que implica la eliminación de CO_2 atmosférico por parte de las plantas y su almacenamiento como materia orgánica del suelo. Para poder favorecer dicho proceso, es fundamental conocer cuáles son los factores que gobiernan la respiración del suelo y el impacto que tienen los diferentes manejos que se le dan al suelo en la emisión de CO_2 (Mendiara, 2012).

Por ejemplo, la contribución de los suelos agrícolas a la emisión de CO_2 , N_2O y CH_4 depende de los procesos biofísicos, y la incorporación y/o descomposición de los residuos orgánicos en el suelo; bajo condiciones aeróbicas se produce CO_2 ; mientras que, las condiciones anaerobias producen CH_4 y la nitrificación y desnitrificación dan como resultado la emisión de N_2O (Muñoz *et al.*, 2010).

Al igual las prácticas de manejo que se le dan al suelo afectan indirectamente a las emisiones de CO₂ y N₂O mediante la alteración de la temperatura del suelo y el contenido de agua debido a que estos parámetros están directamente relacionados con las emisiones de GEI (Liebig *et al.*, 2010).

La labranza puede secar el suelo a través de una mayor evaporación; mientras que, la siembra directa puede conservar el agua del suelo y reducir la temperatura debido a la disminución de la alteración del suelo y el aumento de la acumulación de residuos en la superficie del suelo (Al-Kaisi y Yin, 2005). Del mismo modo, el riego en los suelos puede aumentar las emisiones de CO₂ en comparación con los suelos sin riego, aumentando la disponibilidad del agua del suelo, la actividad microbiana, la mineralización de C y la respiración (Calderón y Jackson, 2002).

2. ANTECEDENTES

2.1. Calentamiento global

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales más graves de la humanidad en este momento, el cual se manifiesta mediante variaciones en el clima (Alvarado *et al.*, 2013). Esto se evidencia en el aumento del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el cual ha pasado de 0.6 a 0.74 °C (IPCC, 2007).

Durante los últimos siglos se ha provocado un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera, entre ellos el dióxido de carbono (CO₂) ha sido el más importante por su cantidad y efecto potencial en el calentamiento global (IPCC, 2007). Las actividades antropogénicas han dado lugar a un aumento en la concentración atmosférica de CO₂ de 280 ppm en la era pre-industrial a casi 400 ppm en la actualidad, y está aumentando a un ritmo de alrededor de 2.2 ppm por año (IPCC, 2007). A nivel mundial, alrededor del 25% de las emisiones antropogénicas de CO₂ y el 70% de N₂O se originan en la agricultura (Sainju *et al.*, 2012).

2.2. Cambio Climático

Para el IPCC (2007), el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana.

Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, en inglés), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos de tiempo comparables (Mendiara, 2012).

Ya en el año 2001 el Tercer Informe de Evaluación del IPCC ponía de manifiesto la evidencia proporcionada por las observaciones de los sistemas físicos y biológicos que mostraba que los cambios regionales en el clima, en concreto los aumentos de las temperaturas, estaban afectando a los diferentes sistemas y en distintas partes. En promedio, la temperatura ha aumentado aproximadamente 0.6°C en el siglo XX. El resumen del IPCC *Fourth Assessment Report* relativo al año 2007 empieza declarando que el calentamiento global puede considerarse como algo inequívoco, tal como lo ponen en evidencia las observaciones de incrementos en la temperatura media del aire y del océano, en la fusión de las zonas cubiertas por la nieve y el hielo, y por el incremento paulatino que está sufriendo el nivel del mar (Mendiara, 2012).

El intervalo de años comprendido entre 1995-2006, se ha catalogado dentro de los 12 años más calurosos de los que se tiene noticia desde que existe el registro instrumental de temperaturas (desde 1850). La tendencia de incremento de los últimos cien años (1906-2005) de 0.74°C es sensiblemente superior a la tendencia que se había obtenido para el periodo de 1901-2000 publicado en el tercer informe del IPCC. El incremento de temperaturas se produce en todo el planeta y es mayor cuanto mayor es la latitud, al menos en el Hemisferio Norte. Además, las zonas continentales han sufrido un calentamiento más intenso que las zonas oceánicas (IPCC, 2007; Mendiara, 2012).

El Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones (IEEE, 2000) proyecta un aumento de las emisiones mundiales de GEI de entre 25% y 90% de CO₂ entre 2000 y 2030, suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta 2030 como mínimo. De proseguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX (Mendiara, 2012).

La variación de las concentraciones de GEI y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre alteran el equilibrio energético del sistema climático. Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado,

desde 1970 en un 80%. Entre estas emisiones, el CO₂ es el GEI antropogénico más importante. Las concentraciones atmosféricas de CO₂ en 2005 (379ppm) excedieron con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650,000 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte menor pero apreciable, a los cambios de uso de la tierra (Mendiara, 2012).

Desde 1970 las emisiones directas debidas a cambios en el uso de suelo se han incrementado un 40%. Los cambios de uso del suelo mediante la conversión de bosques y praderas en terrenos agrícolas han contribuido de forma substancial al incremento de la concentración de CO₂ atmosférico en los últimos siglos (Sainju *et al.*, 2012).

2.3. Gases de efecto invernadero (GEI)

El suelo es una de las principales fuentes de GEI, tanto por las emisiones de origen antropogénico debido a la gestión y manejo de los usos de suelo las cuales contribuyen al 20% de las emisiones antropogénicas totales, como por las emisiones biogénicas provenientes de procesos biogeoquímicos dentro de los ecosistemas (IPCC., 2007; Blagodatsky y Smith, 2012).

Según reportes de Magrin *et al.*, (2014), en el periodo comprendido entre 2001-2010, la mayor fuente de emisiones dentro del componente suelo y usos del suelo fue la agricultura (50%), seguido por la conversión de bosques (38%), la degradación de sabanas (11%) y quema de biomasa (1%); en contraste, el Bosque (manejo forestal y forestación) aportaron el (100%) de la captación de carbono, actuando así como sumidero.

El alto porcentaje atribuido a la agricultura se debe a las diferentes practicas agronómicas como la fertilización sintética, la inundación de grandes áreas para el

cultivo de arroz y el manejo de las pasturas para ganadería, entre otras actividades (IPCC., 2007; Diaz-Rojas et al., 2014).

Aunque se dispone de información sobre el uso de prácticas de manejo mejoradas para aumentar la captura de carbono en los suelos para mitigar el calentamiento en la atmósfera, se sabe relativamente poco acerca de las emisiones de GEI provenientes de las prácticas agrícolas (Sainju *et al.*, 2012).

La producción de GEI procedentes de los suelos se debe principalmente a los procesos microbiológicos. Las actividades microbianas y los flujos de GEI, están relacionados con las propiedades del suelo, incluyendo las concentraciones del carbono total, nitrógeno total e inorgánico, densidad aparente, salinidad y potencial redox (Chen *et al.*, 2010).

Las variaciones en las propiedades del suelo no solo afectan a la emisión de gases de efecto invernadero, sino también a los mecanismos responsables de la producción de dichos gases. Allen *et al.* (2007), concluyen que el proceso de desnitrificación es un posible colaborador en la producción de N₂O cuando existen niveles altos de nitrato. Sin embargo, la producción de N₂O se atribuye principalmente a la nitrificación cuando existen niveles elevados de amonio; sin embargo, la información sobre la variación de los flujos de gases de efecto invernadero y la relación con las propiedades del suelo son todavía limitados.

2.4 Importancia del suelo en el secuestro de carbono

Los suelos cuyo uso se modifican consiguiendo una cubierta vegetal perenne bien sea a través del abonado del suelo agrícola y la sucesión natural o como resultado de una decisión del manejo del suelo tienden a incrementar los niveles de carbono orgánico del suelo (Paustian *et al.*, 1997).

Por ejemplo en regiones templadas, donde la transformación a nuevas tierras agrícolas está muy limitada o en zonas donde existe sobre-producción agrícola, es normal que

las tierras agrícolas marginales se transformen en terrenos forestales, la que representa una opción para conseguir un secuestro de carbono atmosférico. La velocidad de acumulación de carbono en estos casos varía considerablemente dependiendo de las condiciones de suelos, clima, vegetación y grado de manejo soportado por el suelo (Meir *et al.*, 2006).

El potencial de secuestro de carbono por los suelos no es infinito, al menos para un ecosistema en particular. Una vez iniciado, el secuestro de carbono continuará hasta que se alcance una situación de estabilidad o equilibrio, periodo de tiempo que se estima entre 50 y 100 años. De todas maneras, el potencial de secuestro de carbono orgánico y el subsecuente efecto paliativo sobre el incremento del CO₂ atmosférico, son tan importantes que hoy en día uno de los principales puntos para la mitigación del cambio climático se basa en el fomento de las prácticas de reforestación y prácticas más amigables con el ambiente.

2.5. Definición de suelo

El suelo puede definirse, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), como el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando durante un determinado periodo.

También es considerado como un cuerpo tridimensional continuo y coherente que cubre porciones de la superficie terrestre, desarrollado a partir de una mezcla de materiales minerales y orgánicos bajo la influencia del clima y el medio natural, como son el material parental, relieve y organismos, a través del tiempo (Puglisi *et al.*, 2006).

El suelo puede ser modificado y aun construido por el hombre, donde su grado de desarrollo, da como resultado el grado de estructuración y formación de horizontes, donde se encuentra el suministro de los nutrientes y el sostén que necesitan las plantas. El suelo es un recurso vital, dinámico, y no renovable, cuyas condiciones

influyen en la producción de alimentos, el ambiente y el balance global (Puglisi *et al.*, 2006).

Entre las funciones del suelo (pero no solo se limitan a ello) se incluyen (Paz Ferreiro, 2006):

- a) Regular procesos bióticos, incluyendo los aportes de agua y nutrientes minerales para construir la biomasa que será luego utilizada para iniciar una nueva cadena trófica.
- b) Construir una interfase entre la biósfera y la geósfera manteniendo, regulando y controlando algunos flujos y el cambio de sustancias.
- c) Regular el intercambio de gases entre la atmósfera y la fase porosa del suelo por absorción de O_2 , liberación de CO_2 y otros gases tales como CH_4 , H_2 , H_2S , NH_3 y NO .
- d) Actuar como redistribuidor de algunos de los flujos del ciclo hidrológico, transformando la precipitación e infiltración, escurrimiento superficial y subsuperficial.
- e) Generar un manto específico y estratificado de la superficie de la tierra protegiéndola de impactos destructivos.

Por lo tanto, se puede afirmar que el suelo es un recurso vivo y dinámico cuya condición es clave para la producción de alimentos y para el buen funcionamiento del ecosistema global.

En el suelo se encuentran las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo que dependen de la condición y el funcionamiento del mismo, y en ellos se encuentran las principales funciones edáficas como son la productividad, filtración, degradación y reciclamiento de nutrimentos los cuales repercuten en la fertilidad y funcionamiento de los ecosistemas (Zornosa *et al.*, 2008).

2.6 Propiedades del suelo

Las propiedades del suelo son clasificadas en físicas, químicas, bioquímicas y biológicas, las cuales al sumarse se correlacionan con procesos biogeoquímicos,

variaciones espaciales y temporales para determinar la calidad del suelo, que, según Puglisi *et al.* (2006) y Zornoza *et al.* (2008), presentan tres componentes básicos: la capacidad del suelo para el crecimiento de plantas y productividad biológica (productividad), la capacidad del suelo para atenuar daños al ambiente (calidad ambiental) y la interrelación entre suelo, plantas, animales y humanos (salud del suelo); sin embargo, este equilibrio sugerido es fácilmente afectado por los mismos factores ambientales o por intervención humana.

2.6.1 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas son aquellas que reflejan la manera en la que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y además la relación en que se encuentran arregladas las partículas y poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, conductividad hidráulica y textura son algunas de las propiedades físicas del suelo (Bautista *et al.*, 2004).

2.6.1.1 Textura

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen al suelo; arena, limo y arcilla. Con la proporción relativa de estas fracciones minerales se pueden obtener un gran número de combinaciones que dan origen a las clases texturales. Su fraccionamiento sigue una función logarítmica con límites entre 0.002 y 2.0 mm. La fracción arcillosa es menor a 0.002 mm, el limo entre 0.002 y 0.05 mm, y la arena entre 0.05 y 2.0 mm (Flores y Alcalá, 2010).

Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks *et al.*, 2004).

El interés en conocer la textura de un suelo reside en que permite inferir otras propiedades y características directamente relacionadas con el uso y comportamiento del suelo (Porta *et al.*, 2003), por ejemplo:

- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas y de suministro.
- Facilidad para la circulación del agua.
- Facilidad para el laboreo.
- Riesgo de formación de sellado y de costra superficial: deficiente velocidad de entrada de agua en el suelo y mala nacencia.
- Riesgo de erosión hídrica.
- Capacidad para almacenar nutrientes.
- Capacidad para admitir aguas residuales, purines y otros residuos líquidos.
- Orden de magnitud de la superficie específica.

2.6.1.2 Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se utiliza a menudo como un parámetro de la calidad física del suelo ya que varía de acuerdo a los cambios en la estructura de este medio poroso. Afecta la productividad del sitio y es un indicador de la compactación y porosidad del suelo. La compactación del suelo es estudiada debido a sus efectos en diversas cuestiones agrícolas incluyendo los rendimientos de los cultivos y su calidad (Suuster *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2014).

Se usa como una variable de entrada en varios modelos predictivos y descriptivos del suelo. Esta medida es una propiedad física del suelo y se utiliza para la conversión de peso a volumen, esencial para la evaluación de los nutrientes del suelo y las reservas de carbono (Suuster *et al.*, 2011). Es importante por su efecto directo sobre algunas propiedades del suelo tales como: porosidad, humedad y conductividad hidráulica; así como, sus efectos indirectos sobre el crecimiento de las raíces y el rendimiento de cultivos.

Es necesaria su medición para convertir el peso del suelo en volumen, por lo que es un componente crucial en de la evaluación de agua presente en el suelo, nutrientes y reservas de carbono (Mora y Lázaro, 2014; Sequeira *et al.*, 2014).

2.6.2 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas de un suelo son aquellas que afectan las relaciones suelo-planta-organismos, disponibilidad de nutrientes, agua para las plantas y otros organismos, así como, movilidad de organismos (Martínez-Salgado *et al.*, 2010). Algunas propiedades son la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable (Bautista *et al.*, 2004).

2.6.2.1 pH

En 1909 el químico danés Sørensen definió el potencial hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno y se representa como $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

El pH del suelo informa de la acidez o alcalinidad del mismo, y este indicador o parámetro afecta la disponibilidad de los nutrientes, actividad de los microorganismos, y solubilidad de minerales del suelo. Factores importantes que mueven el pH edáfico son temperatura y precipitación, estos controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados; la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas; sin embargo, prácticas agrícolas, tales como el encalado o el agregado de fertilizantes de amonio, pueden alterar el pH (Luters y Salazar, 2000).

El pH del suelo es una característica química importante, porque el conocer su valor en el suelo permite entender la importancia de los procesos químicos tales como la movilidad de iones, precipitación y equilibrio de la disolución, precipitación y disolución cinética, y equilibrio oxidación-reducción; así como conocer la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas y la respuesta negativa de plantas a la acidez del suelo (Castaños *et al.*, 2005).

Un exceso de acidez o alcalinidad será capaz de cambiar los nutrientes disponibles y resultar en un desequilibrio de elementos presentes en las plantas (Mao *et al.*, 2014). El pH, tiene una profunda influencia en la disponibilidad relativa de los nutrientes

presentes en las plantas; condiciones ligeramente ácidas generalmente se consideran óptimas para la disponibilidad de macro y micronutrientes (Sharma *et al.*, 2014).

2.6.2.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es el parámetro más utilizado para describir la salinidad del suelo, se caracteriza por estimar la concentración de iones en el suelo y consiste predominantemente de los cationes Na^+ , Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} y de los aniones Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- . Es un indicador fiable de la concentración del soluto (cationes o aniones) de 1dS/m aproximadamente equivalente a 10meq/L (Friedman, 2005; He *et al.*, 2012).

Para suelos salinos, la CE se encuentra ampliamente relacionada a la concentración de sal, para suelos no salinos, es una herramienta muy valiosa que proporciona información sobre la evaluación de la calidad del suelo y en aplicaciones agrícolas precisas debido a que es principalmente una función de la textura del suelo, contenido de agua, cantidad de materia orgánica, porosidad del suelo, densidad aparente y capacidad de intercambio catiónico (Hu *et al.*, 2014; Naderi-Boldaji *et al.*, 2014).

2.6.2.3 Materia orgánica

La materia orgánica (MO), del suelo está compuesta por todos los materiales orgánicos muertos, de origen animal o vegetal y por productos orgánicos producidos en su transformación. Una pequeña fracción de la MO incluye materiales ligeramente transformados, y otros transformados por completo, de color oscuro y de alto peso molecular, llamados compuestos húmicos (Crespo, 2011).

Es indicador clave de la fertilidad y calidad del suelo ya que afecta sus funciones físicas, químicas y biológicas y, a su vez, influye en la productividad del mismo (Qiyong *et al.*, 2014; St. Luce *et al.*, 2014). Medidas como N total del suelo, carbono orgánico y la relación C/N representan la cantidad y calidad de la MO y son algunos de los indicadores ampliamente recomendados en cuanto a su evaluación, ya que es considerada como un factor clave para mantener la productividad biológica, la calidad del ambiente y promover la salud animal y vegetal (Mao *et al.*, 2014; St. Luce *et al.*, 2014).

2.6.3 Propiedades bioquímicas del suelo

Estas propiedades son las que se encuentran directamente relacionados con la cantidad y actividad de la biomasa y propiedades asociadas a la descomposición de MO y liberación de nutrientes (Trasar-Cepeda *et al.*, 2008). Los cambios generados en la conducta de las propiedades: biomasa microbiana, mineralización del N, (Adrover *et al.*, 2012), donde el C de la biomasa microbiana y la mineralización del N se asocian a un manejo y uso intensivo del suelo (Gil-Sotres *et al.*, 2005).

