

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
Estimación de la respiración del suelo en los potreros de
Ganado Lechero en la Sección de Ordeño de la
Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Estudiante

Jorge Alfredo Ramos Diaz

Asesores

Juan Carlos Flores Lopez, Ph.D.

Ricardo Alexander Peña Venegas, Ph.D.

Marielena Moncada Laínez, Ph.D.

Honduras, agosto 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Índice de Figuras	5
Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Metodología.....	11
Sitio de Estudio	11
Categorización de las Pasturas	12
Protocolo para Determinar la Respiración Basal de Suelos en Recipientes Herméticos	13
Diseño de Estudio	14
Análisis Estadístico	15
Resultados y Discusión.....	17
Conclusiones	27
Recomendaciones.....	28
Referencias.....	29

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Correlación entre el tipo de cobertura, profundidad y la respiración del suelo.....	18
Cuadro 2 ANOVA del porcentaje de carbono orgánico	19
Cuadro 3 Análisis “Tukey” de medias del porcentaje de Carbono Orgánico con relación al tipo de cobertura	19
Cuadro 4 ANOVA del porcentaje de Nitrógeno (“Kjeldahl”).....	20
Cuadro 5 Análisis “Tukey” de Medias del Porcentaje de Nitrógeno (Kjeldahl) en Relación al Tipo de Cobertura.....	20
Cuadro 6 ANOVA del porcentaje de Materia Orgánica	21
Cuadro 7 Análisis “Tukey” del porcentaje de Materia Orgánica con relación al tipo de cobertura	22
Cuadro 8 ANOVA de la respiración basal (mg CO ₂ /g suelo/día) con respecto a la profundidad, cobertura y día.....	22
Cuadro 9 Análisis “Tukey” de la respiración basal (mg CO ₂ /g suelo/día) en relación al tipo de cobertura	23
Cuadro 10 Análisis “Tukey” de la respiración basal (mg CO ₂ /g suelo/día) en relación a los días.....	24
Cuadro 11 Análisis “Tukey” de la respiración basal (mg CO ₂ /g suelo/día) en relación al tipo de cobertura × día.....	24

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de los lotes de Ganado Lechero de Zamorano	11
Figura 2 Ilustración de la Cajuela de muestreo.....	12
Figura 3 Producción de la respiración basal (mg CO ₂ /g suelo/día) a 10 cm de profundidad	26
Figura 4 Producción de la respiración basal (mg CO ₂ /g suelo/día) a 20 cm de profundidad	26

Resumen

La liberación del carbono del suelo en forma de CO₂ se denomina respiración, un proceso clave en el ciclo del carbono. Está determinado por microorganismos y factores ambientales como humedad y temperatura, impactando la salud del suelo, disponibilidad de nutrientes y producción agrícola. Un adecuado manejo de pasturas y suelos puede incrementar la captura de carbono, contribuyendo a mitigar el cambio climático y favoreciendo la sostenibilidad ambiental. Este estudio investigó el índice de respiración del suelo en los potreros de ganado lechero de la sección de ordeño en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, relacionándolo con la profundidad, carbono orgánico, nitrógeno, materia orgánica y tipo de cobertura presentes en cada uno de los potreros. El objetivo principal fue estimar el índice de respiración basal mediante una evaluación de laboratorio utilizando recipientes herméticos para medir la cantidad de CO₂ producido por gramo de muestra.

Los resultados indicaron que la zona de control con cobertura de bosque mostró la mejor respiración del suelo y presentó un mayor contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno. Se concluye que, en cuanto a la profundidad del suelo, a menor profundidad hay un mayor contenido de carbono orgánico, nitrógeno y materia orgánica. Entre las diferentes coberturas evaluadas, el bosque siempre mostró el mayor porcentaje de estos elementos en comparación con los diversos tipos de pasto, junto con una mayor respiración basal.

