

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Greenhouse gas emissions from a coffee plantation (*Coffea arabica*) with and without shade of moringa trees (*Moringa oleífera*) under organic and mineral fertilization in Barva de Heredia

Licda. Ellen Sancho Barrantes

DOI: <http://doi.org/10.15359/prne.20-39.1>

Universidad Nacional,
ellen.sancho.barrantes@una.cr

Licda. Diana Espinoza Ballesterero

Universidad Nacional,
dianaeballesterero@gmail.com

Recibido: 30/01/2022 ● Aceptado: 17/05/2022 ● Publicado: 27/05/2022

RESUMEN

Se realizó una comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociados a dos patrones de fertilización (orgánica y mineral) en una plantación de café (*Coffea arabica*) variedad Obatá con y sin sombra de Moringa (*Moringa oleífera*) en la Finca Experimental Santa Lucía en Barva de Heredia, Costa Rica.

Para cada uno de los tratamientos T1: con sombra, fertilización orgánica, T2: con sombra fertilización mineral, T3: sin sombra, fertilización orgánica, T4: sin sombra, fertilización

mineral. Solo se midieron los flujos de emisión de tres diferentes gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Desde el 2016 se realizó tres fertilizaciones (mineral y orgánica), para el 2018 cada vez que se fertilizó se realizó muestreo de gases de efecto invernadero con la técnica de cámaras cerradas para su posterior análisis por cromatografía.

Las tomas de muestras de gases se realizaron durante las tres fertilizaciones anuales, a los días 0, 5, 15 y 30 posteriores a la aplicación. Para cada muestra, se extrajeron



submuestras de gases de la cámara al minuto 0, 10, 20 y 30 minutos después de colocada la cámara. Además, se hizo una relación de la emisión con variables climáticas como la temperatura, la humedad y la precipitación.

Se obtuvieron comportamientos distintos para cada gas. La relación de la sombra con las emisiones de los gases fue baja. Al comparar los diferentes tipos de fertilizaciones, las emisiones fueron superiores en tratamientos sometidos a fertilizantes orgánicos respecto a las de la fertilización mineral. Solo las emisiones de dióxido de carbono correlacionaron con factores climáticos, al registrar una mayor emisión con el incremento de la temperatura.

Palabras clave: Café, dióxido de carbono, fertilización mineral, fertilización orgánica, metano, óxido nitroso.

ABSTRACT

Greenhouse gas emissions with two fertilization patterns (organic and mineral) with or without shade of Moringa trees (*Moringa oleifera*) were compared in a coffee plantation (*Coffea arabica*), Obata variety, in the Santa Lucía Experimental Farm in Barva, Heredia, Costa Rica.

The following was conducted for the treatments; T1: with shade and organic fertilization, T2: with shade and mineral fertilization, T3: without shade and organic fertilization,

and T4: without shade and mineral fertilization. Emissions were measured for only three different gases: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrate oxide (N₂O). Three fertilizations were conducted (mineral and organic) since 2016 and, by 2018 every time there was fertilization, greenhouse gases were sampled using the closed chamber technique for subsequent analysis by chromatography.

Gas samples were taken during the three annual fertilizations on days 0, 5, 15, and 30, following application. Sub-samples were extracted from each sample on minute 0, 10, 20, and 30, right after the trap chamber was set. Emissions were also related to climate variables such as temperature, humidity, and precipitation.

Different outcomes were obtained for each gas. Gas emissions were lower under shade. Regarding types of fertilization, emissions were higher in organic treatments compared to mineral fertilization. Only carbon dioxide emissions showed correlation with climate factors, registering higher values as temperature increased.

Keywords: Carbon dioxide, coffee, methane, mineral fertilization, nitrate oxide, organic fertilization.

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola constituye un emisor neto de gases de efecto invernadero (GEI) y es uno de los sectores más vulnerables a los impactos del cambio climático. Este sector enfrenta el doble desafío de reducir sus emisiones de GEI y de aumentar la producción en un 70 % entre el 2005 y 2050 ([Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2014](#)).

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleifera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Los gases de efecto invernadero más importantes son el vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), siendo estos generados, en su mayoría, por las actividades antropogénicas (Segura y Andrade, 2012).

Una de las principales fuentes de emisión en monocultivos como el café, son las fertilizaciones, en general, nitrogenadas, o en algunos casos las enmiendas orgánicas que también tienen una contribución importante en las emanaciones de gases. Según datos del proyecto de *Nationally Appropriate Mitigation Actions en café* (2018a), en Costa Rica el sector cafetalero es el responsable de la mayoría de las emisiones provenientes del sector agropecuario y, aún persisten productores o productoras que manejan planes de fertilización nitrogenada ineficientes, al utilizar dosis incorrectas y sin manejar los tiempos adecuados de fertilización, lo que resulta en contaminación ambiental y un aumento en los costos de producción. La producción de café en Costa Rica representa un 9 % de las emisiones totales nacionales de GEI para el 2018 (NAMA, 2018b).