La importancia que hoy en día está adquiriendo la determinación de los parámetros bioquímicos, las actividades enzimáticas del suelo, como aquellos relacionados con la biomasa microbiana, es cada vez mayor en los estudios avanzados de la ciencia del suelo. Esto debido a que son esenciales para que el suelo realice sus funciones de manera correcta, su medida da una idea de la actividad metabólica del suelo y servirá de ayuda para entender el funcionamiento del mismo.

En estas propiedades se encuentran la respiración de los organismos, productos metabólicos y algunas enzimas como la ureasa, arilsulfatasa, fosfatasas, relacionados con funciones específicas de la degradación o mineralización de nitrógeno, azufre o fosforo orgánicos y demás compuestos presentes en el suelo interviniendo en el reciclamiento de nutrientes (Martínez-Salgado *et al.*, 2010).

2.6.3.1 Mineralización del Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento que se encuentra presente en la atmósfera principalmente en forma de gas de fórmula N_2 que es inerte y no puede ser empleado por la parte de los organismos. La mayor parte del nitrógeno presente en el suelo está en forma de nitrógeno orgánico. Este nitrógeno orgánico representa una importante reserva de nutrientes y está constituido en aproximadamente 40% por material proteico (proteínas, péptidos y aminoácidos), aunque también abundan los compuestos heterocíclicos de nitrógeno (aproximadamente 35%) (Paz-Ferreiro, 2006).

El nitrógeno es un macronutriente esencial para las plantas, esta forma parte de ácidos nucleicos y aminoácidos, su función es fundamental en la señalización y regulación de proteínas. Además, es de gran importancia en la bioquímica de compuestos como enzimas, pigmentos, metabolitos secundarios y poliaminas (Rubio *et al.*, 2011).

Los microorganismos presentan gran importancia al describir el ciclo del nitrógeno en el suelo, ya que intervienen en un gran número de procesos. La amonificación se produce debido a la acción de un gran número de microorganismos, tanto aerobios como anaerobios, y diversos tipos de organismos como bacterias y hongos; mientras que, la nitrificación (conversión de amonio a nitrato por oxidación enzimática) es un proceso que ocurre en dos etapas: conversión de amonio a nitrito y su posterior transformación en nitrato. La primera de estas etapas transcurre principalmente debido a la acción de bacterias pertenecientes al género *Nitrosomonas*, aunque también se encuentran implicadas bacterias pertenecientes a otros géneros como son las *Nitrosolobus* y las *Nitrospira*; mientras que, la transformación final en nitrato se produce por medio de la acción de bacterias pertenecientes al género *Nitrobacter*. Este tipo de bacterias presentan un intervalo de condiciones mucho más estrecho que las bacterias amonificantes (Paz-Ferreiro, 2006).

La mineralización del nitrógeno consiste en convertir el amoníaco a su forma más oxidada de nitrato, que es un ion más fácilmente asimilado por las plantas. Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. Este ciclo es complejo e involucra una serie de reacciones y organismos con diferentes metabolismos. Siempre comienza con compuestos orgánicos sencillos (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2 , NH_3) y termina con compuestos orgánicos complejos; que a través de la descomposición regresan a la etapa de compuestos sencillos (Fernández *et al.*, 2006; Salazar *et al.*, 2012).

2.6.3.2 Carbono de la Biomasa Microbiana (CBM)

La biomasa microbiana (BM) define el componente funcional de la microbiota del suelo, responsable principalmente de la descomposición y reconversión de la materia

orgánica y la transformación de nutrientes. La BM edáfica puede definirse como la parte viva de la MO del suelo, excluyendo las raíces y organismos de tamaño mayor (aproximadamente $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$) (Gil-Sotres *et al.*, 2005), no obstante, no sobrepasa 5% de la MO ya que contiene solamente de 1 a 3% del carbono total del suelo y aproximadamente 5% del nitrógeno total (Kızılkaya *et al.*, 2004) y el CBM se expresa, generalmente en mg C/kg^{-1} de suelo seco. Usualmente se han indicado valores para de CBM entre 1 y 4% del carbono orgánico y para el N de la biomasa entre 2 y 6% del nitrógeno inorgánico (Acosta y Paolini, 2006).

La biomasa microbiana se caracteriza por ser la parte más activa de la MO del suelo; además, es importante en el ciclo de nutrientes y su liberación, también es considerada como un indicador sensible y temprano ante el estrés que se produce en el suelo (Silva *et al.*, 2014; Wen *et al.*, 2014).

Los microorganismos del suelo son los principales mediadores del ciclo del carbono, parte de la reserva de carbono y nutrientes orgánicos está conformada por la biomasa microbiana. La cantidad de C en la biomasa microbiana representa entre 1% y 3% del C orgánico total del suelo. Debido a que la fracción microbiana cambia rápidamente, la biomasa microbiana puede proporcionar un índice temprano de los cambios lentos en el contenido de materia orgánica (Zhang *et al.*, 2012).

Las alteraciones, como el descenso de la misma, parecen estar determinadas por propiedades de las comunidades microbianas, su tipología y actividad, así como por las condiciones climáticas a las que se ve sometido el suelo, más que a sus características edáficas (Iglesias, 2008; Chen *et al.*, 2013).

Cabe mencionar que CBM es importante en el ciclo de nutrientes, ya que participa en los ciclos de C y N, y refleja el estado de la fertilidad del suelo debido a que los microorganismos presentes en el medio edáfico responden rápidamente a los factores de estrés ya que presentan ajustadas tasas de actividad; por lo tanto, puede ser útil para la evaluación de la calidad del suelo (Andrés *et al.*, 2011; Jaurixje *et al.*, 2013; Wen *et al.*, 2014).

Debido a lo anterior, ha sido incluida en programas de monitoreo del suelo, ya que como antes se ha mencionado se relaciona directamente con la fertilidad del suelo, la estructura y la estabilización del mismo (Andrés *et al.*, 2011).

2.6.3.3 Coeficiente metabólico qCO_2

En años recientes, diversos investigadores han propuesto índices sencillos derivados de las propiedades bioquímicas tales como: respiración basal por unidad de biomasa microbiana para inducir la respiración del suelo para tener una clara idea de las relaciones entre el funcionamiento de la comunidad microbiana y las condiciones ambientales. La relación entre la respiración del suelo y la biomasa microbiana puede ser expresada como qCO_2 . Este puede ser considerado como un indicador de la perturbación ambiental de la población microbiana (Selivanovskaya *et al.*, 2001).

El coeficiente metabólico (qCO_2) relaciona la actividad microbiana a través de la respiración microbiana y la cantidad de biomasa microbiana por unidad de tiempo; éste fue descrito por primera vez por Anderson y Domsch (1990) como un índice sencillo de la actividad biológica del suelo; está basado en la hipótesis de la optimización energética de los ecosistemas, derivada de la teoría ecológica de Odum sobre la sucesión de los ecosistemas y la eficiencia metabólica de la microflora edáfica. Así, en ecosistemas jóvenes (inmaduros) el valor de qCO_2 debe ser elevado y es bajo al referirse a ecosistemas maduros; es decir, la relación entre la respiración total y la biomasa total de un ecosistema debe disminuir progresivamente a medida que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o de estabilidad, salvo que las condiciones sean adversas para el buen funcionamiento del mismo (García y Hernández, 2007).

Este índice ha sido ampliamente utilizado como un buen indicador de las alteraciones que se producen en el suelo debido a la contaminación por metales pesados, la deforestación, la temperatura o los cambios en las prácticas de manejo del suelo. Sin embargo, el índice también ha sido criticado por su falta de sensibilidad a ciertas perturbaciones y al desarrollo del ecosistema (Bastida *et al.*, 2008).

2.7 La Respiración del suelo

La respiración del suelo se define como la producción de CO₂ debido a dos procesos: la ruptura, u oxidación de la materia rica en carbono por medio de los microorganismos del suelo, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. La tasa de producción de CO₂ es científicamente importante porque indica la tasa de descomposición de la materia orgánica y por tanto la cantidad que se pierde de carbono del suelo. Las medidas de la respiración del suelo ayudan a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera (Griffiths *et al.*, 2005).

La descomposición terrestre es un proceso de degradación físico-química de la materia orgánica del suelo (MOS) proveniente de restos de plantas, animales y material microbiano. Este proceso causa un descenso en el contenido de detritos conforme los materiales son transformados a CO₂ y nutrientes inorgánicos, que podrán ser utilizados para producción vegetal y microbiológica del sistema. El dióxido de carbono generado se almacena en el espacio poroso del suelo y se va liberando, en mayor o menor medida, desde la superficie del suelo hacia la atmósfera mediante un proceso de difusión entre zonas del suelo con diferente concentración. Este proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo está controlado por una serie de factores: a) condiciones climáticas del suelo: temperatura y humedad, b) propiedades del suelo, como pH y contenido de arcillas, c) alteraciones del suelo, d) calidad y cantidad del material genético y e) características de la comunidad microbiana (Griffiths *et al.*, 2005).

Las consecuencias de la descomposición son, por un lado, la mineralización de la materia orgánica, por lo que se producen compuestos inorgánicos (nutrientes minerales, agua y dióxido de carbono), por otro lado la transformación de materia orgánica en componentes orgánicos recalcitrantes y, por último, la emisión de dióxido de carbono.

Tabla 1: Practicas de manejo que influyen en la emisión de CO₂

Referencia	Practica de manejo	Comentarios
El-Ghamry <i>et al.</i> (2001)	Fertilización	El uso de Bensulfuron methyl, disminuye la respiración microbiana del suelo
Jackson (2002)	Riego	El riego en los suelos puede aumentar las emisiones de CO ₂ en comparación con los suelos sin riego
Yao <i>et al.</i> (2006)	Fertilización	El uso de Acetamiprid disminuye la actividad microbiana del suelo
Reboud <i>et al.</i> (2007)	Fertilización	El uso de Atrazina inhibe la actividad microbiana
Sainju <i>et al.</i> , (2008)	Labranza	Las emisiones de CO ₂ aumentaron en cultivos con labranza
Sainju <i>et al.</i> , (2012)	Riego	Las emisiones de CO ₂ aumentaron inmediatamente después del riego

2.7.1 Procesos que intervienen en la respiración del suelo

Los principales procesos que influyen en la descomposición de la materia orgánica son la lixiviación, fragmentación y alteración química. La lixiviación es el proceso físico por el que los minerales y compuestos orgánicos de menor tamaño se disuelven en el agua y se mueven a través de los diferentes perfiles del suelo. Este proceso produce pérdidas importantes de nutrientes y en menor medida de carbono orgánico, y son mayores en ambientes lluviosos, y despreciables en ambientes secos (Mendiara, 2012).

La fragmentación del suelo crea nuevas superficies para la colonización microbiana y aumenta la proporción de la cantidad de residuos que quedan accesibles al ataque. Los detritos frescos se encuentran normalmente protegidos por diferentes materiales, como la corteza de lignina en los vegetales y los exoesqueletos animales. Los mayores responsables de la fragmentación en ecosistemas naturales son los distintos animales vertebrados e invertebrados del suelo (Mendiara, 2012).

En la alteración química cabe mencionar los principales agentes que la producen, que son los hongos, las bacterias y los animales propios del suelo, que componen la microfauna (ej. protozoos y amebas), la mesofauna (de 0.1 a 2 mm de medida) y la macrofauna (ej. gusanos y termitas). Gran parte de la descomposición ocurre cerca de la superficie del suelo (Mendiara, 2012).

2.7.2 Factores que controlan la descomposición

2.7.2.1 Temperatura del suelo

A escala global, la respiración del suelo está influenciada por temperaturas y precipitaciones medias anuales, y la interacción entre estas dos variables. La temperatura del suelo es uno de los factores que tiene mayor importancia sobre el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos edáficos. Así, a medida que se eleva la temperatura se aceleran las reacciones químicas y enzimáticas, por lo que el crecimiento y el metabolismo de la biomasa serán más rápidos en general. Por tanto, un aumento en la temperatura del suelo incrementa la tasa de mineralización con el siguiente descenso de las reservas de carbono orgánico del suelo (Raich *et al.*, 1992)

La temperatura afecta a la descomposición directamente promoviendo la actividad microbiana e indirectamente alterando la humedad del suelo y la calidad de la materia orgánica. La actividad microbiana del suelo normalmente responde de manera exponencial a la temperatura duplicando, aproximadamente, la actividad por cada 10 grados de incremento. Además, los procesos de congelación y deshielo estimulan la descomposición por rotura física de los agregados del suelo. Los estudios de campo que se han realizado para investigar estas relaciones normalmente relacionan la variación diaria y/o estacional de la respiración con las variaciones de la temperatura (Rey *et al.*, 2002).

2.7.2.2 Humedad del suelo

El contenido de agua del suelo es otra importante variable para predecir la descomposición de la materia orgánica y la formación de gases de efecto invernadero asociada a ella. La sequía del suelo limita la actividad fisiológica de los

microorganismos y la difusión de nutrientes en el espacio poroso del suelo. De forma general puede indicarse que la actividad metabólica disminuye en el suelo cuando éste se seca por debajo de un determinado límite, y que cuando hay un exceso de agua la actividad metabólica también desciende debido a la sustitución de las poblaciones aerobias por anaerobios facultativos/obligados y a la limitación de la difusión del oxígeno (Rey *et al.*, 2002).

La relación entre el agua del suelo y los procesos microbianos es compleja, ya que las características de los suelos van a afectar de manera importante a los distintos procesos físicos (movimiento de agua, difusión de gases, difusión de solutos, supervivencia y movimiento de la microbiota). En general, la acumulación de carbono es mayor en suelos muy húmedos ya que la descomposición está restringida por altos valores de humedad. Tanto los organismos descomponedores como las plantas son más productivos bajo condiciones de humedad intermedias, donde cuentan con disponibilidad de suficiente oxígeno. La tasa de descomposición generalmente decae a valores menores de 30 a 50% de humedad del suelo, debido a una reducción en el espesor de las películas de humedad sobre la superficie del suelo y, por tanto, una disminución en la velocidad de difusión de los sustratos a los microbios (Rodrigo, 1997).

En zonas áridas, la actividad microbiana está frecuentemente limitada por la humedad por lo que la tasa de mineralización está ligada a los pulsos de precipitación y entrada de materia orgánica; las sequías periódicas resultan en biomasa microbiana muerta que sirve a su vez de reservorio y dejan disponibles nutrientes para las plantas u otros organismos (Whitford, 2002).

Episodios de cambios en la humedad, como pueden ser tormentas, o la formación y evaporación del rocío, pueden influir en la descomposición, estimulándola si los ciclos no son frecuentes; por lo contrario, si estos episodios se repiten asiduamente, la población de microorganismos del suelo se reduce (por agotamiento de oxígeno), por lo que la velocidad de descomposición también. Una periodicidad baja de cambios en la humedad tiende a su vez a estimular la descomposición de sustratos lábiles (ej.

hemicelulosa), retardando la descomposición de materiales recalcitrantes como la lignina (Haynes, 1986 y Mendiara, 2012).

2.7.2.3 Propiedades del suelo

pH

La descomposición ocurre más rápidamente en suelos neutros que en ácidos, debido a diferentes factores. El aumento en la cantidad de bacterias y en la descomposición a valores de pH alto refleja la complejidad de la interacción de los factores, incluyendo cambios en las especies vegetales, y por tanto, en la cantidad y calidad del matillo. Independientemente de las especies vegetales y las causas de acidificación del suelo, bajos valores de pH tienden a estar asociados con bajas tasas de descomposición (Mendiara, 2012).

Contenido de arcillas

Los materiales arcillosos reducen la tasa de degradación de materia orgánica, incrementando el contenido orgánico en el suelo. Además, con un nivel de humedad moderada, los materiales arcillosos mejoran la acumulación de la materia orgánica del suelo, capturándola y quedando menos accesibles al ataque de enzimas microbianas y aprisionando dichas enzimas, reduciendo su efectividad para degradar sustratos. Esta captura se produce por la alta densidad de zonas cargadas negativamente en los minerales arcillosos, que atraen las cargas positivas de la materia orgánica, reduciendo la velocidad de descomposición (Mendiara, 2012).

2.7.2.4 Alteraciones del suelo

Los cambios en el suelo promueven la descomposición aireando y exponiendo nuevas superficies al ataque microbiano. El mecanismo de alteración se produce a diferentes escalas, desde el movimiento de gusanos hasta la labranza de suelos agrícolas. La ruptura de los agregados del suelo deja la materia orgánica expuesta al oxígeno y la colonización microbiana (Mendiara, 2012).

La conversión de tierras forestales y pastizales a superficie arable ha supuesto una pérdida significativa del carbono orgánico previamente almacenado en el suelo y una liberación a la atmósfera de CO₂. En las últimas décadas se ha demostrado que determinadas prácticas agrícolas puede ayudar en gran medida a disminuir las emisiones de GEI. El laboreo de conservación es una práctica con un impacto beneficioso en la fijación de carbono, una de las prácticas agronómicas más representativa dentro de la agricultura de conservación es la siembra directa, en ella la supresión de las labores mecánicas sobre el suelo es total (Mendiara, 2012.)

La inversión del suelo por la acción del laboreo altera las condiciones microclimáticas del suelo modificando la temperatura y el contenido de humedad e incrementando la capacidad de aireación; por tanto, el laboreo crea mejores condiciones para la actividad de los microorganismos heterótrofos causantes de la descomposición del carbono orgánico del suelo; además, es causa principal de la rotura de los agregados del suelo por lo que se libera el carbono orgánico que estaba protegido del ataque de los microorganismos (Mendiara, 2012).

2.7.2.5 Composición de la materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) comprende una acumulación de materiales vegetales y restos de animales parcialmente desintegrados junto con otros compuestos orgánicos sintetizados por los microorganismos edáficos (Lal, 2004).

La calidad del carbono de los sustratos del suelo puede condicionar las tasas de descomposición. Así, estas tasas de descomposición pueden verse incrementadas hasta 10 veces en un determinado clima por diferencias en la calidad del sustrato; por ejemplo, las carcasas de los animales se descomponen más rápidamente que las plantas, y las hojas más rápidamente que la madera, a su vez, las hojas de vegetación caduca tienen una tasa de descomposición mayor que las de hoja perenne (Mendiara, 2012).