Palabras clave: Bosque, carbono, pastos, respiración del suelo, suelo

Abstract

The release of carbon in the form of CO₂ is called soil respiration, a key process in the carbon cycle. It is determined by microorganisms and environmental factors such as moisture and temperature, impacting soil health, nutrient availability and agricultural production. Proper pasture and soil management can increase carbon sequestration, contributing to climate change mitigation and environmental sustainability. This study investigated the soil respiration rate in dairy cattle paddocks of the milking section at the Zamorano Panamerican Agricultural School, relating it to the depth, organic carbon, nitrogen, organic matter and type of cover present in each of the paddocks. The main objective was to estimate the basal respiration rate through a laboratory evaluation using airtight containers to measure the amount of CO₂ produced per gram of sample. The results indicated that the control zone with forest cover showed the best soil respiration and presented a higher content of organic matter, organic carbon and nitrogen. In conclusion, with respect to soil depth, it was observed that the shallower the soil depth, the higher the organic carbon, nitrogen and organic matter content. Among the different coverages evaluated, the forest always showed the highest percentage of these elements in comparison with the different types of pasture, in addition to a higher basal respiration.

Key words: Carbon, forest, pastures, soil respiration, soil

Introducción

Desde antes de la revolución industrial, los seres humanos han trabajado el suelo de diferentes maneras para producir alimentos, pero siempre han enfrentado limitaciones de diferentes tipos. Con la revolución industrial y, más tarde, con la revolución verde, se lograron niveles de producción nunca vistos, extendiendo la disponibilidad de alimentos a casi todo el mundo. Sin embargo, las malas prácticas de manejo de suelos utilizadas en el pasado han provocado degradación de los suelos, la cual, pone en riesgo la productividad de los sistemas agropecuarios (García et al., 2012).

Las pasturas abarcan aproximadamente el 69% del área agrícola mundial (Ritchie y Roser, 2013). Sin embargo, estas no deben estar exentas de un adecuado manejo, ya que, como indica Cisneros (2019), uno de los desafíos para los sistemas de ganadería no estabulada o semi-estabulada es garantizar una adecuada nutrición para los rumiantes a través de las pasturas. La calidad de las pasturas varía debido a múltiples factores, incluyendo el cambio climático y el manejo que se les da.

Es importante destacar que las pasturas no solo son esenciales en la producción ganadera, sino que también desempeñan un papel crucial en la captura y almacenamiento de carbono. Almacenan cerca de un tercio de las reservas mundiales de carbono y pueden actuar como un importante sumidero de carbono en el suelo (Yongfei y Cotrufo, 2022). Según la Zirkle et al. (2011), las pasturas pueden capturar desde 460 hasta 1,270 toneladas de carbono por hectárea, dependiendo del manejo que se les aplique. La mayor parte de esta captura ocurre en los primeros 30 cm de profundidad, a través de las raíces de las plantas, y cuando estas mueren, el carbono se reintegra al ciclo del carbono (Skinner y Dell, 2016).

El ciclo del carbono desempeña un papel fundamental al analizar el cambio climático, principalmente debido a la relación entre el aumento de CO₂ generado por las actividades humanas y la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. Como indicó Jaramillo (2006), cuando el carbono se combina con el oxígeno, forma dióxido de carbono, un gas que regula la temperatura en la Tierra. Este

flujo de carbono también se conoce como ciclo del carbono. También Jaramillo (2006) señala que hay una diferencia entre el carbono fijado y el carbono liberado por las plantas durante su proceso de crecimiento, y con el tiempo, este último vuelve a la atmósfera. A este proceso se le conoce como respiración del suelo.

La respiración del suelo, también llamada flujo de CO₂, es un proceso de gran importancia en el ciclo del carbono y constituye el segundo flujo más significativo de carbono entre la atmósfera y la tierra (Yáñez et al., 2017) . Este flujo depende de los microorganismos y organismos presentes en el suelo y las raíces de las plantas, y está influenciado por factores como la humedad, la temperatura y la textura del suelo (López-Teloxa y Monterroso-Rivas, 2020). La respiración del suelo es un indicador clave de la salud del suelo, ya que mide la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica en él (Natural Resources Conservation Service [NRCS], 2014). Además, la respiración del suelo tiene un impacto directo en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y, por lo tanto, en la productividad de los sistemas agropecuarios.