Teniendo en cuenta los probables impactos del cambio climático y crecimiento poblacional, un desafío clave para lograr esa intensificación sostenible es desarrollar sistemas agrícolas que produzcan mayores rendimientos sin aumentos asociados en las emanaciones de gases de efecto invernadero (GEI). Para alcanzar este objetivo, es necesario comprender de forma completa el tipo, cantidades y comportamiento de las fuentes emisoras de GEI (Noponen *et al.*, 2012).

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una evaluación de las emisiones de los principales GEI; metano, dióxido de carbono y óxido nitroso, en una plantación de café (*Coffea arabica*) con sombra y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*), bajo dos sistemas distintos de fertilización: mineral y orgánica, además se relacionó la emisión con variables climáticas. Esto con el fin de determinar el efecto de diversas variables como sombra, el tipo de fertilización y el efecto clima sobre las emisiones de GEI.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

METODOLOGÍA

Localización del experimento

La investigación se realizó en la Finca Experimental Santa Lucía, de la Escuela de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional, ubicada en la provincia de Heredia, en el cantón de Barva, distrito de Santa Lucía. En el microlote “Las Moringas”, el cual tiene una extensión de 0.21 hectáreas (ha) (con sombra de Moringa) y 0.15 ha (sin sombra). La parcela se encuentra en las coordenadas 10°01'24.43" N 84°06'31.73 a una elevación de 1279 m s.n.m. La parcela es parte del proyecto “Sistema de producción ambientalmente responsable en el cultivo de café para la generación y transferencia de conocimiento”, de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional.

Este sitio se encuentra en la zona de vida bosque húmedo premontano, tiene una temperatura promedio anual de 20.5° y suelos de orden andisoles (Holdridge, 1967).

Prácticas agronómicas utilizadas en la plantación

Establecimiento y densidades de siembra de la parcela

La parcela se estableció en el año 2015 con café variedad Obatá, a una densidad de un metro entre plantas y dos metros entre hileras, para una densidad de 813 plantas en el área con sombra. Ese mismo año se sembró la moringa, a una distancia entre árboles de 6 por 8 metros. En el año 2018 sobrevivían 60 árboles de moringa. El sector sin sombra tiene una densidad de 345 plantas de café.

Riego

El primer año de la plantación se utilizó riego cada 15 días durante los meses de diciembre, enero y febrero (época de mayor sequía) en las plantas de café y árboles de moringa, se realizó con bomba de motor aplicando una dosis aproximada de 800 ml por planta.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Control de arvenses

Durante el 2018, en el área del microlote del ensayo se hizo control de arvenses de forma mecánica y con rodajas de forma manual.

Fertilización

A cada planta de tratamiento orgánico se le aplica una mezcla de 1.5 kg de gallinaza con 1.5 kg de lombricompost. Para el caso de tratamientos minerales se le aplicó 60 gramos por planta de la fórmula completa química 18-5-15-6-0.2, todo con base en la recomendación del ICAFE.

Poda

Las plantas de café por estar en su tercer año no han sido podadas, a diferencia de los árboles de moringa que, al menos una vez al mes, se les realiza una poda de formación de ramas laterales con el fin de que los árboles tomen altura y se expanda su área de sombra.

Control de plagas y enfermedades

Debido a que las plantas son variedad Obatá y, por lo tanto, tienen una alta tolerancia a la roya en la plantación no se realizaron aplicaciones de fungicidas, no se han encontrado patógenos en gran nivel que ameriten controles sanitarios. La única plaga a la que se le ha realizado control químico es a los hormigueros cercanos, debido a la defoliación en los árboles de moringa que las hormigas, en muchos casos, realizan.

Diseño de la investigación

La presente investigación se considera de tipo observacional y longitudinal, debido a que las mediciones se realizarán en parcelas de café que han sido manejadas bajo ciertas circunstancias o tratamientos; es decir, no es posible aleatorizar áreas de café homogéneas a los tratamientos, porque las zonas escogidas para la investigación ya tienen su tratamiento, y, además, no es de tipo experimental, porque no se presentan repeticiones de cada tratamiento. Es de tipo longitudinal porque se realizarán mediciones de las variables de interés en el transcurso del tiempo en cada uno de los tratamientos.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Tratamientos establecidos en el área experimental

Se evaluó las emisiones de gases de efecto invernadero en cuatro condiciones de manejo de cafetal:

1. Café con sombra de árboles de moringa (*Moringa oleífera*) y fertilización orgánica.
2. Café con sombra de árboles de moringa (*Moringa oleífera*) y fertilización mineral.
3. Café sin sombra y fertilización orgánica.
4. Café sin sombra y fertilización mineral.

Los tratamientos con sombra estuvieron conformados por 1 árbol de moringa y 4 plantas de café ubicadas en cada punto cardinal del árbol, cubriendo un área de 8 metros cuadrados, se tomaron 3 muestras de cada tratamiento se consolidó un área de 24 m² para cada tratamiento con sombra. Respecto al área sin sombra está estuvo integrada por 4 plantas de café a una distancia de 1 metro entre cada una, por lo tanto, cada muestra representa 4 m² para cada tratamiento, un total de 12 m².

La fertilización orgánica se realizó utilizando una mezcla de 5 kilogramos de gallinaza en conjunto con 1.5 kilogramos de lombricompost por planta y por árbol (en los casos del área con sombra).