Tanto la calidad como la edad de la materia orgánica del suelo influyen en la velocidad de la descomposición. Conforme los residuos presentes se descomponen, la tasa

decae porque los microorganismos consumen primero los sustratos más lábiles, dejando progresivamente más componentes recalcitrantes en el resto. A través de la fragmentación y estas alteraciones químicas, dichos residuos se convierten en MOS. Conforme los microorganismos mueren, la quitina y otras sustancias recalcitrantes procedentes de su pared celular pasan a formar parte del mantillo aumentando su proporción y produciendo compuestos húmicos recalcitrantes. La descomposición de la materia orgánica aumenta en respuesta a la adición de nitrógeno, principalmente cuando la materia orgánica consiste en carbono lábil (Lettens *et al.*, 2005).

En la rizósfera, microambiente formado por la interacción entre raíces de las plantas y microorganismos del suelo, la descomposición es más rápida ya que las raíces secretan carbohidratos y absorben nutrientes, por lo que el proceso se acelera. El crecimiento de los microorganismos en la zona de exudación se facilita por la disponibilidad de carbono. La descomposición de la rizósfera, a su vez, se produce más rápido en suelos con bajos niveles de lignina (Mendiara, 2012).

La comparación del stock de carbono en suelos bajo uso agrícola y forestal ha mostrado, generalmente, que los suelos forestales contienen más carbono que los suelos agrícolas (Lettens *et al.*, 2005). Entre las actividades que pueden afectar a la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo es la aplicación de residuos orgánicos en los suelos agrícolas (Smith *et al.* 2000; Lal 2004), aumentando a la vez el nivel de materia orgánica.

En el caso del CO₂, el tipo de fertilizante (orgánico o inorgánico) tienen gran influencia en los flujos (Ding *et al.*, 2009). La aplicación de nitrógeno mineral generalmente incrementa el flujo de CO₂ (Iqbal *et al.*, 2009), aunque varios autores han demostrado que con una tasa alta de fertilización los flujos de CO₂ disminuyen, probablemente porque provoca una menor actividad de enzimas (DeForest *et al.*, 2004).

Los fertilizantes nitrogenados orgánicos, como los purines, incorporan nitrógeno y carbono, que generalmente incrementan las emisiones de CO₂, aunque la tasa de mineralización y por tanto, los flujos de CO₂ también dependen de la composición. Los

purines, debido a su alto porcentaje de carbono orgánico lábil, generalmente incrementan las emisiones justo después de su aplicación (Bol *et al.*, 2003).

2.8 Ciclo del carbono

El carbono, es un elemento esencial para el crecimiento de plantas, se obtiene de la atmósfera por medio de la fotosíntesis; sin embargo, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son descompuestos por los organismos vivos. La MOS es por tanto la suma de los residuos orgánicos (animales y plantas) en diferentes grados de descomposición.

La MO mejora la calidad del suelo, ayuda a prevenir la escorrentía, incrementa su humedad y contribuye a moderar las fluctuaciones diarias de temperatura en las capas superiores del suelo. La materia orgánica del suelo también funciona como un enorme almacén de carbono: se estima que los organismos vivos suponen aproximadamente un cuarto de todo el carbono de los ecosistemas terrestres, mientras que los otros tres cuartos están almacenados en la MO contenida en los suelos (Lessard *et al.*, s.f.).

El carbono del suelo no se acumula para siempre, se libera del suelo cuando la MO es descompuesta por varios tipos de organismos aerobios que usan el carbono para su propio crecimiento. Dentro del ciclo del carbono en el cual el CO₂ es protagonista, la actividad microbiana y la respiración de las raíces son las principales fuentes de producción de CO₂. Una vez liberado a la atmósfera es fijado a través de la fotosíntesis y se almacena en el suelo como materia orgánica, el cual es usado nuevamente por los microorganismos como sustrato, oxidando el C en el suelo a CO₂ (Imagen 1) (Arenas, 2015).

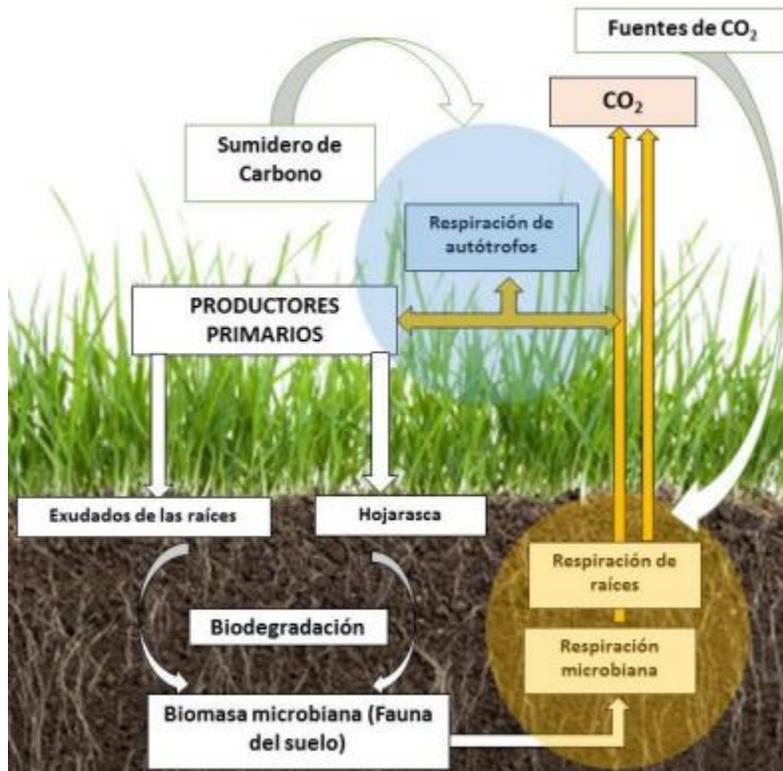


Imagen 1: Ciclo del CO₂ en el suelo y sus transformaciones (Arenas, 2015).

La producción de CO₂ en el suelo depende de la velocidad de descomposición la cual está determinada por la cantidad y calidad de los sustratos orgánicos, la dinámica de las poblaciones de los diversos grupos descomponedores, y el entorno físico-químico del suelo como la humedad, la temperatura, el oxígeno, la acidez, el potencial redox entre otras variables (Smith *et al.*, 2003)

Como se mencionó anteriormente, la producción de CO₂ está mediada por la respiración y actividad de la biota en el suelo, pero se debe tener en cuenta que estos procesos varían según el ecosistema, los cuales se caracterizan por poseer una variabilidad temporal y espacial específica. Incluso, dentro de suelos de un mismo ecosistema se presenta una heterogeneidad espacial alta (Fang *et al.*, 1998), igualmente se presentan variaciones a través de pequeñas escalas de tiempo como fluctuaciones nictemerales de cambios estacionales en ecosistemas templados (Xu y Qi, 2001, Han *et al.*, 2007)

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la principal fuente de emisiones netas de CO₂ en la atmósfera es la de los procesos erosivos y oxidativos asociados a los cultivos agrícolas y sus prácticas agrícolas que alteran el balance a largo plazo de C y N orgánico del suelo (Brito *et al.*, 2009; Muñoz *et al.*, 2010).

2.9 Procesos de emisión y absorción de CO₂

Cambios en el uso de la tierra y las prácticas de manejo del suelo pueden alterar el intercambio de C y N entre la atmósfera y el suelo, sobre el suelo y la biomasa subterránea (Zhang *et al.*, 2012). Por otro lado la deforestación, el cambio de uso de suelo, así como el manejo del suelo son eventos que influyen sobre los procesos de mineralización y modifican la liberación de CO₂ y de otros gases que participan en el cambio climático (Cruz-Ruiz *et al.*, 2012).

El cambio de uso de suelo tendrá fuertes repercusiones ambientales, ya que generará modificaciones en las propiedades de los suelos afectados. Así, cuando un suelo forestal se transforma en agrícola este, se rotura, se mineraliza la materia orgánica e incrementa la emisión de CO₂; en contraste, cuando un suelo agrícola se reforesta se produce un secuestro del C, pasando el CO₂ a formar parte de la materia orgánica del suelo. Con esto el suelo ejerce un papel regulador del ciclo del carbono y el tipo de manejo y uso afecta a su comportamiento y determina que suelos se comportan como sumidero o fuente de carbono (Zhang *et al.*, 2012).

En el manejo convencional del suelo, de origen forestal, que se destina a la agricultura se emplean prácticas de manejo como la labranza, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, que favorecen los rendimientos, pero también alteran las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Ogle *et al.* 2005); por lo tanto, la identificación de las fuentes y sumideros de GEI se ha convertido en un foco de investigación importante en los ecosistemas terrestres.

2.10 La agricultura como sumidero de CO₂

El efecto del cambio global en la agricultura está siendo ampliamente estudiado (Mota-Cadenas *et al.*, 2010; Pardue 2010; Sainju *et al.*, 2012). La agricultura en muchas regiones del mundo tiene un papel importante en la economía de varios países, más aún si todas las actividades indirectas generadas como resultado de la industria de la agricultura se tienen en cuenta. El clima, junto con la adopción generalizada de prácticas agrícolas respetuosas del ambiente, aumenta notablemente la importancia remunerativa de este sector (Mota-Cadenas *et al.*, 2010).

La adopción de buenas prácticas agrícolas y la agricultura sostenible (como no eliminar del suelo los restos vegetales de los cultivos, uso de cantidades exactas de fertilizantes y abstenerse de la quema de la poda de cultivos y depender menos de arado) detendría la liberación de millones de toneladas de GEI (Paustian *et al.*, 2000). Debido a esto, se está creando un código de buenas prácticas agrícolas para ayudar a proteger el suelo, gestionando la MO y estructura del suelo y la conservación de los hábitats, tierras de cultivo y pastos permanentes.

Este cambio en el modelo agronómico es necesario para tener un saldo positivo de CO₂ en las zonas agrícolas en que la producción de energía renovable se ha estudiado (Gerin *et al.*, 2008). Con una formación y preparación adecuada, este sector puede ayudar a mitigar la emisión de gases nocivos a través de la adaptación de las técnicas de la agricultura, la promoción de la metodología respetuosa del ambiente y el uso más eficiente de los recursos en maquinaria agrícola, lo que lo convierte en definitiva, más eficiente en todo.

El almacenamiento de carbono en los suelos y en los ecosistemas terrestres puede contribuir a mitigar el cambio climático; además, de ayudar a reforzar la seguridad alimentaria gracias al aumento del rendimiento agrícola y la eficiencia de los insumos. Mediante la puesta en marcha de una serie de prácticas agrícolas adecuadas; por ejemplo, siembra sin labranza junto con cubrición del suelo y cultivos de cobertura,

técnicas de gestión integrada de los nutrientes para crear una buena planificación de nutrientes, uso de carbón vegetal, rotaciones complejas de cultivos, recolección de agua y reciclado mediante riego por goteo y por surcos, sería posible capturar en el suelo entre 200 y 1000 kg de carbono por hectárea y año, con un potencial total de 1000 millones de toneladas en Europa Occidental. La capacidad total de absorción de carbono de los ecosistemas terrestres podría reducir la concentración de dióxido de carbono atmosférico en unas 50 ppm (Jean-Pascal, 2009).

2.11 Prácticas de manejo

Existe poca información acerca de cómo el potencial de calentamiento global (GWP) se ve afectada por las prácticas de manejo de los suelos (Sainju *et al.*, 2013). En las últimas décadas, las prácticas de gestión agrícola, como el riego, la labranza, sistemas de cultivo y la alta tasa de fertilización nitrogenada para mejorar el rendimiento de los cultivos han resultado en la degradación de la calidad del suelo y del ambiente mediante el aumento de la erosión y la lixiviación de los nutrientes en el agua subterránea y la liberación de GEI, como el dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O), que causan el calentamiento global de la atmósfera por la oxidación de la MOS (Sainju *et al.*, 2003).

Cuando se ara la tierra, los residuos orgánicos frescos son intensamente mezclados en la capa superior del suelo. Bajo estas condiciones, la actividad microbiana se acrecienta, lo que trae como consecuencia que la mayor parte del carbono orgánico del suelo se convierte en CO₂ atmosférico. También hay una pérdida neta de carbono cuando los campos se dejan a barbecho. Esto es debido en parte al aumento de la temperatura y la humedad del suelo, que aceleran la descomposición, y también al hecho de que no se añade carbono al suelo el año en el que no hay cultivo.

Las prácticas de manejo afectan indirectamente a las emisiones de CO₂ y N₂O mediante la alteración de la temperatura del suelo y el contenido de agua debido a que estos parámetros están directamente relacionados con las emisiones de GEI (Liebig *et*

al., 2010). La labranza puede secar el suelo a través de una mayor evaporación, mientras que la siembra directa puede conservar el agua del suelo y reducir la temperatura debido a la disminución de la alteración del suelo y el aumento de la acumulación de residuos en la superficie del suelo (Al-Kaisi y Yin, 2007). Del mismo modo, el riego en los suelos puede aumentar las emisiones de CO₂ en comparación con los suelos sin riego, aumentando la disponibilidad del agua del suelo, la actividad microbiana, la mineralización de C y la respiración (Calderón y Jackson, 2002).

La humedad del suelo y la temperatura son otros factores importantes que controlan las emisiones de CO₂ del suelo y tienen impacto sobre la emisión y la absorción de los gases a través de sus efectos sobre los microorganismos y la actividad de la raíz. Las tasas de los procesos químicos y microbianos generalmente aumentan exponencialmente con la temperatura, siempre que otros factores (sustrato, humedad) no son limitantes (Meixner y Yang, 2006). En condiciones secas los flujos de CO₂ del suelo es menor porque la actividad de los microorganismos es típicamente baja. El aumento de la humedad del suelo normalmente aumenta la bio-actividad en el suelo; por lo que un mayor contenido de humedad en el suelo normalmente suele causar un aumento en la respiración del suelo (Ni *et al.*, 2012).

La temperatura del suelo es la que mejor predice la dinámica de la tasa de flujo de CO₂ del suelo. La alta correlación positiva entre las emisiones de CO₂ y la temperatura del suelo se encontró en los ecosistemas naturales y agrícolas de la zona de la taiga rusa (Kudeyarov y Kurganova, 1998). En un ecosistema de pastizales nativos de Canadá la temperatura disminuyó en asociación con la reducción de la humedad del suelo; mientras que Schauffer *et al.*, (2010), reportaron un aumento en la emisión de CO₂ conforme incrementaba la temperatura.

Las prácticas de manejo que pueden aumentar la captura de carbono del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero son: sin labranza, rotación de cultivos diversificados, el aumento de la intensidad de cultivo, cultivos de cobertura y la reducción de la tasa de fertilización nitrogenada (Robertson y Grace, 2004).

Las prácticas correctas de manejo del suelo ayudan a conservar la MOS, revertiendo así la tendencia de los suelos a liberar su carbono a la atmósfera. Una de estas prácticas es la agricultura sin labranza, que consiste en sembrar un cultivo sobre los residuos de la cosecha del año anterior. Diferentes estudios muestran que el establecimiento de una cubierta vegetal permanente también contribuye a mantener el carbono en el suelo, además de reducir el consumo de combustibles fósiles. La práctica de un buen manejo de la tierra es otro método de reducción de la concentración de GEI en la atmósfera, por medio del almacenamiento de dióxido de carbono en el suelo como MO (Robertson y Grace, 2004).

3. HIPÓTESIS

Las prácticas de manejo que se le dan a cada cultivo (rosa, clavel, jitomate, fresa) bajo invernadero causan un impacto en las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo; por lo que, la cantidad de CO₂ que se desprende de la actividad microbiana del suelo aumentara o disminuirá de acuerdo a la práctica de manejo de cada cultivo.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Evaluar las emisiones de CO₂ en diferentes tipos de cultivo (rosa, clavel, fresa y jitomate) bajo invernadero, para evaluar la eficacia de los diferentes manejos que se le dan al suelo, sobre el desprendimiento del CO₂ atmosférico.

4.2 Específicos

Evaluar el impacto del manejo en cultivos diferentes (rosa, clavel, jitomate, fresa) sobre las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo.

Evaluar el efecto del manejo del cultivo sobre la cantidad de CO₂ que emite, para determinar que cultivo se comporta como emisor o sumidero de carbono.

Correlacionar las propiedades físicas, químicas y bioquímicas con la cantidad de CO₂ que se desprende del suelo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción de la zona de estudio

El estudio fue llevado a cabo en invernaderos de la unión de floricultores “Los Morales” (Imagen 2) la cual se encuentra en el municipio de Tenancingo, al sureste de la ciudad de Toluca en el Estado de México. En las coordenadas 18° 58' Lat N, 99° 36' Long W y 1842 msnm. La temperatura oscila entre los 12 y 22 °C y presenta un clima templado con verano fresco y largo Cb (w_2) (w). Actualmente 57.72% de su suelo se explota con rubros florícolas, principalmente rosa, clavel, agapando, lilis, orquídeas, alcatraces, gerbera, estatices, gladiola (INEGI, 2012).



Imagen 2: Polígono de los invernaderos donde se llevó a cabo el estudio (INEGI, 2012).

Los suelos predominantes en la zona se clasifican taxonómicamente como Andosoles de textura franco arenosa (F-Ar), con un intervalo de pH entre 6 y 8, conductividad eléctrica moderadamente salina y un porcentaje de materia orgánica alto (4-6 %).

5.2 Manejo de los cultivos y el suelo (información obtenida de las personas encargadas del invernadero)

Por tratarse de cultivos que permanecen varios años en producción, debe presentarse especial atención a la preparación del terreno y a la plantación. El suelo ha de labrarse en profundidad de 20 a 40 cm, y recurren a la fertilización tanto química como orgánica, aplicando compuestos como Trazak, Syntek, KTP, Promyl, Fenpropatrin, Zineb, Mancozeb, Atrazina, Metalaxil, Captan, Endosulfán, Abamectina; además, de composta (estiércol de borrego y vaca) 2 o 3 veces cada seis meses. Así mismo, fumigan los cultivos 2 o 3 veces por semana (dependiendo de las necesidades de cada cultivo), usando insecticidas, fungicidas y herbicidas, ya sea en polvo o en líquido y favoreciendo su dispersión mediante técnicas de riego como goteo, aspersión o escurridor. En la tabla 2 podemos ver a detalle la información obtenida de los trabajadores del invernadero.