Para comprender el funcionamiento de un ecosistema, es fundamental comprender el comportamiento de la respiración del suelo. Los cambios en el uso del suelo, así como las prácticas de manejo, son factores que influyen en el balance de carbono (López-Teloxa et al., 2020). Un manejo adecuado de las pasturas y del suelo pueden contribuir a aumentar la captura de carbono y reducir las emisiones de CO₂, ayudando a mitigar el cambio climático y promoviendo la sostenibilidad ambiental.

En un estudio realizado por Toledo et al. (2020), se analizó la respiración del suelo en muestras de suelo sometidas a riegos controlados, evaluando diferentes tratamientos de riego (seco, regado y con control de riego). Los resultados demostraron que la cantidad de respiración del suelo es significativamente menor en las muestras secas y mayor en las muestras con riego controlado.

En el presente estudio, se estimó la respiración del suelo generada en los potreros de la sección de ganado lechero de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, considerando el tipo de

cobertura, materia orgánica, carbono, nitrógeno y la profundidad. Los objetivos del estudio fueron: 1) Evaluar las propiedades químicas y biológicas del suelo (carbono orgánico, nitrógeno y el contenido de materia orgánica) en cada cobertura, 2) Analizar la relación entre las distintas coberturas y la respiración del suelo, y 3) Comparar las diferencias en los valores de la respiración del suelo a diferentes profundidades. Estos resultados pueden brindar información valiosa para mejorar el manejo de las pasturas y promover prácticas agrícolas más sostenibles.

Metodología

Sitio de Estudio

La investigación fue realizada en los pastizales de la unidad de ganado de leche en la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada a 820 msnm en el municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras. La Figura 1 muestra las áreas designadas para llevar a cabo el estudio, donde se excluyó el área denominada "Mapa 4", ya que no fue considerada en la investigación. El clima de la zona es tropical seco, con una precipitación promedio anual de 1,105 mm y una temperatura mensual promedio de 23 °C (Duarte y Montaña, 2020).

El estudio constó de tres etapas. En la primera etapa, se llevó a cabo la categorización de las diferentes coberturas presentes en el área de estudio. Posteriormente, se procedió a comparar la respiración del suelo en función del tipo de pastura, analizando los niveles de carbono, nitrógeno y materia orgánica. Finalmente, se realizó un análisis para determinar la relación entre la respiración basal, la profundidad del suelo y el tiempo transcurrido desde la toma de muestras hasta su incubación.

Figura 1

Mapa de ubicación de los lotes de Ganado Lechero de Zamorano



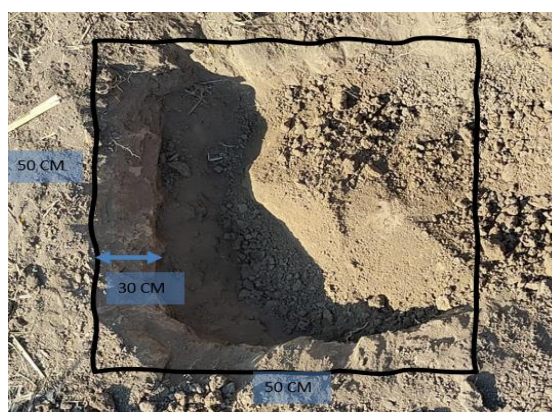
Categorización de las Pasturas

El primer paso realizado en este estudio fue delimitar cada uno de los potreros, marcando las zonas por especie de pastura; entre estas está el pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), el pasto Tanzania (*Panicum máximum*) y el pasto Tobiata (*Megathhysus*). Para la delimitación, se realizó un mapa usando herramientas tecnológicas como un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para posicionamiento de los límites y archivos proporcionados por la sección de ordeño, utilizados en el “software QGIS®” versión 3.26 (“Quantum Geographic Information System”, por sus siglas en inglés [QGIS]). Una vez delimitada el área de estudio se procedió a numerar de 1 a 20 cada potrero de cada lote, para luego ir seleccionando los potreros pares. Se eligieron 5 de los 20 potreros de cada zona, con coberturas específicas que incluyeron tres tipos de pasto, además de la zona de control representada por el bosque.