La fertilización mineral consiste en 60 gramos por planta de la fórmula completa 18-5-15-6-0.2 según recomendaciones del ICAFE, la misma dosis fue aplicada a los árboles de moringa (en los casos del área con sombra).

Se realizó 3 fertilizaciones tanto la mineral como orgánica se llevó a cabo en los meses de julio, setiembre y noviembre.

Método de medición de los GEI

Se cubrió con mediciones un año de fertilización en la plantación, durante los meses de julio, setiembre y noviembre. Se utilizaron cámaras de captura de gas cerradas de 40 cm de alto por 30 cm de ancho, estas se entierran en los primeros 5 centímetros del suelo, para evitar la entrada de aire; en la parte superior se hace un círculo de 2 centímetros y se incorpora la tapa de un tubo de ensayo, el cual va a funcionar para extraer los gases inyectando una

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

aguja con una jeringa de 10 mililitros (ml), luego el gas se traslada a un tubo de ensayo debidamente etiquetado.

Se colocaron las cámaras siempre en la misma posición para cada medición, a una distancia de 1 metro del árbol y en la banda de fertilización de una de las plantas de café, se contó con 4 cámaras, por lo cual se colocó una en cada tratamiento, al momento de la medición, con el fin que las muestras sean tomadas en un mismo momento con iguales condiciones climáticas.

Se midieron los flujos de GEI a los 0, 5, 15 y 30 días después de cada una de las fertilizaciones. Cada día que se realizó una medición se tomaron cuatro muestras en cada repetición, las mediciones fueron a los 0, 10, 20 y 30 minutos después de que se colocaba la cámara.

Medición de variables climáticas

En cada muestreo se midió la temperatura ambiental (grados Celsius), además se solicitó al Instituto Meteorológico de Costa Rica los datos de humedad y precipitación (milímetros), de la estación meteorológica que se encuentra en la Finca Experimental Santa Lucía, ubicada aproximadamente 420 metros lineales de los puntos de medición.

Análisis en laboratorio

Se trasladaron las muestras del campo al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional y se analizaron las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero en agricultura: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O).

Análisis estadístico

Con los resultados de laboratorio se elaboraron curvas en el tiempo del comportamiento de los gases, en cada uno de los 4 tratamientos para hacer comparaciones descriptivas colocando, en la parte inferior, la condición del clima en los momentos de medición para las variables: temperatura, humedad y precipitación.

Se realizó un análisis de regresión para cada tratamiento considerando el tiempo como variable independiente o explicativa y los valores de emisión de gases como variable respuesta, que permitan obtener una ecuación de

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

mejor ajuste y el momento de máxima evolución de gases en días después de una fertilización.

Para cada regresión se hizo una prueba de polinomio cuadrado para obtener la curva de mejor ajuste en los casos en que $p < 0.05$ fue utilizado el polinomio al cuadrado, en los casos en los que no se mantuvo una regresión lineal.

El estudio se limitó a 3 mediciones por tratamiento, solamente por el costo económico de cada gas evaluado, ya que son 4 tratamientos a los que se les realizó un muestreo de 3 gases en 4 momentos de fertilización, en 4 momentos después de colocada la cámara y se realizó 3 veces en el año. Por lo tanto, se analizaron un total de 576 muestras.

RESULTADOS

Se puede ver en las figuras el comportamiento de las emisiones de gases en partes por millón (ppm), en los tratamientos con sombra, así como los correspondientes sin sombra y el comportamiento del clima (temperatura, humedad y precipitación).

En la Figura 1 se puede ver que el día que hubo mayor temperatura (día 5 de la tercera fertilización) se dio un incremento pronunciado en la emisión de CO_2 para los tratamientos orgánicos. La cantidad de emisión de CO_2 en toda la investigación fue mayor en los tratamientos orgánicos que en los minerales.

Las emisiones de CH_4 fueron más bajas que las registradas para el dióxido de carbono. En la Figura 1 (CO_2), el punto más alto de emisiones llegaba a las 1200 ppm mientras que en el caso del metano la emisión más alta está por encima de las 25 ppm. No hubo una tendencia clara en las emisiones de este gas según el tipo de fertilización. Se puede ver que no hay relación en la emisión del gas con el comportamiento de la precipitación, humedad y temperatura.

Para las emisiones de Óxido nitroso en el caso de la segunda y tercera fertilización sin sombra, no se tuvieron los datos de laboratorio por problemas con los equipos del laboratorio.

En los tratamientos con sombra para la primera fertilización se ve un comportamiento de emisión bajo para la fertilización orgánica menores al límite de detección de la metodología analítica. En la tercera fertilización la situación

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleifera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

se invierte y es la emisión de N_2O correspondiente a la fertilización mineral en las que no se lograron detectar, a diferencia de la fertilización orgánica, que tuvo el pico de emisión más alto de todos los tratamientos (600 ppb).