Tabla 2: Información recopilada de los trabajadores del invernadero sobre las prácticas de manejo que se le dan a los cultivos.

Practica de manejo Cultivo	Duración de cultivo	Riego		Fertilización	Tipos de plaguicidas	Levantamiento de suelo	Rotación de Cultivo	Aplicación de composta
		LLuvias	Sequía					
Rosa	15 años	1 vez por semana	3-4 veces por semana	2-3 veces por semana	Trazak, Bacillus, Azufre, Melaza, Promyl, Syntek y KTP	No	No	Si
Clavel	4-5 años	1 vez por semana	3-4 veces por semana	3-4 veces por semana	Promyl, Syntek y KTP	Si	No	Si
Jitomate	6 meses a un 1 año	1 vez por semana	3-4 veces por semana	2-3 veces por semana	Sporidesmium, Pseudomonas, Bacillus, Calcio, Promyl, Syntek y KTP	No	Si	Si
Fresa	6 meses a un 1 año	1 vez por semana	3-4 veces por semana	3-4 veces por semana	Promyl, Syntek y KTP	No	Si	No

Para el caso del riego el agua es bombeada de pozos a tanques de 1500 litros aproximadamente donde es distribuida por medio de mangueras que se encuentran dispersadas en cada uno de los cultivos. El tiempo y la cantidad de riego van a depender del tipo de cultivo y de las necesidades de este por lo que hay semanas en las que se puede regar diario o cada tercer día.

5.3 Muestreo

El primer muestreo se realizó en el mes de Junio de 2016 (periodo de lluvias), en el cual se muestrearon 13 veces durante los 31 días del mes; mientras que el segundo muestreo se llevó a cabo en el mes de febrero de 2017 (periodo de sequía) en donde se muestrearon 11 veces durante los 28 días del mes. El hecho de que en el periodo de lluvias se muestrearan 13 veces y en el periodo de sequía 11 veces se debe a la disponibilidad y accesibilidad que se permitió trabajar en los invernaderos.

Los suelos estudiados tienen diferentes manejos florícolas: 1- campos agrícolas con más de 12 años continuos cultivando rosa (R), 2- campos agrícolas con más de 4 años continuos cultivando clavel (Cl) y 3- campos agrícolas con rotación de cultivos jitomate y fresa (J y F). En los cuatro tipos de cultivo la siembra directa fue el sistema predominante.

El muestreo se llevó a cabo en tres camas de 50x5 m cada una (en una cama se cultiva rosa, en la otra clavel y en la última se rotan cultivos de jitomate y fresa). Para fines del estudio se utilizó un muestreo preferencial. Para la determinación de los parámetros físicos, químicos y bioquímicos del suelo se obtuvieron 4 muestras compuestas de cada cultivo (para cada periodo) en los primeros 20 cm de suelo. Las muestras de suelo fueron transportadas al laboratorio donde se secaron al aire a temperatura ambiente y posteriormente se tamizó a través de un tamiz de 2 mm para retirar el material de la planta y las partículas grandes para la determinación de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT- 2001.

Propiedades físicas del suelo

•Textura por el método de Bouyoucos AS-09. Se elimina la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes de calcio y magnesio. No se eliminan otros cementantes como carbonatos.

•Densidad Aparente “Método de la probeta”. Se calcula a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total.

Propiedades químicas de suelo

•pH en agua relación 1:2.5 método AS-02. El pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo 1:2

•Conductividad eléctrica (CE) método AS-18. Se determina la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.

•Materia orgánica (MO) del suelo método AS-07, de Walkley y Black (1947). Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una solución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado.

•Nitrógeno inorgánico del suelo, método AS-08. Se basa en la extracción del amonio intercambiable por el equilibrio de la muestra de suelo con KCl 2 N y su determinación por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de MgO. La adición de la aleación de Devarda permite incluir la determinación de nitratos y nitritos.

Propiedades Bioquímicas del Suelo

La determinación de estos parámetros se realiza por triplicado para cada muestra y los valores presentados en las tablas son los promedios para cada cultivo.

•Carbono de la Biomasa Microbiana por el método de Fumigación-Extracción (Vance et al., 1987). La fumigación con cloroformo provoca la muerte de las células microbianas del suelo por la ruptura de las membranas celulares, con lo que el

contenido citoplasmático de las células microbianas es vertido al suelo, de donde puede ser extraído con K_2SO_4 0,5 M y ser cuantificados los distintos componentes del mismo (C, N, P, etc).

- Respiración por el método de Nannipieri (1995). Se basa en la medición de la liberación de dióxido de carbono por bacterias, hongos, algas, protozoos.

5.4 Determinación del CO_2 mediante la técnica de respiración modificada in situ

La evolución del CO_2 de un suelo es una medida de la actividad biológica total del suelo y la determinación de la respiración basal se realizó según el método descrito por Alef y Nannipieri (1995) mediante la utilización de una trampa álcali de NaOH 0,1 N y por titulación con HCl 0,1 N en presencia del indicador fenolftaleína.

Para fines del estudio se realizaron algunas modificaciones al método; el cual se realizó in situ y para atrapar el CO_2 que se produce de la actividad microbiana, se utilizaron cámaras cerradas (Imagen 3), las cuales fueron modificadas del diseño original (Liao et al., 2012).



Imagen 3: Cámaras cerradas que se ocuparon para evitar que el CO_2 que se produce de la actividad microbiana del suelo se fuera a la atmósfera.

Para cada cultivo (rosa, clavel, jitomate, fresa) se colocaron cuatro cámaras para cada día de muestreo. Dentro de cada cámara se colocaron 3 frascos cada uno con una trampa álcali de NaOH (Imagen 4) al 0.2 N para el cultivo de rosa, clavel, fresa y 0.5 N

para jitomate. Cada frasco contenía 10 ml de NaOH y el CO₂ liberado de la actividad microbiana se recupera en los frascos con el NaOH. Para el caso de los controles se instalaron cámaras de control de la misma manera que las otras, salvo con las siguientes excepciones; tender una tabla sobre la superficie del suelo, para que actúe como una barrera entre el suelo y el recipiente de NaOH. Colocar frascos los frascos con la trampa álcali sobre la tabla y montar la cámara de PVC sobre los frascos, sellando los bordes a la tabla por medio de cinta.



Imagen 4: Frascos con una trampa álcali de NaOH para atrapar el CO₂ que se produce de la actividad microbiana del suelo.

Los muestreos del CO₂ se realizaron cada tercer día. Para fines del estudio el tiempo de espera para que el CO₂ se acumule dentro de la cámara siempre fue de 9:00 a.m. a 3:00 p.m. para evitar alteraciones del flujo de CO₂ causadas por la alteración de las condiciones en el interior de la cámara. Después de estas seis horas de espera se estableció titular el NaOH con HCl al 0.2 N y fenolftaleína como indicador para conocer la cantidad de CO₂ liberado de la actividad microbiana del suelo de cada cultivo.

5.5 Cálculos para obtener el CO₂

El NaOH que se incubó en frascos durante seis horas, este fue recogido y titulado con HCl para determinar el contenido de CO₂.

Concentraciones de CO₂ en las muestras:

Se usa un factor de conversión de 22 para calcular la cantidad en miligramos de CO₂ absorbido en el frasco con la trampa álcali de NaOH. El volumen de NaOH en el frasco fue de 10 ml y el volumen usado para cada valoración fue de 2 ml. Estos valores se introducen en la ecuación:

$$QCO_2 = (T-C) (N) (E) (V_{tr}/V_{ti})$$

Dónde:

T= blanco

C= HCl gastado en cada una de las muestras

N= normalidad del HCl

E= factor de conversión

V_{tr}= Volumen de NaOH en el frasco

V_{ti}= Volumen de NaOH en la valoración

La respiración del suelo se calcula como la tasa de producción de CO₂ por superficie durante un periodo de tiempo dado y se define como flujo de CO₂ (mg/m²/hr).

El flujo CO₂ del suelo

El diámetro de la apertura de la cámara de PVC era de 16.1 cm, o 0.161 m, por lo que la superficie expuesta es de $A = (\pi) (0.161/2)^2$. Como el tiempo de incubación fue de 6 horas, el flujo es:

$$FCO_2 = QCO_2 / (A) (6)$$

5.6 Análisis estadístico

Se realizó estadística descriptiva para la elaboración de gráficos y tablas de las variables que se determinaron (emisión de CO₂, temperatura, humedad), así también de los parámetros fisicoquímicos y bioquímicos del suelo de los 4 cultivos en las dos temporadas (lluvias y sequía). Se aplicó una prueba de ANOVA, luego se prosiguió con la prueba de comparación múltiple (LSD) para determinar las diferencias entre los cultivos. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa STATGRAPHICS Centurion XV.II, utilizando un nivel de confianza del 95%.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Emisiones de CO₂

Los resultados observados evidencian que el manejo (riego, labranza, rotación, levantamiento de suelo y uso de plaguicidas) que se le da a cada cultivo, tuvo un efecto significativo sobre la actividad biológica del suelo (independientemente de la temporada de muestreo), al observarse aumentos y disminuciones de CO₂ una vez que se realizaba algún tipo de manejo (Figura 1).

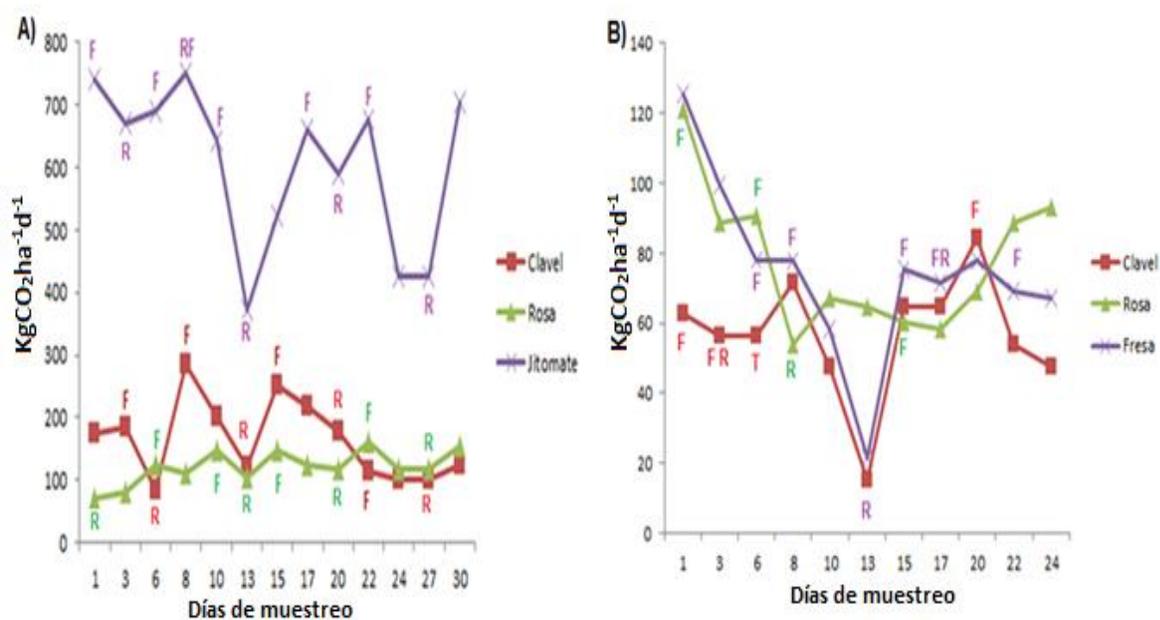


Figura 1: Comportamiento del CO₂ que se desprende de cada cultivo dependiendo del manejo que se les da y del mes de muestreo. Fertilización (F), Riego (R), Levantamiento de tierra (T). Primer muestreo (periodo de lluvias) (A). Segundo muestreo (periodo de sequía) (B).

El comportamiento del CO₂ mostró una variación estacional, con mayores flujos de CO₂ en el primer muestreo (periodo de lluvias) y flujos de CO₂ más bajos en el segundo muestreo (periodo de sequía) (Figura 1). Esto concuerda con los resultados de Muñoz *et al.*, (2011), los cuales encontraron que la tasa de respiración se veía influenciada por las variaciones estacionales, principalmente de las condiciones de temperatura y humedad del suelo. Así mismo Sainju *et al.* (2011), observaron que los flujos de CO₂ en una granja al oeste de Sidney varió con los tratamientos (cebada y avena con

diferentes prácticas de manejo) y fechas de medición encontrando un aumento de CO₂ en los meses de Marzo-Junio debido al aumento de temperatura, seguido por una disminución de CO₂ en los meses de Noviembre-Enero.

6.1.1 Primer muestreo (periodo de lluvias)

Para el primer muestreo (periodo de lluvias), los valores más altos de CO₂ variaron entre 750 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹ en el cultivo de jitomate, 285 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹ en el cultivo de clavel y 162 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹ para el cultivo de rosa, existiendo diferencias significativas (p<0.05) entre las tasas de respiración del cultivo de jitomate respecto a las de los cultivos de rosa y clavel (Figura 2).

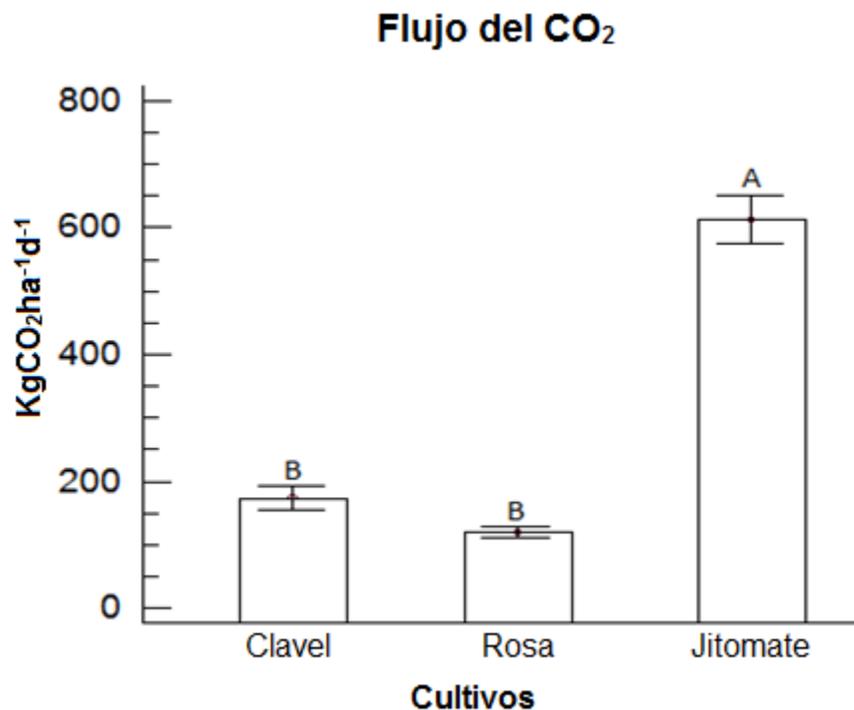


Figura 2: Flujo del CO₂ que se desprende de cada cultivo, para el primer muestreo (periodo de lluvias). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre cultivos (p<0.05).

Los valores más altos de CO₂ se encontraron en el cultivo de jitomate (750 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹), lo cual indica que en este cultivo existe una mayor actividad de los microorganismos del suelo. Este aumento en las emisiones de CO₂ probablemente es el resultado del manejo de rotación que se le da a este cultivo, así como el mayor

porcentaje de humedad y temperatura en el suelo, por lo que existe un aumento de la actividad microbiana y la mineralización de los residuos del cultivo. Estos resultados coinciden con los reportados con Sainju *et al.*, (2012), los cuales mencionan que la labranza puede aumentar las emisiones de CO₂ al aumentar la aireación debido a la alteración de los agregados del suelo en comparación con la labranza cero.

Los valores menores de emisión de CO₂ encontrados en el cultivo de rosa (162 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹), podrían ser atribuidos a los mayores niveles de salinidad en este cultivo (Tabla 3), que de alguna manera influyen en la inhibición de la descomposición de la MO del suelo lo cual podría traducirse en una disminución en la emisión de CO₂, tal como lo señalan Qadir *et al.* (2003) y Mogollón *et al.* (2010).

Para los primeros seis días se observó que el clavel y el jitomate presentaron un decremento en la cantidad de CO₂ que se desprendió de la actividad microbiana en comparación con la rosa (Figura 3), probablemente esta disminución es resultado de la utilización de plaguicidas; estos valores fueron similares con los reportados con Rodríguez *et al.*, (2009), e indican que la disminución de la respiración es producto al efecto inhibitorio de los plaguicidas sobre las poblaciones microbianas lo cual se traduce a una menor actividad biológica.

En el caso de la rosa los resultados indican que para los primeros días el aumento de la respiración (Figura 3) es producto de una mayor actividad microbiana dado que durante estos días no se aplicó ningún tipo agroquímicos en este cultivo y por lo tanto las poblaciones microbianas no se ven afectadas por la presencia de plaguicidas.

En los días en que se aplicó algún tipo de agroquímicos (Trazak, Syntek, Bacillus, NPK, Promyl) a los cultivos (día 1, 3, 8, 10, 15,17 y 22), hubo una disminución en el flujo de CO₂. Estos resultados coinciden con lo reportado Al-Kaisi *et al.*, (2008), los cuales encontraron que la fertilización y en especial la fertilización nitrogenada puede reducir el flujo de CO₂ en comparación con los cultivos donde no se aplica fertilización, probablemente debido a la reducción del pH del suelo. Otros mecanismos por los que podría haber reducido el flujo de CO₂ es la disminución de temperatura del suelo y el

contenido del agua en el suelo; porque las emisiones de CO₂ se relaciona con estas dos variables (Amos *et al.*, 2005; Sainju *et al.*, 2008).