Para cada potrero seleccionado, se crearon dos muestras compuestas, una a una profundidad de 0 a 10 cm y otra a una profundidad de 10 a 20 cm. Estas muestras compuestas se formaron mediante un muestreo aleatorio, donde se tomaron al azar 10 submuestras utilizando cajuelas de dimensiones de 50 × 50 × 30 cm (Figura 2). En total, se obtuvieron 40 muestras, considerando los cuatro tipos de cobertura, los cinco potreros de muestra y las dos profundidades definidas. Se marcó cada muestra por el nombre de la cobertura seguido de la profundidad la cual la muestra se tomó.

Figura 2

Ilustración de la Cajuela de muestreo



Para el almacenamiento de las muestras compuestas, se procedió a almacenar la muestra obtenida en un refrigerador a una temperatura menor o igual a 4 °C para poder conservar la actividad microbiana presente en las muestras. Daglio et al. (2005) evaluaron diferentes tipos de suelos conservados a temperaturas de 4 °C y menores a 0 °C, mostrando que no existen diferencias significativas en cuanto a la actividad microbiana luego de un mes de haberlas conservado. Para este estudio se conservó las muestras de suelo a temperaturas de 4 °C, durante un mes.

Protocolo para Determinar la Respiración Basal de Suelos en Recipientes Herméticos

Para el análisis del porcentaje de carbono orgánico, nitrógeno y materia orgánica, las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Se aplicaron los métodos “Walkley-Black” y “Kjeldahl” (AOAC 2001.11) para determinar los porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno, respectivamente. En el caso del porcentaje de materia orgánica, se utilizaron enfoques gravimétricos y colorimétricos. Para el análisis de la respiración del suelo se adaptó el protocolo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2023), separando por procesos la implementación del protocolo. A continuación, se explica cada uno de los pasos:

Para el primer paso, se pesó 20 gr de la muestra de suelo fresco y tamizado con un tamaño de partícula de 2 mm. Luego, se colocó la muestra en un frasco o matraz de *Erlenmeyer* hermético vacío.

Para el segundo paso se procedió a preparar una solución de NaOH al 0.1 N de concentración, para luego depositar 10 mL de esta solución a un recipiente dentro del frasco hermético. Después, el frasco fue sellado lo más rápido posible para evitar pérdidas.

El tercer paso fue la incubación de las muestras en un lugar oscuro o que no tenga entradas de luz directa hacia las muestras, a una temperatura promedio de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ durante 24 horas.

El cuarto paso inicio después de haber cumplido el tiempo de 24 horas de tiempo de incubación, donde se retiró el recipiente con NaOH y en conjunto a 3 mL de BaCl_2 se depositó a un

Erlenmeyer de menor tamaño para precipitar el carbonato presente en la muestra. Finalmente, se añadió tres gotas de fenolftaleína a la solución para iniciar el proceso de titulación.

En el último paso se procedió a titular la solución con HCl al 0.1 N de concentración, agregando cuidadosamente gota a gota hasta que la reacción ácido-base paso de color rosa magenta a incoloro.

Se realizó mediciones en los días 1, 3 y 5 de incubación. En cada medición, se cambió la solución de NaOH para realizar la titulación. Además, es importante tener en consideración que se mantuvo el frasco de suelo cerrado en todo momento. Es importante mencionar que al mismo tiempo se preparó un blanco sin suelo, que consiste en colocar un recipiente vacío y otro con NaOH al 0.1 Normal, sellándolos y repitiendo los pasos anteriores.