Pareciera que las bajas temperaturas reducen las emisiones de óxido nítrico en los tratamientos de fertilización orgánica independientemente de si hay o no sombra como se puede ver en la Figura 3. Para las regresiones lineales realizadas se obtuvo un comportamiento leve, descendente, conforme pasan los días de la fertilización, en las emisiones de dióxido de carbono, con algunos puntos de emisión anormales, aunque como se puede ver en los cuadros de resultados de análisis en los anexos, la pendiente no fue significativa en la mayoría de los casos.

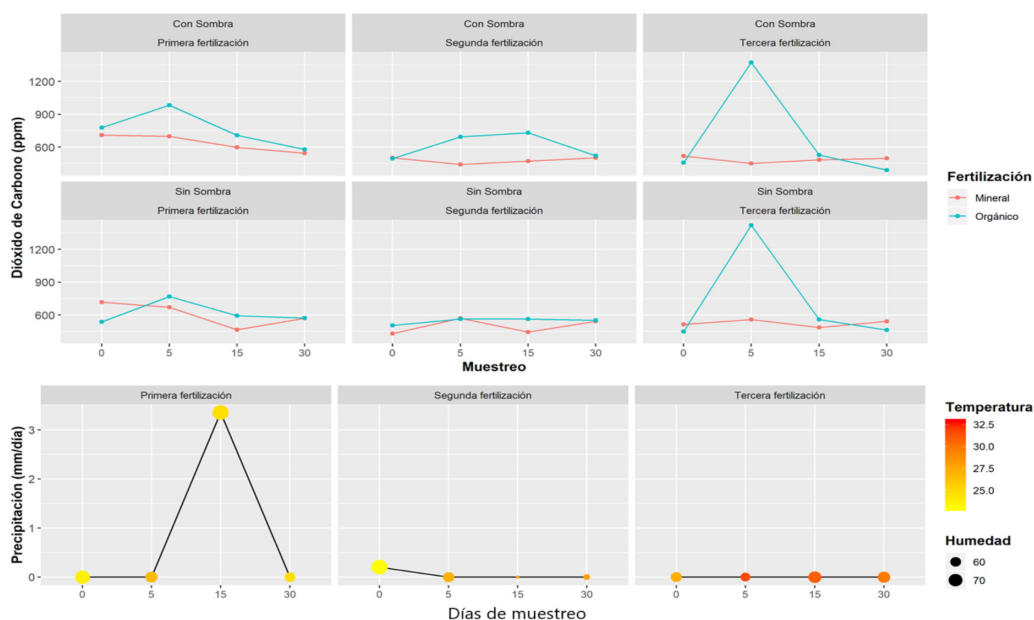


Figura 1
Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento del CO₂ en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.

Fuente: Elaboración propia

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleifera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Hay una independencia entre la emisión del gas con la condición de sombra y fertilización orgánica. Los datos de emisión de CO_2 van disminuyendo con el tiempo en la mayoría de los casos; por lo tanto, los valores de mayor emisión se encuentran cercanos al momento de la aplicación del fertilizante, además no hay normalidad en algunos datos lo que se puede ver con los valores que están lejos de la recta de mejor ajuste.

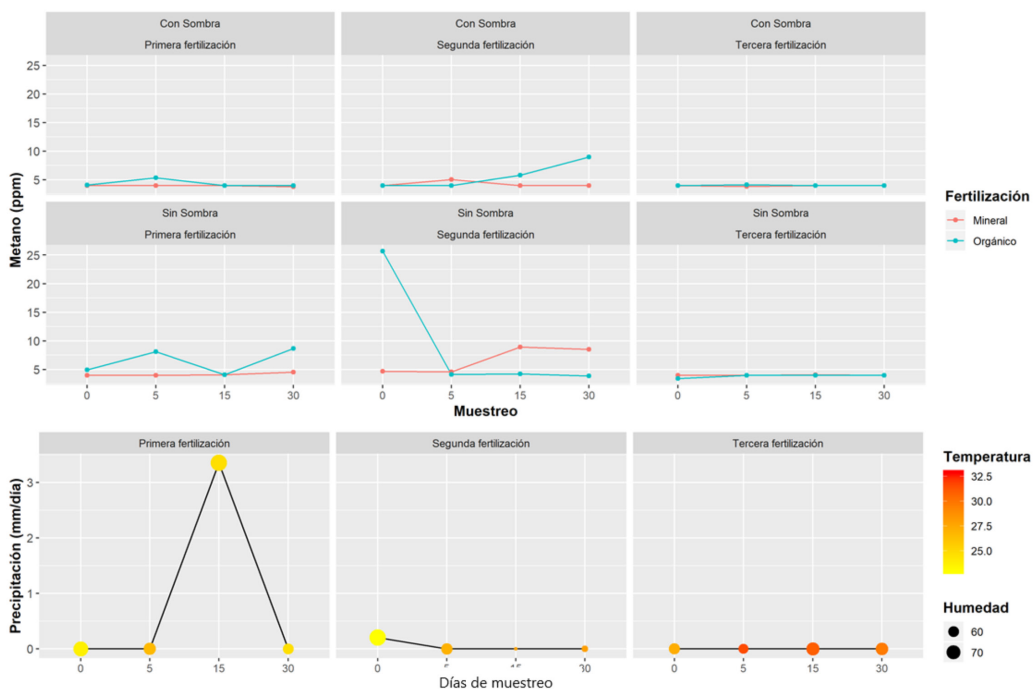


Figura 2

Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento de CH_4 en las tres diferentes fertilizaciones y el clima en los momentos de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Algunas rectas como las de la segunda fertilización a pesar de tener puntos lejos de la recta, estuvieron muy lineales en el tiempo. Las regresiones para el gas de metano estuvieron en su mayoría constantes, como se puede ver en las gráficas, las emisiones fueron bajas o no detectables por la cromatografía y, solo en algunos casos de la segunda fertilización, las emisiones se incrementaron después del día de la aplicación del fertilizante.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