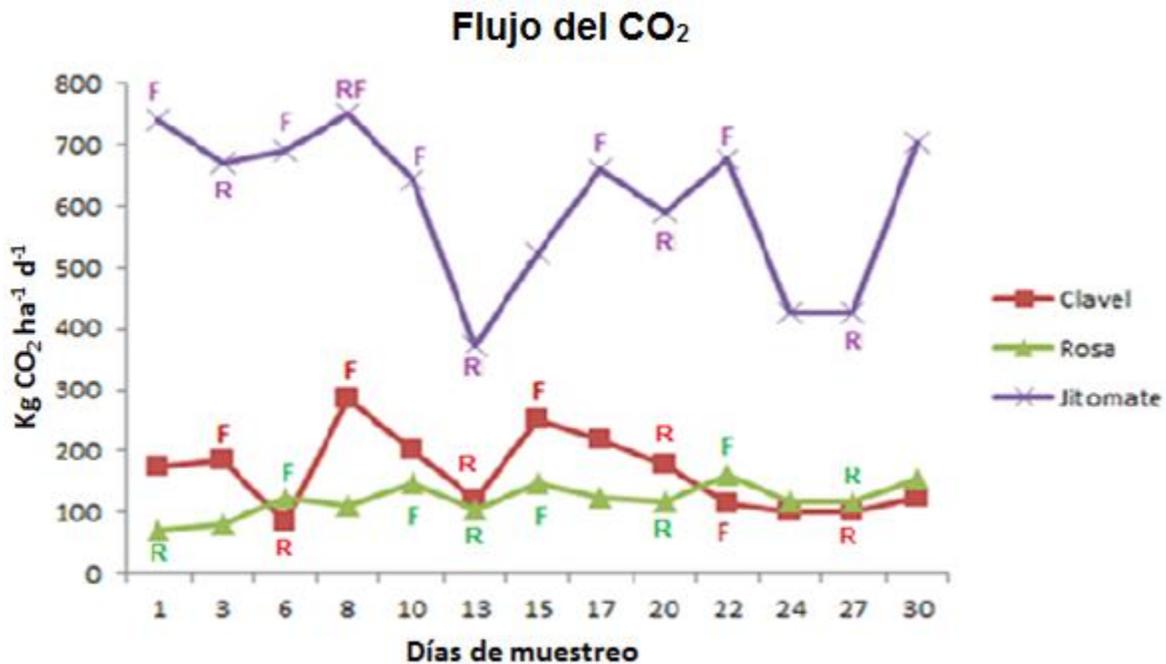


Figura 3: Comportamiento del CO₂ que se desprende de cada cultivo dependiendo del manejo que se les da. Fertilización (F), Riego (R). Primer muestreo (periodo de lluvias).

Por otro lado, en los días en los que se regaron los cultivos ya fuera antes o durante el muestreo, la emisión de CO₂ aumentó, coincidiendo con lo reportado por Calderón y Jackson (2002), quienes encontraron que el riego en los suelos puede aumentar las emisiones de CO₂ en comparación con los suelos sin riego, ya que el riego aumenta la disponibilidad del agua del suelo, la actividad microbiana, la mineralización de C y la respiración de las raíces debido al aumento del contenido de agua del suelo.

6.1.2 Parámetros físico-químicos del suelo

La clase textural del suelo utilizado en el experimento fue de tipo Franco arenoso (F-Ar); en este sentido, se espera que las diferencias encontradas en las variables químicas se deban a condiciones de manejo y no a diferencias de sitio. Los valores de

la densidad aparente oscilan entre 0.89 ± 0.003 , 0.96 ± 0.04 y 0.99 ± 0.03 g/cm³ para rosa, clavel, jitomate respectivamente (Tabla 3).

6.1.2.1 Conductividad eléctrica

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre la CE de los cultivos; siendo el cultivo de rosa con el valor más alto (2.48 ± 1.08 $\mu\text{S m}^{-1}$) el cual es moderadamente salino de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2001. Un valor alto (4.1-8) de salinidad lo que podría estar evidenciando es un proceso de salinización en el suelo Mogollón *et al.* (2015).

Tabla 3: Propiedades físicas y químicas del suelo bajo diferentes cultivos en Tenancingo, Estado de México.

Parámetro	Cultivos		
	Rosa	Clavel	Jitomate
Clase	F-Ar	F-Ar	F-Ar
Textural			
DA (g/cm ³)	$0.89 \pm 0.003^{\text{B}}$	$0.96 \pm 0.04^{\text{A}}$	$0.99 \pm 0.03^{\text{A}}$
pH	$6.72 \pm 0.12^{\text{C}}$	$7.53 \pm 0.02^{\text{A}}$	$7.21 \pm 0.26^{\text{B}}$
CE (dSm ⁻¹)	$2.48 \pm 1.08^{\text{A}}$	$0.37 \pm 0.08^{\text{B}}$	$1 \pm 0.51^{\text{B}}$
MO (%)	$2.99 \pm 0.43^{\text{A}}$	$3.10 \pm 0.53^{\text{A}}$	$1.74 \pm 0.14^{\text{B}}$

Promedio \pm Desviación Estándar. DA. Densidad aparente. CE: Conductividad eléctrica; MO: Materia orgánica. Letras diferentes en el mismo renglón denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Estos resultados pueden estar asociados con el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos, ya que en este cultivo existe una mayor aplicación de agroquímicos sobre el recurso suelo lo que coincide con lo reportado con Mogollón *et al.* (2015), quienes encontraron que las excesivas actividades de mecanización y las altas dosis de productos químicos es lo que pudiera estar ocasionando un incremento de salinización;

ya que se plantea, que la adición de fertilizantes químicos al suelo, puede incrementar la presencia de sales con sus iones respectivos, dando como resultado mayores valores de CE y originando problemas de salinización.

6.1.2.2 pH

Como puede verse en la Tabla 3, los cultivos de rosa (6.72 ± 0.12) y jitomate presentaron (7.21 ± 0.26) un pH neutro, mientras que el cultivo de clavel (7.53 ± 0.02) presento un pH medianamente alcalino (NOM-021-RECNAT-2001). Los resultados muestran que hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los cultivos.

Comúnmente, valores de pH entre 6.0 y 7.0 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Pero cabe mencionar que en interpretación específicas para un sitio, con respecto a la calidad del suelo, dependerán del uso específico y la tolerancia de los cultivos, por lo cual se podría delimitar un pH óptimo para cada especie cultivada (Luters y Salazar, 2000).

Sin embargo el pH del suelo se ve afectado por las prácticas agrícolas (principalmente el uso de agroquímicos) que pueden producir cambios importantes en las propiedades químicas de este, especialmente a nivel superficial. Así por ejemplo, la adición de nitrógeno amoniacal, produce una acidificación del suelo.

6.1.2.3 Materia orgánica (MO)

La cantidad y la calidad de la MO presentan un rol fundamental en el funcionamiento y la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios debido a que impacta significativamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los resultados muestran que hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los cultivos (Figura 4). El cultivo de clavel tuvo el porcentaje más alto de MO (3.1%); mientras que, los cultivos de rosa y jitomate presentaron valores más bajos (2.99% y 1.74%).

La MO presente en los suelos se clasificó según Stevenson (1982), como deficiente; sin embargo, el porcentaje de MO presente en los cultivos es adecuado y coincide con lo reportado por (Andrades y Martínez, 2014), quien menciona que el rango de MO en suelos con textura arenosa va de (0.7%-2.2%).

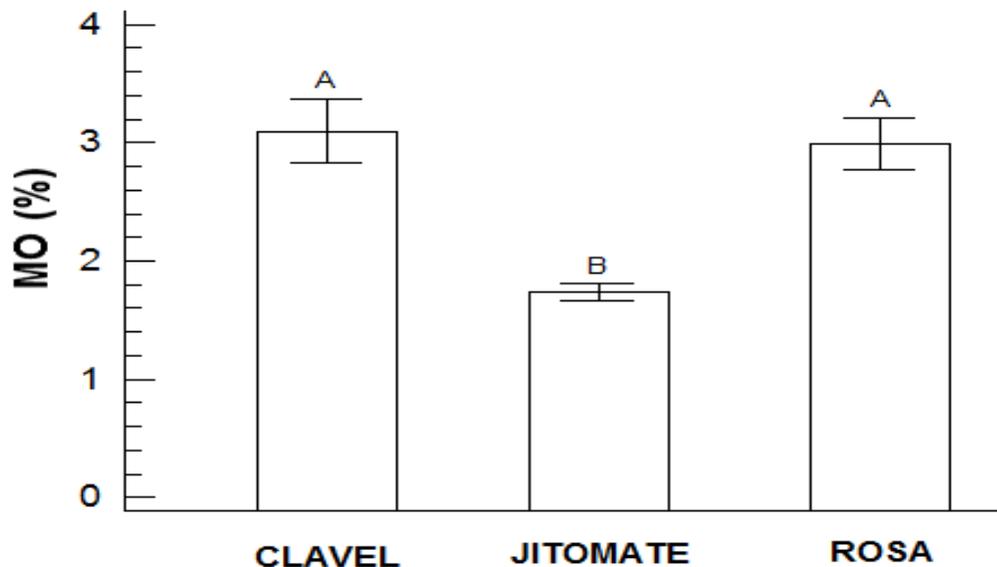


Figura 4: Contenido de materia orgánica (MO) en suelos utilizados en el cultivo de flores ornamentales del Municipio de Tenancingo en el primer muestreo (periodo de lluvias). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Al comparar los resultados de los suelos (Figura 4 y 12), se observa un ligero aumento para los cultivos con mayor uso de agroquímicos (rosa y clavel), como consecuencia del uso de plaguicidas que generalmente son sustancias orgánicas (Ramírez, 2009); además a estos cultivos se les adicionó composta antes de realizar el primer muestreo.

6.1.3 Propiedades bioquímicas del suelo

6.1.3.1 Mineralización del Nitrógeno

La mineralización del nitrógeno tiene un papel importante en el ciclo del nitrógeno, ya que convierte el amoníaco a su forma más oxidada de nitrato, que es un ion más fácilmente asimilado por las plantas. El amoníaco se produce naturalmente en la

mineralización de la MO nitrogenada del suelo o se aplica directamente como fertilizante químico.

En la Figura 5, se muestra el contenido de nitrógeno inorgánico para cada uno de los cultivos. En donde el cultivo de Clavel es el que presentó mayor valor de nitrógeno inorgánico (1.19 mg/N 100gss), seguido de los cultivos de rosa y jitomate (1.18 mg/N 100gss y 1.11 mg/N 100gss) respectivamente. De acuerdo a la NOM-021-RECNAT (2001), el porcentaje de N inorgánico total es muy bajo (0-10) y los resultados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los cultivos.

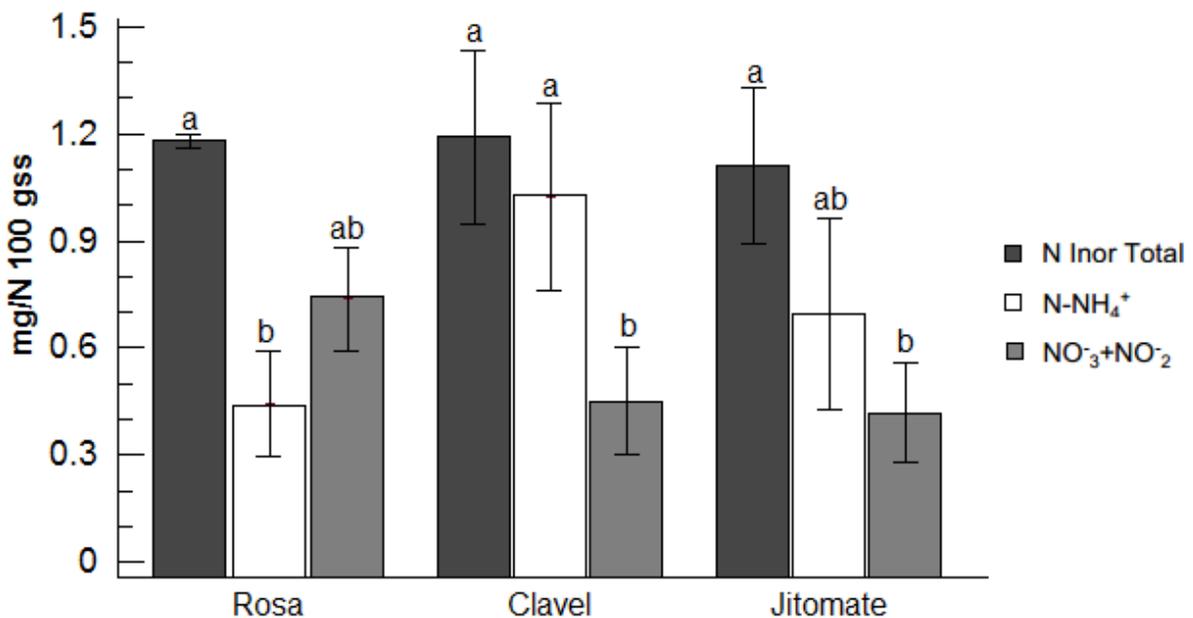


Figura 5: Mineralización del nitrógeno en el suelo utilizado para el cultivo de flores ornamentales durante el primer muestreo (periodo de lluvias). Promedio \pm error estándar, barras con letras diferentes en el mismo color de barra denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Una de las causas por el cual el nitrógeno total es bajo en los cultivos, es porque el nitrógeno se pierde de manera natural por medio de la desnitrificación, mediante este proceso las bacterias convierten los nitratos y nitritos en nitrógeno gaseoso (N_2) y óxido nítrico (NO) y estos se pierden por volatilización. El amoníaco, el nitrito y el nitrato se

presenta en la solución del suelo, lo que facilita su pérdida por lixiviación y por escorrentía (Starr *et al.*, 2008).

Una manera de recuperar los nutrientes es mediante la implementación de formas de cultivo que permitan un mejor reciclado de los nutrientes, por ello los agricultores optan por la rotación de cultivo y aunque se ha observado que la rotación puede conservar el suelo estable y productivo, no es suficiente ya que además de esta práctica también adicionan cierta cantidad de fertilizantes nitrogenados como la urea que al ser aplicada en suelos tiende a acidificar el suelo, lo que favorece la desnitrificación y la volatilización (Starr *et al.*, 2008).

6.1.3.2 Respiración basal

En la Figura 6, se observa la variación de los valores acumulados de la producción microbiana de CO₂ durante un periodo de 9 días bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura. En la gráfica se observa que el cultivo de clavel y rosa presentan la curva más ascendente de producción acumulada de CO₂ mientras que, el cultivo de jitomate presenta la curva menos ascendente; esto podría deberse a que los plaguicidas tienen un efecto significativo sobre la actividad biológica del suelo al observarse incrementos y/o disminuciones en la respiración (Rodríguez, 2009).

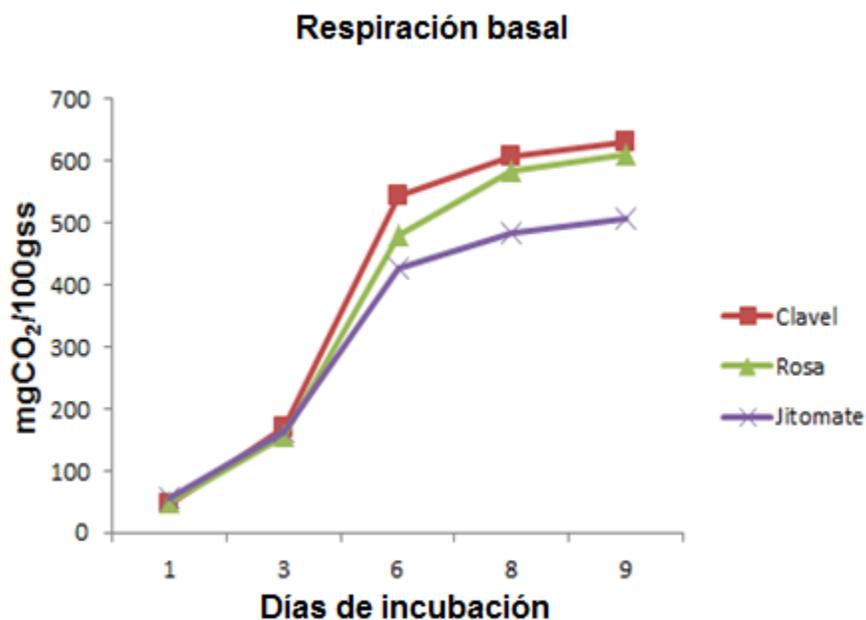


Figura 6: Respiración basal de suelos bajo diferentes cultivos. Temporada de lluvias.

Se observó que para los tres cultivos se incrementa su velocidad de acumulación de CO₂ debido a que la biomasa microbiana tiene nutrientes asimilables. Sin embargo después del día 6, las curvas de acumulación de CO₂ comienzan a diferir y esto se puede explicar según lo reportado por Guñitas (2009), quien menciona que la diferencia en la emisión de CO₂ está relacionada con la actividad biológica de cada suelo; debido a que la actividad de los microorganismos está en función de la cantidad de sustrato mineralizable, disponibilidad de nutrientes y de las diferentes propiedades físicas y químicas de los suelos.

6.1.3.3 Carbono de la Biomasa Microbiana (C-BM)

Los valores de C-BM para los cultivos estudiados muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre el cultivo de jitomate, rosa y clavel (Tabla 4).

Los valores más altos de C-BM se encontraron en el cultivo de jitomate (125.4 mgC/100g ss); mientras que, los más bajos se registraron en los cultivos de rosa (38.9 mgC/100g ss) y clavel (21.7 mgC/100g ss). Esta disminución en el C-BM podría estar asociada a la cantidad de agroquímicos utilizados, y tal como lo señala Rivera *et al.*, (2010), en los agroquímicos no existe una selectividad demostrada sobre los microorganismos que habitan el suelo, en la mayoría de estos productos, considerándose en muchos casos como productos de amplio espectro, por lo cual ocasionan una mayor inhibición en el crecimiento y metabolismo de las poblaciones microbianas en los suelos tratados, cuando se utiliza una gran diversidad de productos químicos; tal y como sucede en los cultivos de clavel y rosa donde existe una gran utilización de agroquímicos; lo cual coincide con lo reportado por Chu *et al.*, (2007), donde señalan que la biomasa microbiana disminuye por la fertilización y esta puede estar causada por la toxicidad directa y la reducción del pH debido a fertilizantes a base de amonio.