Finalmente, para la obtención del valor de la respiración de suelo por muestra, se utilizó la Ecuación 1.

$$\text{Respiracion del suelo} = \frac{(B - S) \times E}{W} \quad [1]$$

Donde:

Respiración del Suelo = mg CO₂/g suelo/día

B = Volumen de HCl utilizado en el blanco

S = Volumen HCl utilizado en la titulación de la muestra

W = Peso del suelo

E = Factor de corrección de CO₂ equivalente: 2.2 (0.1 N)

Diseño de Estudio

Este es un estudio cuantitativo, con un alcance descriptivo, muestral. Es un estudio con un arreglo factorial 4 × 2 × 3 que analizo las características del suelo en coberturas de bosque y pastos (Estrella, Tanzania y Tobiata). Tomando en cuenta también como factores la profundidad de 10 y 20

cm y el tiempo en días 1, 3 y 5 de incubación de las muestras, con cinco repeticiones. Dando una estimación de la respiración del suelo en los potreros de la Unidad de Ganado de Leche en Zamorano.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados de manera inferencial, sujetas a una prueba de normalidad de “Kolmogórov-Smirnov”. Posteriormente, se analizó la respiración basal con cada factor (profundidad, tiempo y cobertura) y viendo si existe una interacción con el coeficiente de correlación “ r ” de Pearson entre ellas con ayuda del programa “Microsoft Excel®” versión 2023.

Seguido de una prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores para evaluar la cantidad en porcentaje de carbono orgánica, nitrógeno y materia orgánica como variables dependientes con cada cobertura y profundidad como variables independientes. Además de un ANOVA de tres factores para la respiración basal como variable dependiente con el tiempo, cobertura y profundidad siendo los factores independientes. Estos análisis se realizaron en el programa “Infostat®” 2.0. para los factores que tuvieron diferencias significativas se aplicó una prueba ““Tukey””. Todos los análisis estadísticos fueron hechos con un alfa de 5% para una comparación de medias. Se realizó una regresión lineal de la producción de CO₂ durante los tres días de evaluación de la respiración. Se obtuvo la pendiente que indica la tasa de cambio de la producción de CO₂ por gramo de muestra con respecto a los días.

Para evaluar el nivel de correlación entre las variables se utilizó la escala de Hernández et al. (2018), misma que indica que los valores de 0 a 0.1 es una correlación nula, para los valores de 0.1 a 0.3 corresponde a una correlación débil, para los valores de 0.3 a 0.5 es una correlación moderada y para los valores de 0.5 hasta 1 es una correlación fuerte. También indican que el signo que acompaña al valor define si es una correlación positiva (+) o negativa (-). Para el coeficiente de determinación (R^2), Alberola (2021) determina que, un valor de muy significativo de R^2 es de 0.8 en adelante. En este estudio se utilizó un R^2 de 0.8 para indicar que variabilidad existe en la regresión para el análisis de la respiración basal. Para este análisis se usó la Ecuación 2.

$$Y = mX + \beta + \varepsilon$$

[2]

Donde:

Y = Respiracion basal

m = Tasa marginal de cambio de la respiracion con respecto a los días

β = Respiracion inicial de la muestra

ε = Error

Resultados y Discusión

Es importante considerar que las propiedades del suelo están interrelacionadas. Por este motivo, en este estudio se evaluó la relación entre los factores químicos y biológicos del suelo, incluyendo la materia orgánica, el carbono orgánico, el nitrógeno, la profundidad y el tipo de cobertura, en relación con la respiración del suelo.

Se encontró un comportamiento similar al estudio realizado por Lizcano et al. (2022), el cual investigó suelos con labranza convencional y labranza mínima y observó el efecto de la mecanización en la materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno entre suelos trabajados y suelos con una mínima actividad antropogénica. Además, se identificaron diferencias significativas en relación con la profundidad del suelo y el tipo de cobertura utilizado, que en este caso fue algodón. Estas observaciones resaltan la importancia de considerar múltiples factores para comprender la dinámica de la respiración del suelo en diferentes condiciones agrícolas.

Con el diseño implementado en el estudio se determinó que existe una correlación entre la producción de CO₂ por gramo de suelo a las diferentes profundidades durante un periodo de tiempo, tal como se muestra en el Cuadro 1. Además, se obtuvo, un nivel de correlación fuerte entre cada una de las coberturas y las dos profundidades durante el periodo de análisis de la respiración, esto en base a lo descrito por Hernández et al. (2018) que menciona que para los valores de 0 a 0.1 es una correlación nula, de 0.1 a 0.3 es una correlación débil, de 0.3 a 0.5 es una correlación moderada y de 0.5 hasta 1 es una correlación fuerte.