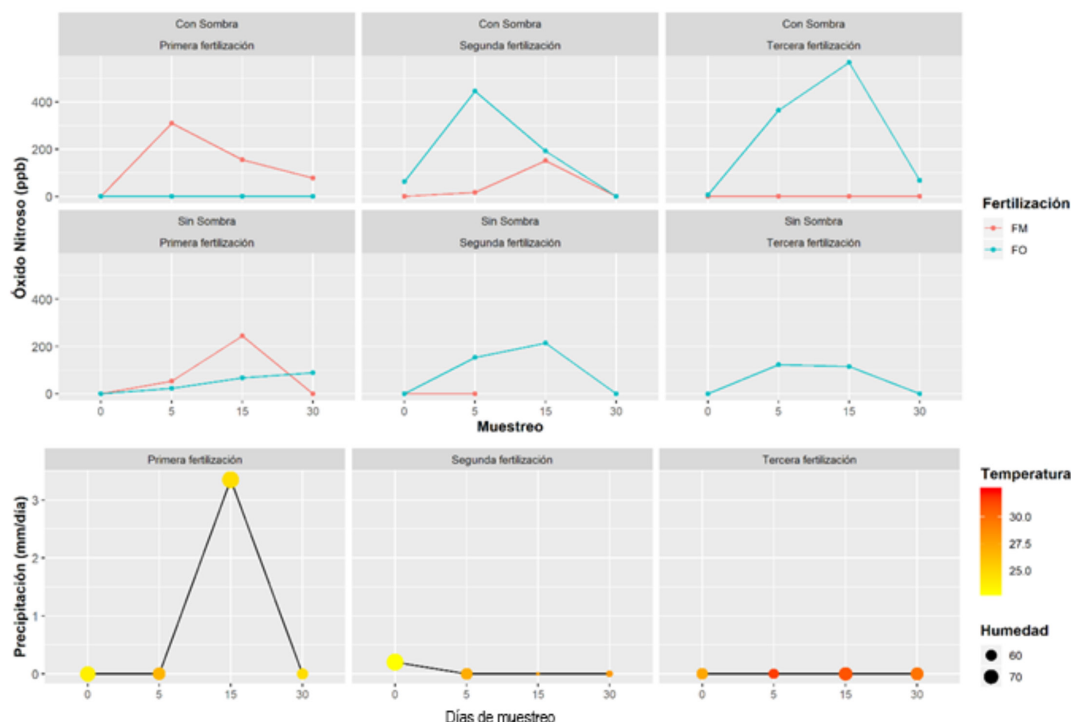


Figura 3

Comportamiento promedio de las repeticiones para cada tratamiento del N_2O en las tres diferentes fertilizaciones y condiciones climáticas en los momentos de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Para el óxido nitrógeno no se realizó las regresiones lineales correspondientes a los tratamientos sin sombra y fertilización mineral para la fertilización 2 y 3 por ausencia de los resultados de laboratorio, las demás se pueden observar en la Figura 3.

En general, todas las regresiones para las emisiones de óxido nitrógeno se mantuvieron constantes en la emisión, por ejemplo, en el caso del tratamiento con sombra y fertilización mineral donde en la primera y segunda fertilización fueron constantes las emisiones a pesar de tener puntos lejos de la recta de mejor ajuste y en la tercera fertilización no se detectó emisiones en laboratorio.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleifera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Con el fin de equiparar los datos a una misma unidad se sumó la totalidad de las emisiones obtenidas para cada tratamiento durante todas las mediciones y se les sacó la media por emisión, cada valor fue convertido a unidades de dióxido de carbono equivalente.

En la Tabla 1 se puede ver que para el CO₂ los casos de mayor emisión fueron en los escenarios con fertilización orgánica habiendo poca diferencia si los tratamientos tenían o no sombra

Tabla 1

Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, y su media para CO₂.

| Tratamiento | Total de emisiones CO ₂ (ppm) | Media en cada medición (ppm) | Desviación estándar |
|-------------|---|---------------------------------|------------------------|
| CS-FM | 19 255 | 534 | 99.36 |
| CS-FO | 24 709 | 686 | 362.1 |
| SS-FM | 19 518 | 542 | 108.6 |
| SS-FO | 22 611 | 628 | 289.59 |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se presentan los totales obtenidos en las mediciones de metano (ppm), el dióxido de carbono equivalente y la media para cada medición, en este caso la mayor emisión estuvo en los tratamientos sin sombra y con fertilización orgánica. Para el óxido nitroso se realizó con los tratamientos que se tenía la totalidad de los datos como se puede ver en el Cuadro 5, con su respectiva equivalencia a CO₂.