Los resultados del C-BM para los suelos de los cultivos de rosa y clavel, reflejan claramente que al ser sistemas de monocultivo existe una disminución del C-BM, indicando que estos sistemas son más intensivos en relación a la aplicación de insumos agrícolas. Esta situación podría ocasionar una disminución de los niveles de biomasa microbiana del suelo, acarreando graves problemas desde el punto de vista de la calidad del suelo y del ciclaje de nutrientes, lo que genera una disminución en la biota del suelo (Chu *et al.*, 2007).

Tabla 4: Propiedades bioquímicas evaluadas del suelo bajo diferentes cultivos bajo diferentes cultivos en Tenancingo, Estado de México.

Parámetro	Cultivos		
	Rosa	Clavel	Jitomate
Respiración basal ($\mu\text{g/g}$)	612 ^A	631 ^A	506.4 ^A
C-Biomasa ($\text{mgC}/100\text{g ss}$)	38.9 ^B	21.7 ^B	125.4 ^A
$q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{C}$ biomasa h^{-1})	19.9	-	5.1

Promedio. Letras diferentes en el mismo renglón denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

6.1.3.4 Cociente Metabólico ($q\text{CO}_2$)

En la Tabla 4 se presentan los valores de cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) de los suelos analizados. Los valores más altos de $q\text{CO}_2$ se registraron en los cultivos de rosa y clavel; esto podría estar asociado a una condición de estrés edáfico, debido a la disminución en la biomasa microbiana activa, que pone en evidencia una mayor demanda de energía y una disminución en la eficiencia metabólica para mantener la integridad de las células bajo condiciones de estrés (Sánchez *et al.*, 2005).

Esta situación pudiera estar indicando que en los suelos bajo cultivos de rosa, fresa y jitomate se estaría presentando un estrés edáfico, producto del proceso de salinización,

lo cual se evidencia en los mayores valores de conductividad eléctrica encontrados en estos cultivos. Tal y como lo menciona Saviozzi *et al.*, (2011), al indicar que el aumento de la salinidad da como resultado una comunidad microbiana más pequeña y estresada, y además menos eficiente en la mineralización del carbono en el suelo, lo que implica que un mayor porcentaje de carbono se pierden como CO₂ a través del aumento de la actividad respiratoria. Además, el aumento del qCO₂ depende del estatus de los nutrientes del suelo, ya que, con la aplicación de fertilizantes o nutrientes aumenta el qCO₂ en situaciones de ambientes no estresados, contrario a un sitio en donde existe un verdadero estrés de nutrientes. Otros factores que pueden ser determinantes en los altos valores de qCO₂ son la concentración de metales pesados, la salinidad o la adición de agentes tenso activos (Bending *et al.*, 2004).

6.1.4 Segundo muestreo (periodo de sequía)

Para el caso del segundo muestreo, los valores más altos de CO₂ oscilan entre 125 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹ en el cultivo de fresa, 121 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹ en el cultivo de rosa y 84 KgCO₂ha⁻¹d⁻¹ para el cultivo de clavel, existiendo diferencias significativas (p<0.05) entre las tasas de respiración del cultivo de rosa respecto a las de los cultivos de fresa y clavel (Figura 7).

Por otra parte, los valores más altos de CO₂ observados en el suelo cultivado con rosa están relacionados al porcentaje de materia orgánica (MO) que está presente en este cultivo (Tabla 4). En este sentido, Sánchez *et al.* (2005), encontraron una respiración microbiana más alta en suelos con mayor contenido de MO, esto indica que niveles más altos de MO se traduce en una mayor fuente de energía y de nutrimentos para los microorganismos, lo cual contribuye a su desarrollo y a una actividad microbiológica más alta, que se ve reflejada en una mayor producción de CO₂.

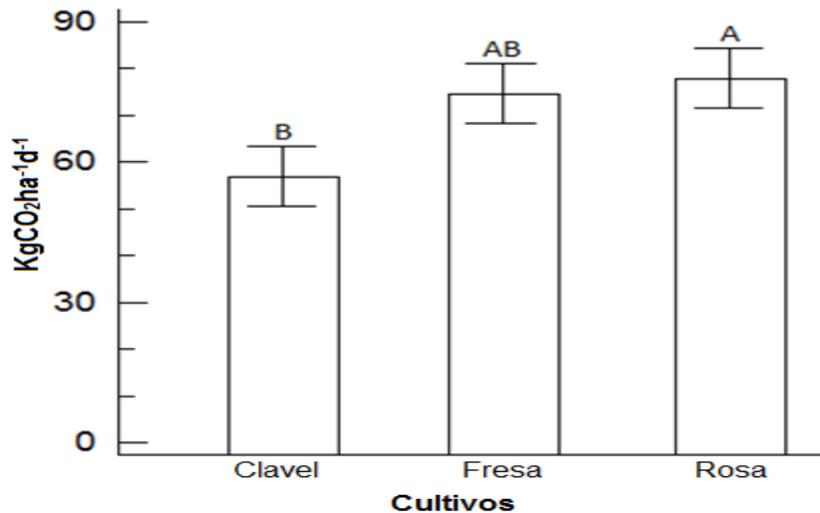


Figura 7: Flujo del CO₂ que se desprende de cada cultivo, para el segundo muestreo (periodo de sequía). Clavel; Fresa. Rosa. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre cultivos ($p < 0.05$).

Para el caso del cultivo de fresa hay una disminución del flujo de CO₂ durante los primeros 13 días (Figura 8); esta disminución en la emisión de CO₂ se debe a que la aplicación de plaguicidas fue mayor a la dosis recomendada provocando una intoxicación en las poblaciones microbianas; sin embargo, los resultados del impacto de la fertilización N en la liberación de CO₂ son inconsistentes ya que autores como Smolander *et al.*, (1994) y Al-Kaisi *et al.*, (2008), han encontrado que la fertilización N disminuye las emisiones de CO₂ mientras que Conti *et al.*, (1997) señalaron que la fertilización N aumentó las emisiones como resultado de una mayor producción de biomasa de las plantas, que en la incorporación estimula la actividad biológica del suelo.

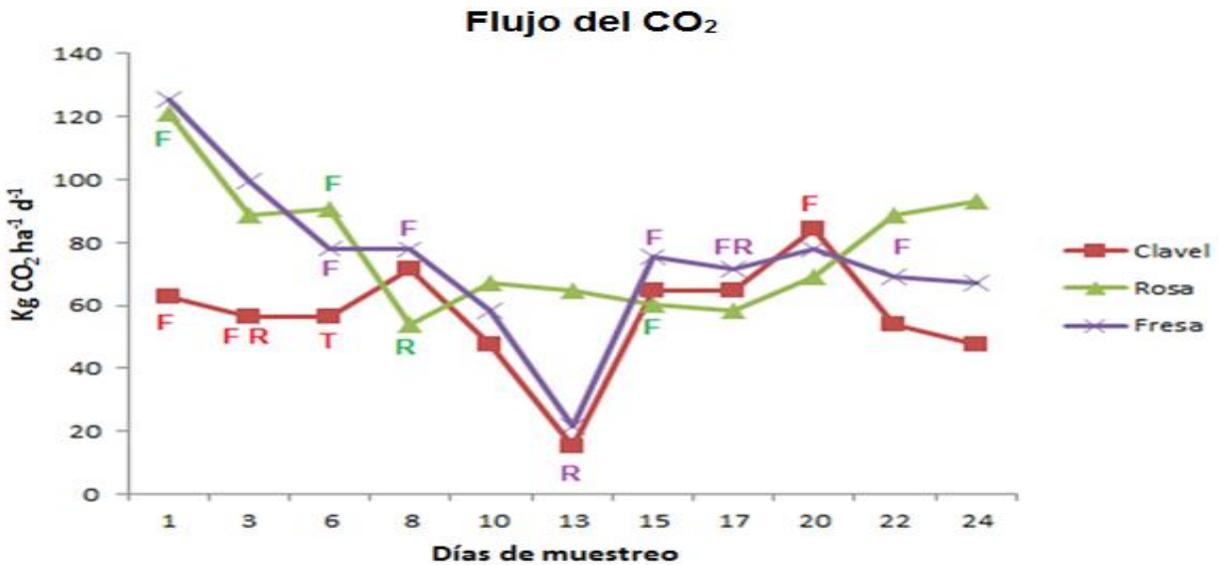


Figura 8: Flujo del CO₂ que se desprende de cada cultivo en función del manejo en el segundo muestreo (temporada de sequía). F, fertilización; R, riego, L, levantamiento de tierra.

Otros investigadores encontraron que la fertilización N puede disminuir la respiración del suelo debido a un cambio en el pH del mismo (Al-Kaisi *et al.*, 2008); ya que la fertilización N puede disminuir el pH del suelo en un corto plazo o con el tiempo, debido a la nitrificación de amonio; sin embargo, para este estudio el pH no tuvo influencia en la disminución del flujo de CO₂.

6.1.4.1 Temperatura y humedad del suelo.

El contenido del agua del suelo varía con las fechas de medición y los cambios responden a los eventos de riego. Se observó más del 50% de humedad en todos los cultivos, pero el mayor contenido de agua se registró en el cultivo de fresa debido a una mayor intensidad en el riego (Figura 9).

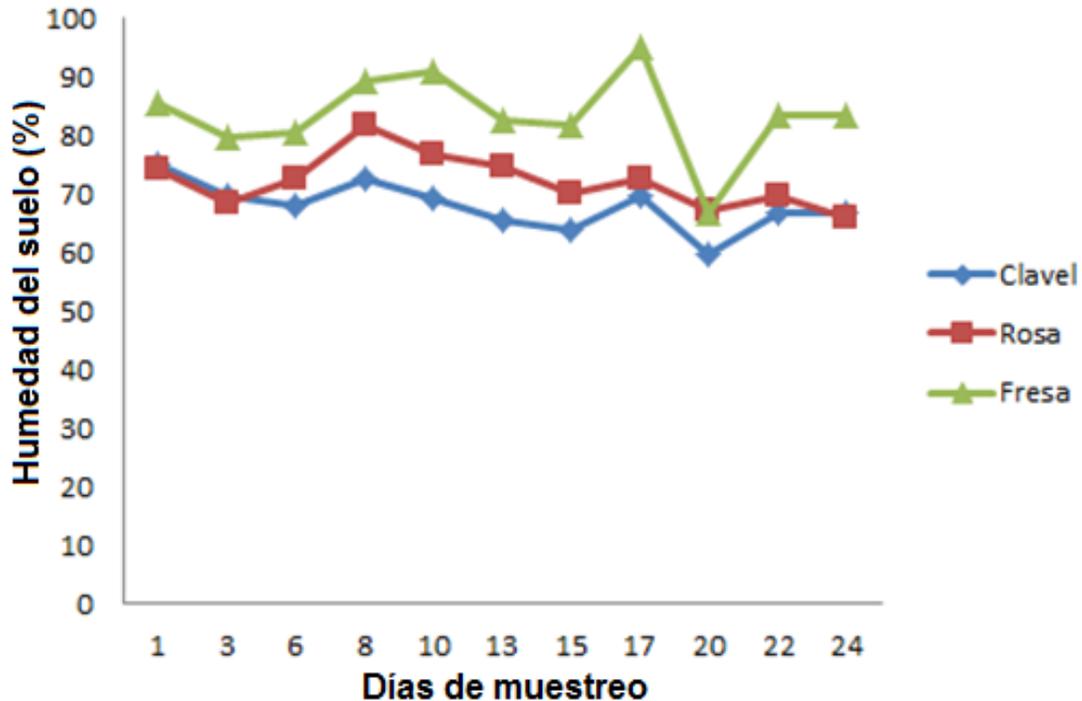


Figura 9: Humedad del suelo de cada cultivo durante el segundo muestreo (periodo de sequía)

El contenido de agua varía entre los sistemas de cultivo; como promedio entre las prácticas de riego y las fechas de medición el contenido de agua fue mayor en el cultivo de fresa, seguido del cultivo de rosa y el de clavel, este presentó valores más bajos del contenido de agua. El hecho de que el cultivo de clavel presentara los valores más bajos de humedad probablemente es debido a la práctica de levantamiento de suelo que se llevó a cabo en este cultivo; mediante esta práctica, el contenido de humedad se reduce en comparación con dejar la tierra intacta Al-Kaisi y Yin (2005).

Al igual que en el contenido de agua en el suelo, la temperatura también presentó variaciones entre los sistemas de cultivo. La temperatura del suelo fue mayor en el cultivo de fresa; mientras que, los cultivos de rosa y clavel presentaron valores similares (Figura 10). Así mismo, se observó una relación entre el contenido de humedad y la temperatura del suelo; ya que la práctica de riego disminuye la temperatura del suelo, lo que coincide con Sainju *et al.* (2008).

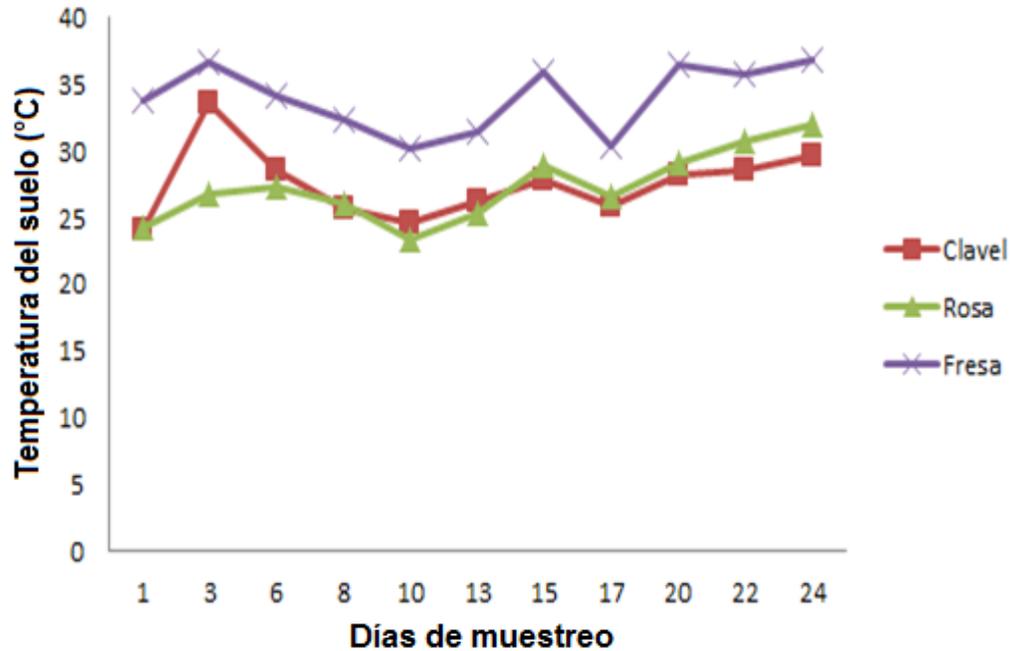


Figura 10: Temperatura del suelo de cada cultivo durante el segundo muestreo

Se ha reportado que los factores que pueden influir en las tasas de emisión de CO₂ son la humedad del suelo y la temperatura del suelo. Sin embargo, en este trabajo el flujo de CO₂ no se relaciona con la humedad, ni con la temperatura del suelo (Figura 10 y 11). Estos resultados coinciden con los reportados por Lou *et al.* (2004) y Al-Kaisi *et al.* (2008), los cuales reportaron una baja correlación entre las emisiones de CO₂ y el contenido de la humedad del suelo. Esta baja relación se le atribuye en gran medida a la variabilidad espacial y profundidad (0-5 cm) para la medición de la humedad del suelo, que no es lo suficientemente profunda para incluir el efecto de la raíz y las actividades microbianas en la emisión de CO₂.

La falta de relación entre las variables temperatura, humedad del suelo y el flujo de CO₂ podría explicarse por el hecho de que hay dos aspectos que deben tener en cuenta; el primero está ligado al tiempo y el segundo al espacio.

En primer lugar, se está asociando un valor instantáneo (la medición del flujo de CO₂) a valores integradores no instantáneos como son la temperatura y la humedad del suelo.

La reacción de estos dos parámetros ante cambios ambientales es muy lenta en comparación con la respuesta casi inmediata de las emisiones de CO₂.

El segundo aspecto se relaciona con el espacio y el volumen considerado en las mediciones de los distintos parámetros. Para determinar la humedad la muestra de suelo se toma en el horizonte superficial (0-10 cm) y en el caso de la temperatura se considera un nivel de entre -3 y -8 cm de profundidad; sin embargo, la medición de respiración se lleva a cabo en la superficie del suelo (Wu *et al.*, 2006). Estos problemas podrían contribuir a confundir las relaciones entre estas variables

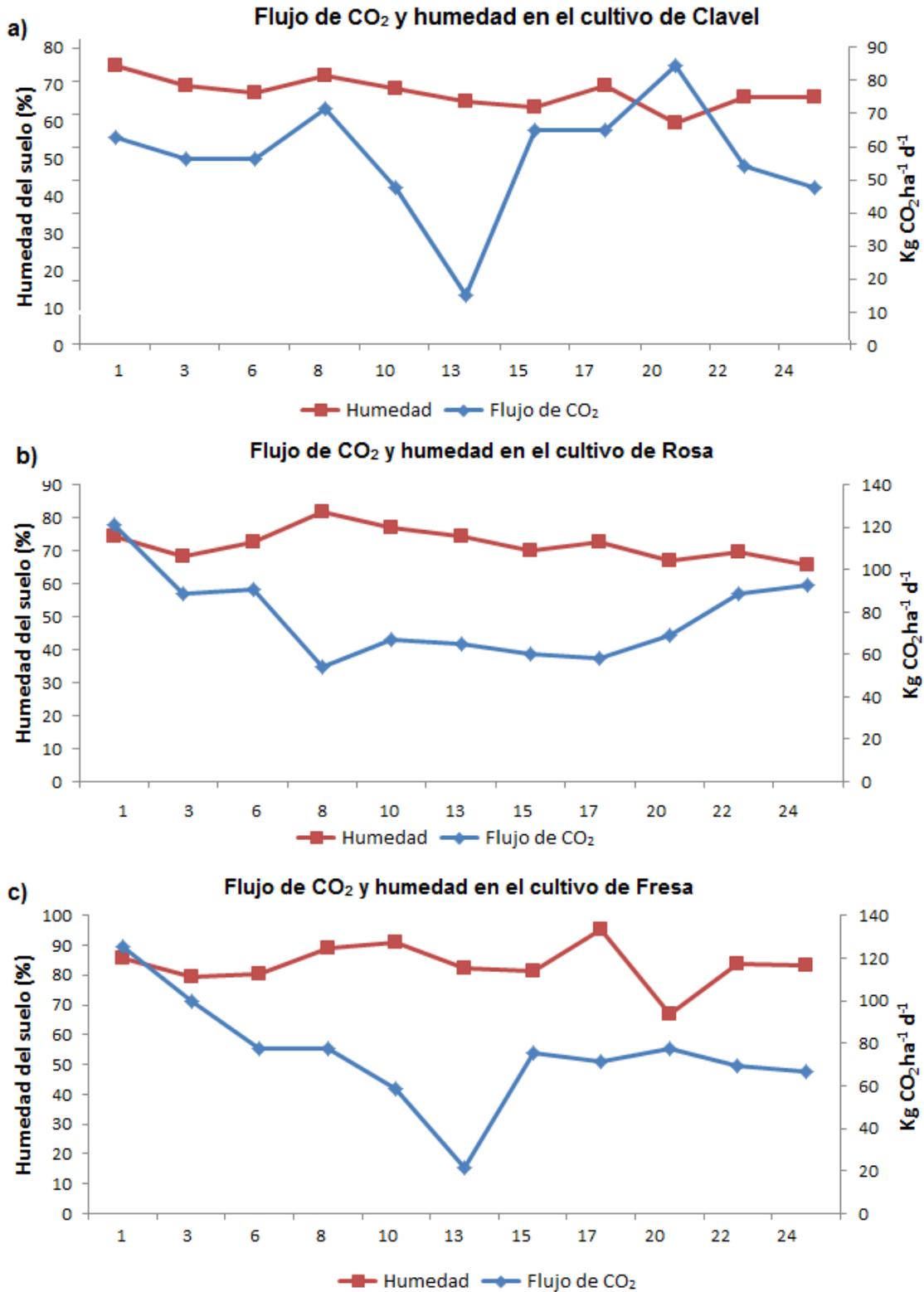


Figura 10: Flujo del CO₂ que se desprende de cada cultivo y la humedad del suelo.

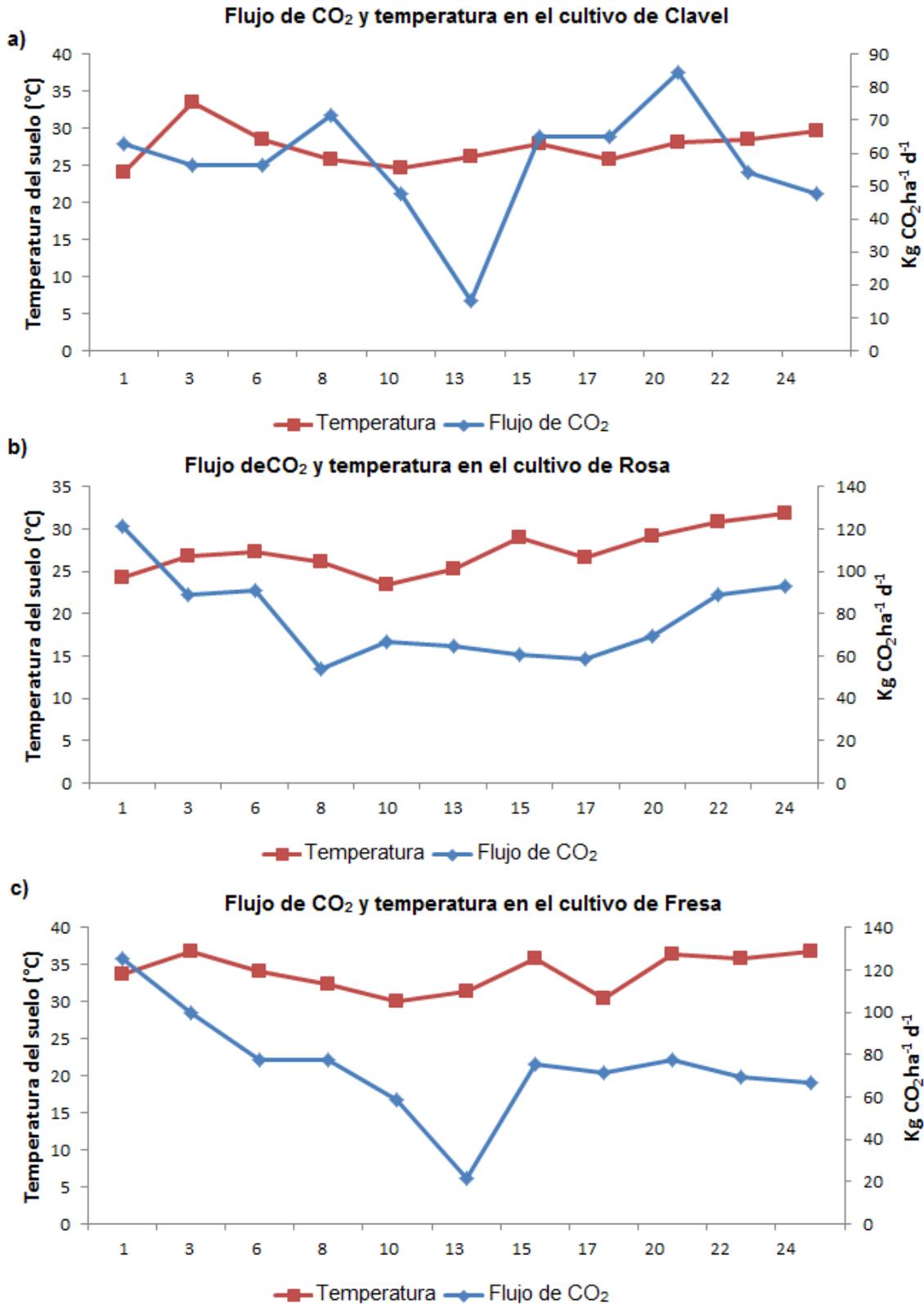


Figura 11: Flujo del CO₂ que se desprende de cada cultivo y la temperatura del suelo.

6.1.5 Parámetros físicos y químicos del suelo

Los valores de la densidad aparente oscilan entre 0.90 ± 0.003 , 0.96 ± 0.03 , 1 ± 0.02 g/cm^3 para rosa, clavel, fresa respectivamente (Tabla 5)

6.1.5.1 Conductividad eléctrica

Los resultados mostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre la CE de los cultivos; siendo el cultivo de fresa con el valor más alto ($1.68 \pm 1.41 \mu\text{S m}^{-1}$) el cual es muy ligeramente salino; mientras, que el cultivo de rosa (0.50 ± 0.46) y clavel (0.37 ± 0.12) presentan efectos despreciables (< 1) de salinidad., de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2001.

Tabla 5: Propiedades físicas y químicas del suelo bajo diferentes cultivos en Tenancingo, Estado de México.

Parámetro	Cultivo		
	Rosa	Clavel	Fresa
Clase Textural	F-Ar	F-Ar	F-Ar
DA (g/cm^3)	$0.90 \pm 0.003^{\text{C}}$	$0.96 \pm 0.03^{\text{B}}$	$1 \pm 0.02^{\text{A}}$
pH	$6.94 \pm 0.05^{\text{A}}$	$7.50 \pm 0.18^{\text{A}}$	$7.34 \pm 0.23^{\text{A}}$
CE (dS m^{-1})	$0.50 \pm 0.46^{\text{A}}$	$0.37 \pm 0.12^{\text{A}}$	$1.68 \pm 1.41^{\text{A}}$
MO (%)	$4.09 \pm 0.40^{\text{A}}$	$1.64 \pm 0.35^{\text{B}}$	$0.47 \pm 0.17^{\text{C}}$

Promedio \pm Desviación Estándar. DA. Densidad aparente. CE: Conductividad eléctrica; MO: Materia orgánica. Letras diferentes en el mismo renglón denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

6.1.5.2 pH

Para el caso del pH, el cultivo de rosa (6.94 ± 0.05) y fresa (7.34 ± 0.23) tienen un pH neutro; mientras que, el cultivo de clavel (7.50 ± 0.18) presenta un pH medianamente alcalino de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-200. Los resultados muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en el pH de los cultivos (Tabla 5).

6.1.5.3 Materia orgánica (MO)

Como se observa en la Figura 12, la MO del cultivo de clavel y fresa es menor (1.64% y 0.47%) respectivamente, en comparación con el porcentaje de MO que hay en los cultivos durante el primer muestreo (periodo de lluvias). La disminución de la MO obedece a lo citado por Castellanos *et al.*, (2000), indicaron que la materia orgánica actúa como fuente de carbono para que se lleven a cabo las transformaciones en el suelo, donde los microorganismos son los principales actores; parte de este carbono es atrapado por las moléculas orgánicas y posteriormente liberado lentamente por los procesos de mineralización, por la acción conjugada de los microorganismos presentes en los tratamientos que descomponen y degradan los compuestos orgánicos. Brady *et al.*, (1996), mencionaron que un promedio aceptable de MO en suelo destinado a la agricultura varía del 3-5%; sin embargo, la mayoría de los suelos destinados a la agricultura en nuestro país, contienen generalmente 2% de materia orgánica.

Cuando se tiene un porcentaje alto de MO se observan efectos benéficos en el suelo, tales como la formación de agregados estables, buena porosidad (mejorando así la aireación y la penetración del agua), un aumento de la capacidad de retención de agua, disminución de erosión, capacidad por retener e intercambiar cationes nutritivos, como agente amortiguador, etc. (Jordán, 2005).

El contenido de MO presente en un suelo depende del balance entre las entradas de nuevos restos orgánicos y de las salidas que se producen principalmente por la liberación de C durante la descomposición, así como lixiviación y procesos erosivos (Gartzia, 2009). Por ello, para lograr un agroecosistema sostenible es importante aumentar o mantener el suelo rico en MO, ya que en condiciones naturales un suelo virgen posee mayor contenido de MO que en suelos cultivados, debido a la acumulación de MO proveniente de la vegetación natural, acompañada de baja actividad biológica y temperaturas bajas (Fuentes, 2006).

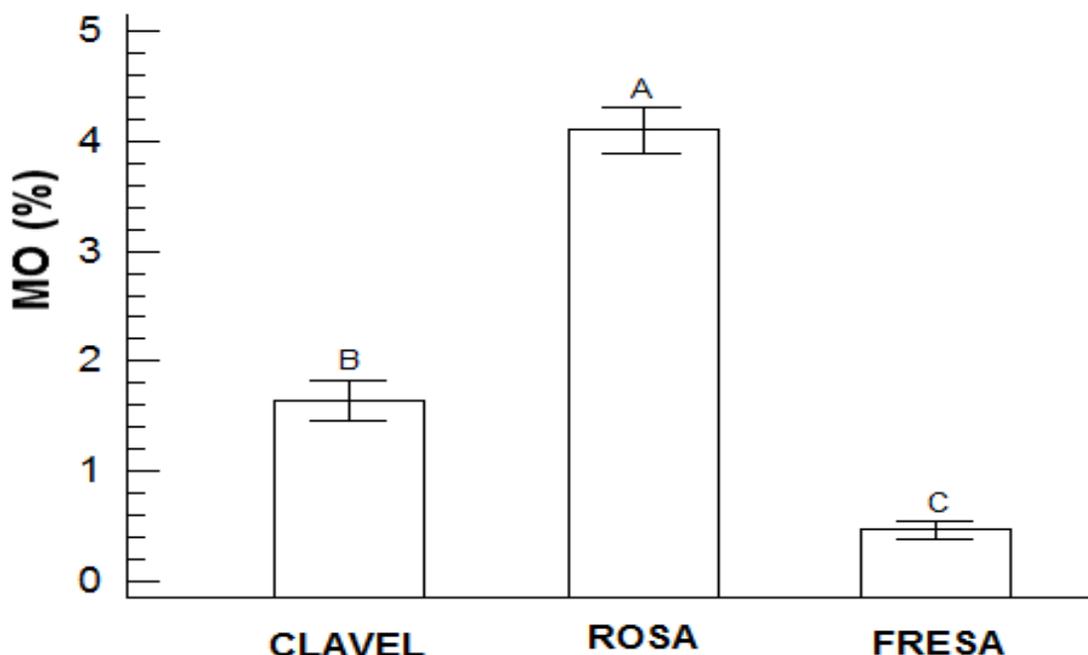


Figura 12: Contenido de materia orgánica (MO) en suelos utilizados en el cultivo de flores ornamentales del Municipio de Tenancingo en el segundo muestreo (periodo de sequía). Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

6.1.6 Propiedades bioquímicas del suelo

6.1.6.1 Mineralización del Nitrógeno

Se ha reportado, que la adición de abonos orgánicos (composta) se encuentran directamente relacionada con la tasa y contenido de N, además, se ha encontrado que después de la adición de la composta al suelo hay una tendencia de incremento en los niveles de MO lo cual se evidencia en el cultivo de clavel y rosa (Figura 3) en los cuales se les adicionó composta antes del muestreo

Este incremento en la MO y el N inorgánico total, favorece los procesos de mineralización, conllevando a un aporte de nutrientes y energía para la vida microbiana; por lo tanto, se tendrá un efecto benéfico en el ciclo del N. También se ha encontrado que las compostas al ser mineralizados mejoran su degradabilidad y su capacidad para liberar nutrientes (Roing *et al.*, 2012; Bourioung *et al.*, 2014).

En la Figura 13 se observa que el cultivo de fresa presentó el valor más alto (1.31 mg/N 100gss); mientras que, los cultivos de rosa (1.21 mg/N 100gss) y clavel (1.24 mg/N 100gss) presentaron poca variación entre ellos.

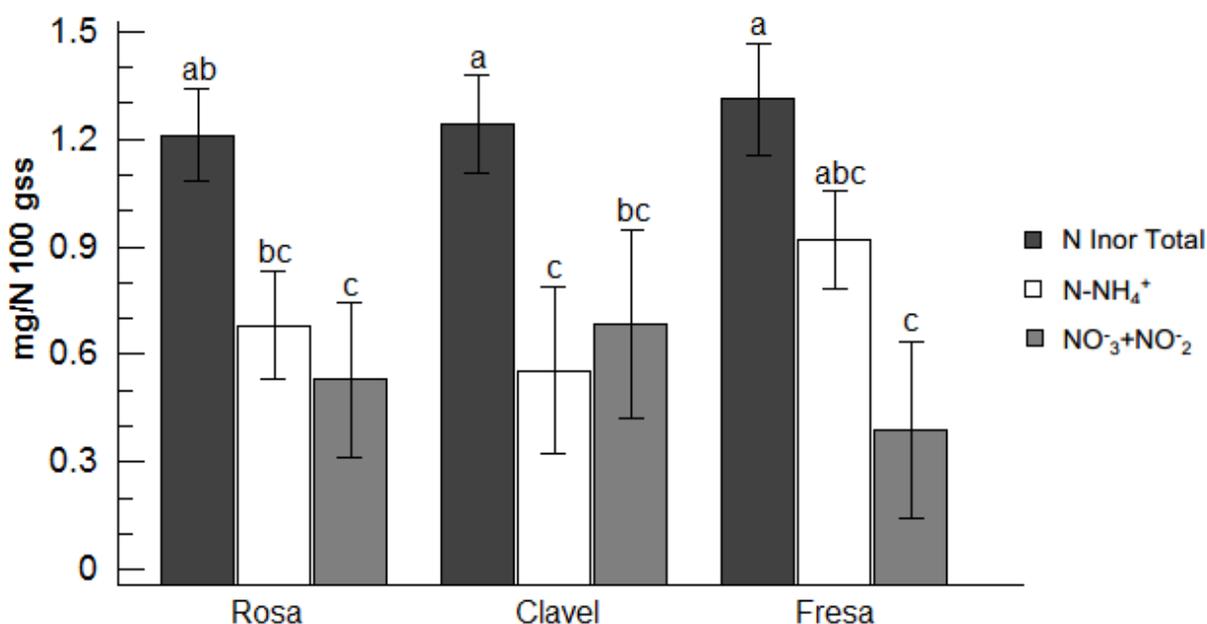


Figura 13: Mineralización del nitrógeno en el suelo utilizado para el cultivo de flores ornamentales durante el segundo muestreo (periodo de sequía). Promedio \pm error estándar, barras con letras diferentes en el mismo color de barra denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

De acuerdo con Navarro *et al.* (2000), el incremento del nitrógeno total en los tratamientos, es un ejemplo clásico de la degradación de la MO, ya que al aumentar la mineralización se presenta una mayor cantidad de compuestos nitrogenados.

Los grupos amino (RNH₂), contenidos en las proteínas son atacados por los microorganismos del suelo, para producir finalmente nitratos (NO³⁻) y sulfatos (SO₄²⁻); mientras que, la descomposición de la materia orgánica libera principalmente estos iones y la mayoría de las formas de iones inorgánicos liberados en la mineralización son rápidamente disponibles por las plantas y los microorganismos.

6.1.6.2 Respiración basal

Como se reporta en la tabla 5, la RB de los suelos estudiados no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los cultivos evaluados. Sin embargo, se observó que el cultivo de clavel presentó una mayor tasa de respiración basal con respecto al cultivo de rosa y fresa. Los valores más altos de RB se encontraron en suelos bajo condiciones de monocultivo (clavel y rosa), esto podría estar relacionado a una mejor adaptación de los microorganismos del suelo a los compuestos químicos provenientes de los plaguicidas incorporados al suelo. Estudios realizados relacionados al análisis de los cambios de la biomasa microbiana y respiración basal producidos por la incorporación de plaguicidas, indican que existen productos que podrían estimular la actividad biológica del suelo (Rodríguez *et al.*, 2009).