Tabla 2

Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para CH₄ y su equivalencia a Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq).

| Tratamiento | Total de emisiones CH ₄ (ppm) | CO ₂ eq para total de emisiones | Media en cada medición (ppm) | CO ₂ eq para media de las mediciones |
|-------------|--|--|------------------------------------|---|
| CS-FM | 579.13 | 13 319.99 | 4.05 | 93.15 |
| CS-FO | 667.44 | 15 351.12 | 4.7 | 108.1 |

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleifera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

| Tratamiento | Total de emisiones CH ₄ (ppm) | CO ₂ eq para total de emisiones | Media en cada medición (ppm) | CO ₂ eq para media de las mediciones |
|-------------|--|--|------------------------------|---|
| SS-FM | 702.38 | 16 154.74 | 4.95 | 113.85 |
| SS-FO | 902.42 | 20 755.66 | 6.31 | 145.13 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Emisiones obtenidas en total en los momentos de medición, su media para N₂O y su equivalencia a Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq).

| Tratamiento | Total de emisiones (ppb) | CO ₂ eq para total de emisiones | Media en cada medición (ppb) | CO ₂ eq para media de las mediciones |
|-------------|--------------------------|--|------------------------------|---|
| CS-FO | 20 426.85 | 6 046 347.6 | 143.85 | 42579.6 |
| SS-FO | 9405.81 | 2 784 119.7 | 65.77 | 19467.92 |

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Dióxido de carbono (CO₂)

Las emisiones de CO₂ obtenidas en esta investigación fueron mayores en la fertilización orgánica, contrario a lo reportado por otras investigaciones realizadas, por ejemplo, la de López *et al.* (2018) en el cultivo de la caña encontraron que los cultivos en transición y orgánicos presentan un menor nivel de emisiones de GEI, con respecto a los cultivos comerciales, con una reducción del 71 % y el 36 % respectivamente.

Otra investigación de la Universidad Politécnica de Madrid, publicada en la agencia SINC (2010), concluyó que los fertilizantes orgánicos, como los purines reducen las producción de CO₂ y CH₄. En el Cuadro 3 se puede ver

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

que los tratamientos con mayor emisión fueron los que estaban sometidos a fertilización orgánica.

En esta indagación las emisiones de CO₂ estuvieron en un rango entre las 600 a las 1200 ppm. En investigaciones realizadas en Suramérica con *Coffea arabica* y *Coffea canephora* se encontró emisión entre las 700 y 900 ppm (Sorgato, 2016), la autora describe que ese es un promedio ideal para el cultivo y su fotosíntesis.

El punto más alto de emisión CO₂ se presentó con la mayor temperatura, a más de 33°C, esto se respalda con la investigación publicada por el SINC (2010) de la Universidad Politécnica de Madrid donde se encontró que el CO₂ se ve inhibido a bajas temperaturas, la razón es que se trata de procesos realizados por microorganismos presentes en el suelo cuya actividad se inhibe a bajas temperaturas.

La utilización de coberturas vegetales en los sistemas productivos es una de las técnicas de mayor influencia en la reducción de emisiones de CO₂, según El-Hage y Hattam (2003), esto podría mejorar la condición del microclima en el sistema, bajando la temperatura y, por ende, reducir las emisiones de CO₂.

Las dos primeras fertilizaciones tuvieron una tendencia a la disminución de CO₂ en el tiempo, según se dedujo de los análisis de regresión, excepto en la última fertilización donde la tendencia fue hacia el ascenso de las emisiones en el tiempo, lo cual podría estar relacionado con un efecto acumulativo de las diferentes fertilizaciones realizadas en el tiempo, o por las altas temperaturas presentadas en esas últimas mediciones a la entrada del verano. Los aumentos de temperatura coinciden con el incremento de los niveles de emisión de CO₂ (Montenegro y Abarca, 2001).

Rikxoort *et al.* (2015) afirman que la producción de café está impactando el clima al emitir gases de efecto invernadero y el cultivo también es vulnerable, por lo cual hicieron una investigación en 5 países latinoamericanos, donde concluyen que una estrategia para la reducción de GEI es la inclusión de cafetales con árboles; sin embargo, en esta investigación respecto a la sombra y las emisiones de CO₂, según la Figura 2, refleja que no hay relación en el experimento en las emisiones tanto con o sin sombra.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Metano

Las emisiones de metano fueron inferiores (0 a 25 ppm) al dióxido de carbono (500 a 1200 ppm), se podría deber a lo mencionado por **Richards (2013)** quien afirma que el metano se libera cuando el material orgánico se descompone en condiciones anaeróbicas. En la investigación pudo ser que al encontrarse en un sistema con condiciones aeróbicas las emisiones fueron bajas en comparación con CO_2 , aunque cabe destacar que como menciona el autor anterior el metano es 25 veces más potente que el dióxido de carbono, pero, a pesar de eso, como se puede ver en el Cuadro 4, cuando las emisiones son equiparadas a dióxido de carbono equivalente aún siguen siendo inferiores a las obtenidas del CO_2 .

En los gráficos hay una disminución en la emisión de metano en los tratamientos con sombra. Además, las emisiones disminuyen en el tiempo, para la tercera fertilización fueron casi nulas.

En los resultados de la investigación las emisiones de la fertilización orgánica fueron mayores que en la mineral, **El-Hage y Hattam (2003)** en su libro *Agricultura orgánica, ambiente y seguridad ambiental*, encontraron que la fertilización con nitrógeno mineral ha demostrado que inhibe la oxidación de CH_4 y, además, aclaran que no existen antecedentes acerca de los efectos de la agricultura orgánica respecto a las emisiones de metano.

Óxido nitroso

El N_2O , como se puede ver en el Cuadro 5, de los resultados es el de mayor potencial de calentamiento global, a pesar de que muchas de las muestras no fueron detectables en el cromatógrafo se puede ver que con los puntos identificados la suma de emisiones cuando se trasladan a dióxido de carbono equivalente es superior comparando con CH_4 y CO_2 .

Valorando los resultados de emisión de óxido nitroso se encontró en la primera fertilización que en tratamientos con sombra hay mayor emisión en los casos donde se aplicó fertilización orgánica, situación similar obtenida por **Louro et al. (2010)** donde midieron las emisiones de óxido nitroso en el cultivo de maíz y obtuvieron que los fertilizantes orgánicos tuvieron emisiones iguales o levemente similares a los obtenidos con una fertilización mineral.

Es probable que la emisión alta de óxido nitroso en tratamientos con fertilización orgánica se deba a que los abonos utilizados son ricos

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

en nitrógeno, como se puede ver en el Cuadro 1, la gallinaza tiene 2.06 y el lombricomposta 2.75 % de masa de nitrógeno, parámetros altos para abonos de origen orgánico, basándonos en experiencia con compost de años anteriores y también en el estudio de [Castro et al. \(2009\)](#) donde examinaron diferentes abonos orgánicos, en los que encontraron porcentajes de nitrógeno entre 0.9 y 2.12 %.

Los picos de emisión de N_2O estuvieron en los tratamientos con fertilización orgánica, con altas temperaturas y bajas precipitaciones, similares resultados obtuvieron [Montenegro y Abarca \(2001\)](#), pero con fertilización con fórmula completa y nitrogenada. En su estudio de emisiones de óxido nítrico en café, hicieron una relación entre las emisiones y la temperatura, encontrando, al igual que en el presente trabajo, tendencia en el incremento de la emisión del gas con el aumento de los grados Celsius.

La mayoría de las gráficas de regresión lineal con curvas de mejor ajuste tuvieron un incremento de emisión conforme pasaban los días después de la aplicación del fertilizante, de manera independiente, si fuese orgánico o mineral, con o sin sombra, al igual que como cita [Montenegro y Abarca \(2001\)](#) hay incrementos en los niveles de emisión de N_2O luego de la aplicación de fertilizante, lo cual demuestra la influencia directa de la fertilización en el patrón de emisión de este gas.

CONCLUSIONES

La metodología utilizada con las cámaras de captura de gas fue práctica por lo fácil de transportarlas, instalarlas y hacer la extracción de las muestras; además de que es un método económico. Algunos inconvenientes fueron la cobertura de alcance y la cantidad de muestras que se puede obtener.

El estudio se basó en los tres principales GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O), como se evidenció en los resultados, el comportamiento de cada uno de los gases es distinto a pesar de que las muestras se hayan tomado en los mismos tratamientos, la misma persona y con condiciones climáticas homogéneas.

En la mayoría de los casos la emisión de los gases en tratamientos fertilizados de forma orgánica fue superior a los casos fertilizados de forma mineral, condición que podría replantear la forma de aplicación de los fertilizantes orgánicos y realizar estudios en el futuro con las mismas

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleifera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

condiciones donde se pueda minimizar la cantidad de fertilizante orgánico, siempre y cuando la calidad de este permita la disminución de la dosis.

Según los resultados la sombra no influyó en la emisión de los gases, indiferente del tipo de fertilización, es probable que sea por la densidad de sombra que tenían los árboles de moringa, además por la etapa de crecimiento en la que se encontraban los árboles en el año de medición.

En el caso del dióxido de carbono se evidencia un incremento de las emisiones en los días de mayor temperatura, lo que es posible porque la actividad microbiana del suelo se ve favorecida a temperaturas altas.

Las emisiones de metano fueron casi nulas a pesar de haber utilizado abonos con materias primas de desechos de producción animal, una posible respuesta sea el gas necesita condiciones anaeróbicas mayores para su formación y emisión.

Para el óxido nitroso, en los casos en que se obtuvo resultados para ambas fertilizaciones, fue mayor la emisión en los tratamientos fertilizados de forma orgánica, porque las fuentes de elaboración de los abonos orgánicos son altas en contenido de nitrógeno.

RECOMENDACIONES

Sería de gran utilidad repetir el experimento con otra metodología como Eddy Covarianza para poder comparar resultados con los obtenidos en esta investigación y, sobre todo, tener una base de datos aún más amplia, por la capacidad de esta metodología de tomar muestras por segundo.