Los valores más bajos de RB, fueron encontrados en los suelos donde hay rotación de cultivos (fresa), lo que pudiera ser atribuido al uso intensivo de plaguicidas químicos (Syntek, NPK, Mancozeb, Malatión, Azufre); en tal sentido, se plantea que alguno de los productos químicos utilizados en estos cultivos, pudiera estar causando un efecto inhibitorio sobre los microorganismos del suelo, limitando su metabolismo, lo cual se traduce en una disminución de la respiración basal del mismo, tal como ha sido señalado por (Sethi y Gupta, 2013).

En la Figura 14 se observan los valores de CO_2 producido como resultado de la mineralización del C por parte de los microorganismos durante trece días. Durante estos días el cultivo de clavel fue el que presentó los valores más altos de respiración basal; mientras que, los valores de RB entre rosa y clavel fueron muy similares. En general, el contenido de carbono aumentó a partir del sexto día de incubación principalmente en el cultivo de clavel. Este incremento en la respiración puede ser atribuido a la presencia de material fácilmente biodegradable el cual estimula la actividad microbiana natural del suelo (Celis *et al.*, 2011).

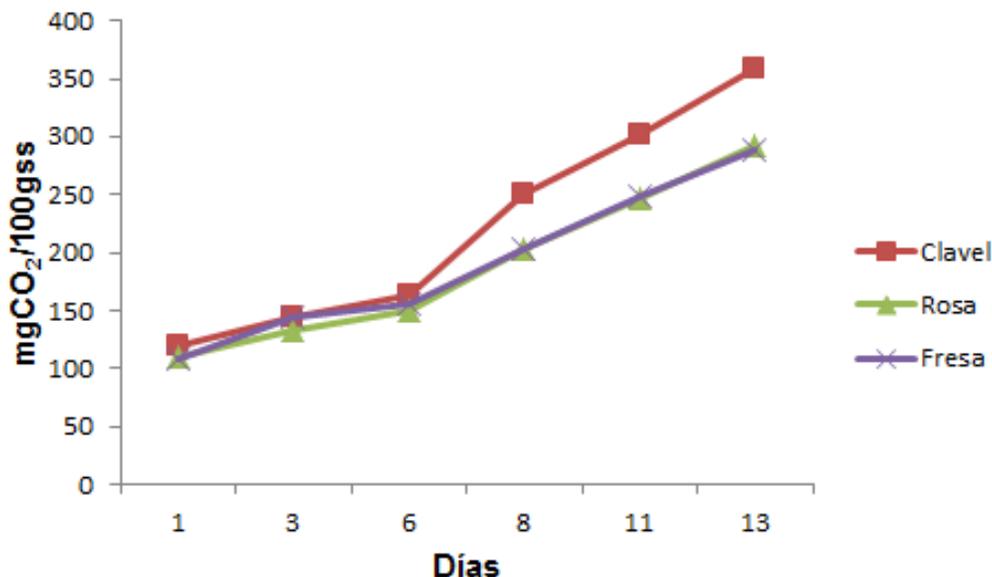


Figura 14: Respiración basal de suelos bajo diferentes cultivos. Segundo muestreo (periodo de sequía).

6.1.6.3 Carbono de la Biomasa Microbiana (CBM)

Para el segundo muestreo se esperaría que el C-BM del cultivo de fresa sea mayor que el de los cultivos de rosa y clavel; ya que la fresa es un cultivo que se está rotando constantemente con otros cultivos a diferencia de la rosa y clavel que son considerados monocultivos; sin embargo, la fresa al ser un sistema intensivo de producción con un inadecuado uso de fertilizantes y plaguicidas origina un deterioro biológico en el suelo, lo cual se traduce en una disminución del C-BM en el cultivo de fresa (29.8 mgC/100g ss) (Tabla 6)

Mientras que en el cultivo de clavel se evidencia un aumento en el C-BM (138.8 mgC/100g ss) (Tabla 4) respecto al que presentó en el primer muestreo (periodo de lluvias) (Tabla 2), este aumento en el C-BM puede deberse a la composta que se le agregó al cultivo de clavel y puede atribuirse a la presencia de una alta concentración de carbono orgánico fácilmente degradable en la composta lo que da lugar a un elevado crecimiento en la población microbiana; ya que, el crecimiento inicial de C-BM después de la aplicación de enmiendas orgánicas se relaciona con la entrada de carbono fácilmente disponible hacia la biomasa microbiana autóctona y a la nueva

biomasa que está creciendo debido a que se ha encontrado que las enmiendas orgánicas son una fuente importante de MO fácilmente biodegradable presente en el material adicionado (Pedra *et al.*, 2007).

Tabla 6: Propiedades bioquímicas evaluadas del suelo bajo diferentes cultivos bajo diferentes cultivos en Tenancingo, Estado de México.

Parámetro	Cultivo		
	Rosa	Clavel	Fresa
Respiración basal ($\mu\text{g/g}$)	292.8 ^A	359.4 ^A	289.3 ^A
C-Biomasa ($\text{mgC}/100\text{g ss}$)	40.8 ^B	138.8 ^A	29.8 ^B
$q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g CO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{C}$ biomasa h^{-1})	9.1	3.3	12.3

Promedio. Letras diferentes en el mismo renglón denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Se ha reportado que el material orgánico añadido (en el caso del clavel es composta) al suelo, suministra energía tras la descomposición por parte de los microorganismos; por lo tanto, se estimula la actividad microbiana y aumenta la multiplicación del número de células. Debido a que la biomasa microbiana y la actividad microbiana están estrechamente relacionadas con el contenido de MO del suelo, se verán influenciadas positivamente por las enmiendas orgánicas (Mondal *et al.*, 2015).

6.1.6.4 Cociente Metabólico ($q\text{CO}_2$)

El cultivo de clavel presentó los valores más bajos de $q\text{CO}_2$ (Tabla 6), esto podría deberse a que durante el segundo muestreo (periodo de sequía) la planta de clavel que tenía más de 4 años fue remplazada por plantas jóvenes, lo que concuerda con lo obtenido por Álvarez *et al.* (2010), donde encontraron que el $q\text{CO}_2$ disminuye en una

comunidad vegetal diversa; lo que, favorece la eficiencia de la comunidad microbiana al reducir las demandas energéticas.

7. CONCLUSIONES

El estudio sobre las emisiones de CO₂ en suelo de diferentes tipos de cultivo bajo invernadero, para evaluar la eficacia de los distintos manejos que se le dan al suelo, sobre el desprendimiento del CO₂ atmosférico evidencio lo siguiente:

El aumento o disminución del flujo de CO₂ que se desprende de la actividad microbiana del suelo depende de las prácticas de manejo que se le dan a cada cultivo.

Las emisiones de CO₂ usualmente alcanzaron un pico inmediatamente después del riego; mientras, que en la fertilización se ve mermada la actividad microbiana.

La utilización de distintos tipos de agroquímicos en los diferentes cultivos disminuye la biomasa microbiana del suelo.

Los altos valores de qCO₂ encontrados en los tratamientos reflejan un estrés edáfico, producto del proceso de salinización, lo cual se evidencia en los mayores valores de conductividad eléctrica encontrados en estos cultivos.

No se encontró relación entre las emisiones de CO₂ y el contenido de la humedad y temperatura del suelo. Esta baja relación se le atribuye en gran medida a la variabilidad espacial y profundidad (0-5 cm) para la medición de la humedad del suelo, que no es lo suficientemente profunda para incluir el efecto de la raíz y las actividades microbianas en la emisión de CO₂.

8. REFERENCIAS

Al-Kaisi M. M.; Kruse L. M.; Sawyer E. J. (2007). Effect of nitrogen fertilizer application on growing season soil carbon dioxide emission in a corn-soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*. 325-332.

- Al-Kaisi M. M.; Kruse M. L.; Sawyer J. E. (2008). Effect of nitrogen fertilizer application on growing season carbon dioxide emission in a corn-soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*. 37:325-332.
- Al-Kaisi M. M.; Yin X.; (2005). Tillage and crop residue effects on soil carbón and carbón dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental quality*. 34:437-445.
- Allen D. E.; Dalal R. C.; Rennenberg H.; Neyer R. L.; Reeves S.; Schmidt S. (2007). Spatial and temporal variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove soils and the atmosphere. *Soil Biology and Biochemistry*. 622-631.
- Alvarado, J.; Andrade, J. H.; Segura, M. (2013). Storage of soil organic carbon in coffee (*coffea arabica* L.) production systems in the municipality of líbano, tolima, colombia. *Colombia Forestal*. pp. 21-21.
- Álvarez J, Díaz E, León N, Guillén J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*. 28: 239-245.
- Andrades, M. y Martínez M. E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Universidad de la Rioja.
- Arenas, L, N. (2015). Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Bending, G. D., Turner M. K., Rayns, F., Marx, M.C. y M. Wood. (2004). Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1785-1792.

- Blagodatsky, S., y Smith, P. (2012). Soil physics meets soil biology: Towards better mechanistic prediction of greenhouse gas emissions from soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 47, 78–92. doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.12.015
- Bourioug, M; Alaoui-Sossé, L; Laffray, X; Raouf, N; Benbrahim, M; Badot, P. y Alaoui-Sossé, B. (2014). Evaluation of sewage sludge effects on soil properties, plant growth, mineral nutrition state, and heavy metal distribution in European larch seedlings (*larix decidua*). *Arab J Sci Eng*.
- Brito, L. D. F., Pereira, G. T., & Menezes, Z. (2009). Soil CO₂ Emission Of Sugarcane Fields As Affected By Topography. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 66:77–83.
- Calderon F. J., y L. Jackson. (2002). Rotatillage, disking, and subsequent irrigation: effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations. *Journal of Environmental Quality*. pp. 752-758.
- Celis, J; Machuca, A; Sandoval, M. y Morales, P. (2011). Biological activity in a degraded alfisol amended with sewage sludge. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71:164-172.
- Chen C. G.; Tam N. F. Y; Ye Y. (2010). Spatial and seasonal variations of atmospheric n₂o and co₂ fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationship with soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*. pp. 175-181.
- Chen Y.; Day S.; Wick A.; Strahm B.; Wiseman P.; Daniels, W. (2013). Changes in soil carbon pools and microbial biomass from urban land development and subsequent post-development soil rehabilitation. *Soil Biology & Biochemistry*. 66:38-44.
- Chu H., Lin X., Fujii T., Morimoto S., Yagi K., Hu J., y J. Zhang. (2007). Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry*. 39:2971-2976.
- Cruz-Ruiz E.; Cruz-Ruiz A.; Aguilera-Gómez L. I.; Norman-Mondragón H. T.; Velázquez R. A.; Nava-Bernal G.; Dendooven L.; Reyes-Reyes B. G. 2012. Efecto en las

- características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*. pp. 189-197.
- Díaz-Rojas, M., Aguilar-Chávez, Á., Cárdenas-Aquino, M. D. R., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Hernández-Valdez, E., Luna-Guido, M., Dendooven, L. (2014). Effects of wastewater sludge, urea and charcoal on greenhouse gas emissions in pots planted with wheat. *Applied Soil Ecology*, 73, 19–25. doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.001
- Fang, C.; Moncrieff J.B.; Gholz, H.L.; Clark, K.L. (1998) Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Plant Soil*. 205: 135 -146.
- Fuentes C. R. (2006). Agrosistemas sostenibles y ecológicos: la reconversión agropecuaria. Servicio de Publicaciones e Intercambio científico, Universidad de Santiago Compostela. España.
- Gartzia B. N. 2009. Estructura y dinámica de la materia orgánica del suelo en ecosistemas forestales templados: de lo particular a lo general.(tesis doctoral). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Universidad del País vasco.
- Han G, Zhou G, Xu Z, Yang Y, Liu J, Shi K (2007): Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 418–425.
- Haynes, R. (1986). The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation, and degradation. Academic Press, Orlando.
- Inclan R.; Uribe C.; Snchez L.; Sanchez D. M.; Clavero A.; Fernandez A. M.; Morante R.; Blanco A.; Jandl R. (2012). N₂O and CH₄ fluxes in undisturbed and burned holm oak, scots pine and pyrenean oak forest in Central Spain. *Biogeochemistry*. pp. 19-41.
- IPCC, 2007. Climate change (2007): Mitigation. In: Metz, B., et al. (Eds.), Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- Jean-Pascal, Y. (2009). Cambio climático. ¿El suelo puede cambiar las cosas? Comunidades Europeas. pag. 19-21.
- Jordán, A. (2005). Manual de edafología. Departamento de cristalografía mineralogía y química agrícola. Universidad de Sevilla. España.
- Kudeyarov V. N.; Kurganova I. N. (1998). Carbon dioxide emission and net primary production of russian terrestrial ecosystems. *Biology and Fertility of Soils*. pp. 246-250.
- Liebig A. M.; Tanaka L. D.; Gross R. J. (2010). Fallow effects on soil carbon and greenhouse gas flux in central North Dakota. *Soil Science Society of America Journal*. pp. 358-365.
- Luters, A. y Salazar, J. (2000). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). EUA.
- Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña, (2014): Central and South America. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA pp. 1499-1566.
- Meixner F. X. y Yang W. X. (2006). Biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide from arid and semi-arid land. *Dryland Ecohydrology*. pp. 233-255.

- Mendiara, S. (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 (tesis de licenciatura). Universitat de Vic.
- Mogollón, P. J., D. Torres. y A. Martínez. (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22 (3): 217-222.
- Mogollón, P., M. C. Vera, A. Martínez. (2015). Efecto de los plaguicidas sobre la calidad química y biológica del suelo en sistemas de producción de hortalizas del semiárido Venezolano. *Química Viva*. 14: 69-89.
- Mondal, S; Singh, R; Patra, A. y Dwivedi, B. (2015). Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typic haplustept under cowpea-wheat cropping system. *Environmental Nanotechnology Monitoring and Managment. in press*.
- Muñoz, C., L. Paulino, C. Monreal, and E. Zagal. (2010). Greenhouse gas (CO₂ and N₂O) emissions from soils: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70:485-497.
- Ni K.; Ding W.; Cai Z.; Wang Y.; Zhang X.; Zhou B. (2012). Soil carbón dioxide emission from intensively cultivated black soil in northeast china: nitrogen fertilization effect. *Journal of Soil and Sediments*. pp. 1007-1018.
- Ogle S. M.; Breidt F. J.; Paustin K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperature and tropical regions. *Biogeochemistry* 72: 87-121.
- Pedra, F; Polo, A; Ribeiro, A y Domingues, H. (2007). Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil. Biology & Biochemistry* 39: 1375–1382.

- Qadir, M., D. Steffens, F. Yan y S. Schubert. (2003). Proton release by n_2 -fixing plant roots: a posible contribution to phytoremediation of calcareous soil. *Journal Plant Nutr.* 166: 14-22.
- RAICH, J.W. (1990). The global carbon dioxide flux in soil respiration ant its relation ship to vegetation and climate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 1754-1757.
- Ramírez, G., T. (2009). Efectos de agroquímicos en las propiedades físico-químicas y biológicas en el suelo de Táchira-Venezuela. Universidad Industrial de Santander. pp. 106.
- Rivera D, Camelo M, Estrada G, Obando M, Bonilla R. (2010). Efecto de diferentes plaguicidas sobre el crecimiento de *Azotobacter Chroococcum*. *Revista Colombiana de Biotecnología.* 12:94-102.
- Robertson G. P., y P. R. Grace. (2004). Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials environ. *Environment. Development and Sustainability.* pp. 51-63.
- Rodrigo. (1997). Modelling temperature and moisture effects on c-ntransformations in soils: comparison of nine models. *Ecological Modelling.* 102: 325-339.
- Rodríguez N, Coronado H, Torres D, Zamora F. (2009). Cambios en la biomasa microbiana, respiración basal y germinación de cebolla (*alliumcepa L.*) luego de la aplicación de los herbicidas oxifluorfen, fluaxifop y pendimentalin en un entisol del Estado Falcón. *Revista UDO Agrícola.* 9: 579-589.
- Roig, N; Sierra, J; Martí, E; Nadal, M; Schuhmacher, M. y Domingo, J. (2012). Longterm amendment of spanish soils with sewage sludge: effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 158: 41-48.
- Sainju M. U.; Stevens B. W.; Caesar-TonThat T.; Liebig A. M. (2012). Soil greenhouse gas emissions affected by irrigation, tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality.* pp. 1774-1786.

- Sainju, M. U., J. D. Jabro, W. B. Stevens. (2008). Soil carbón dioxide emission and carbón contents as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality*. 37: 98-106.
- Sainju, M. U.; Stevens B. W.; Caesar-TonThat T.; Liebig A. M.; Wang J. (2013). Net global warming potential and greenhouse gas intensity influenced by irrigation, tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality*. pp. 777-788.
- Sainju, M. U.; Whitehead F. W.; Singh B. P. (2003). Agricultural management practices to sustain crop yields and improve soil and environmental qualities. *The Scientific World Journal*. pp. 768-789.
- Sánchez B, Ruiz M, Ríos M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del rio Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Tropical*. 55: 507-534.
- Saviozzi A, Cardelli R, Di Puccio R. (2011). Impact of salinity on soil biological activities: a laboratory experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42:358-367.
- Schauffler G.; Kitzler B.; Schindlbacher A.; Skiba U.; Sutton M. (2010). Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperatura. *European Journal of Soil Science*. pp. 683-696.
- Sethi S, Gupta S. (2013). Impact of pesticides and biopesticides on soil microbial biomass carbon. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. 3:326-330.
- Smith, K.A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K.E., Massheder, J., Rey, A. (2003) Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54, 779 -791.

Wu, J., D. Guan, M. Wang, T. Pei, S. Han Y Ch. Jin. (2006). Year-round soil and ecosystem respiration in a temperate broad-leaved Korean pine forest. *For. Ecol. Manage.* 223: 35-44.

Xu, M., y Qi, Y. (2001). Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology*, 7: 667–677.

Zhang Z.; Duan J. C.; Wang S. P.; Luo C. Y.; Chang X. F.; Zhu X. X.; Wang W. Y. (2012). Effects of land use and management on ecosystem respiration in alpine meadow on the Tibetan plateau. *Soil and Tillage Research*. pp. 161-169.