Se recomienda realizar la investigación en años posteriores cuando las diferentes podas de formación hechas en los árboles hayan formado una copa más densa y de mayor cobertura. Aunque cabe destacar que en la plantación se observa, en el verano, mejor condición física visual de las plantas bajo sombra.

Debido a que, a mayor temperatura se da una mayor emisión de CO₂, se recomienda el uso de sombra de cobertura amplia y coberturas vegetales que generen un microclima más fresco para reducir emisiones.

Para el sistema en el que se realizó el trabajo se recomienda incorporar prácticas que permitan el tapado del fertilizante con el fin de que no quede en total exposición al medio ambiente.

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Siempre se debe de ajustar la dosis de fertilizante a la cantidad que necesita la plantación para evitar la producción innecesaria de gases, buscando la sostenibilidad del sistema tanto ambiental como económico.

Es importante elegir el fertilizante no solo de menor emisión de gases, si no el que también mantenga una producción sostenible, sería de gran utilidad hacer un estudio donde se relacione la emisión de gases por unidad de producto, en este caso con la cantidad de café producido.

También sería de beneficio repetir este ensayo de nuevo para poder comparar los resultados obtenidos con estas condiciones en otro año, con sombra más densa y con un efecto acumulado de diferentes ciclos de fertilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, A., Henríquez, C. y Bertsh, F. (2009). *Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos*. *Agronomía Costarricense*. 33(1). [Archivo PDF] https://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n01-031.pdf
- El-Hage, N. y Hattam, C. (2003). *Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria*. FAO: *Ambiente y Recursos Naturales*. N.º 4. FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/y4137s/y4137s00.htm>
- Holdridge, L. (1967). *Life Zone Ecology*. Edición revisada. CCT. San José, Costa Rica. [Archivo PDF] http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/holdridge_1966_-_life_zone_ecology.pdf
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). *Participación del sector agropecuario latinoamericano en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en otros foros internacionales*. San José, Costa Rica. [Archivo PDF] http://infoagro.net/archivos_Infoagro/Ambiente/biblioteca/ES_213vbfh225561.pdf
- López, A., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., Abadía, J., Orozco, O. A., Sandoval, J. y Arenas, F. (2018). *Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas*. Vol. 36(1). doi.10.14482 [Archivo PDF] <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v36n1/2145-9371-inde-36-01-00003.pdf>
- Louro, A., Báez, D., García, M. y Castro, J. (2010). *Emisiones de Óxido nitroso en un suelo cultivado con maíz tras el aporte de distintos tipos de fertilizantes*. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Coruña, España. [Archivo PDF] <http://ciam.gal/uploads/publicacions/841archivo.pdf>

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

- Montenegro, J. y Abarca, S. (2001). *Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global*. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. ISBN9977-9921-9-3. [Archivo PDF] <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-6074.pdf>
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2018a). *NAMA Café: una herramienta para el desarrollo bajo en emisiones*. NAMA Café de Costa Rica. [Archivo PDF] <http://www.mag.go.cr/informacion/prog-nac-cafe-NAMA-herramienta-desarrollo-bajo-en-emisiones.pdf>
- Nationally Appropriate Mitigation Actions. (2018b). *NAMA Café: una herramienta para el desarrollo bajo en emisiones*. NAMA Café de Costa Rica. [Archivo PDF] <https://bit.ly/3LArtDk>
- Noponen, M., Edwards-Jones, G., Hagggar, J., Soto, G., Attarzadeh, N. & Healey, J. (2012). *Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management*. Agriculture, ecosystems and environment. Vol. 151, 6-15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880912000345>
- Richards, M. (2013). *¿Es posible reducir las emisiones en la agricultura, a la vez que se mantienen los rendimientos?* Climate Change Agriculture and Food Security. <https://ccafs.cgiar.org/es/blog/%C2%BFes-posible-reducir-las-emisiones-en-la-agricultura-la-vez-que-se-mantienen-los-rendimientos#.XjyHAGhKiUk>
- Rikxoort, H., Schroth, G., Läderach, P. y Rodríguez, B. (2015). *Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production*. Agronomy for Sustainable Development. Springer. doi. 10.1007. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-014-0223-8>
- Segura, M. y Andrade, H. (2012). *Huella de carbono en cadenas productivas de café (Coffea arabica L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica*. ISSN 1909-2474 [Archivo PDF] <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n35/n35a05.pdf>
- SINC. (2010). *Fertilizantes orgánicos contra el cambio climático*. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Fertilizantes-organicos-contr-el-cambio-climatico>
- Sorgato, V. (2016). *Emisión de CO₂ tiene un lado positivo*. Agronomía Sustentable. <https://agronomiasustentable.wordpress.com/2016/09/12/emision-de-co2-tiene-un-lado-positivo/>

Emisiones de gases de efecto invernadero en una plantación de café (*Coffea arabica*) con y sin sombra de moringa (*Moringa oleífera*) bajo fertilización orgánica y mineral en Barva de Heredia

Licda. Diana Espinoza Ballester, Licda. Ellen Sancho Barrantes



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.