En el Cuadro 1, se pueden observar los coeficientes de correlación de Pearson para Tanzania 10 y Tanzania 20, que muestran una fuerte correlación negativa (- 0.95) entre ambas mediciones con el tiempo. Esto implica que a medida que avanza el tiempo, los niveles de respiración disminuyen en estas áreas. Similarmente, para Estrella 10 y Estrella 20, el coeficiente de correlación es de - 0.92, también indicando una correlación negativa entre las mediciones. En el caso de Tobiata 10 y Tobiata 20, el coeficiente de correlación es - 0.88, lo que sugiere una correlación negativa, aunque ligeramente

más débil que en los casos anteriores. Por último, para Bosque 10 y Bosque 20, el coeficiente de correlación es - 0.89, mostrando nuevamente una correlación negativa, con una fuerza similar a la correlación encontrada para Tobiata 20.

En resumen, existe una relación directa entre la profundidad y el tipo de cobertura que afecta la producción de la respiración basal. Comportamiento similar reportado por Hinojosa et al. (2021) que indica que hay una correlación directa entre la profundidad y la temperatura, viéndose alterada por la época del año, el tipo de suelo y la cobertura que se esté analizando, teniendo una variación en cuanto a la producción de la respiración basal.

Cuadro 1

Correlación entre el tipo de cobertura, profundidad y la respiración del suelo

	Tanzania 10	Tanzania 20	Estrella 10	Estrella 20	Tobiata 10	Tobiata 20	Bosque 10	Bosque 20
r de Pearson	-0.95	-0.95	-0.92	-0.96	-0.95	-0.88	-0.89	-0.89

Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la respiración del suelo en función de la profundidad y el tipo de cobertura, tal como se muestra en el Cuadro 2. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Rodríguez-Murillo et al. (2004), quienes investigaron la variación del porcentaje de carbono orgánico en el primer horizonte de tres áreas en España con distintos tipos de cobertura, como bosques y pastizales. En su estudio, encontraron que los bosques presentaban un mayor porcentaje de carbono orgánico que los pastizales. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la interacción entre la profundidad y la cobertura. Esto sugiere que, independientemente del tipo de cobertura, la relación entre la respiración del suelo y la profundidad se mantuvo constante.

Cuadro 2*ANOVA del porcentaje de carbono orgánico*

V.E.	Suma de Cuadrados	df	MS	F	Probabilidad
Modelo	21.05	7	3.01	16.29	<0.0001
Profundidad	1.02	1	1.02	5.51	0.0252
Cobertura	19.08	3	6.36	34.47	<0.0001
Profundidad × Cobertura	0.95	3	0.32	1.71	0.1843
Error	5.91	32	0.18		
Total	26.95	39			

Nota. V.E. = Variables Estándar

En el Cuadro 3, se puede apreciar que el bosque presenta un contenido de carbono significativamente mayor en comparación con todos los pastos. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos pastos. Para realizar un análisis más detallado de las medias, se llevó a cabo una prueba de “Tukey”. Estos resultados son consistentes con lo mencionado por Franzluebbbers (2002), quien encontró que en suelos sin labranza hay un mayor porcentaje de carbono orgánico en comparación con los suelos que han sido sometidos a labranza.

Cuadro 3*Análisis “Tukey” de medias del porcentaje de Carbono Orgánico con relación al tipo de cobertura*

Cobertura	Media	n
Bosque	3.54 ± 0.14 a	10
Estrella	2.05 ± 0.14 b	10
Tobiatá	2.04 ± 0.14 b	10
Tanzania	1.80 ± 0.14 b	10

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el Cuadro 4, se muestran las diferencias significativas ($p < 0.05$) en el porcentaje de nitrógeno presente en el suelo en relación con la profundidad y la cobertura. Estos resultados son consistentes con los presentados por Madrigal et al. (2019), quienes también observaron que el porcentaje de nitrógeno se ve influenciado tanto por la profundidad como por la cobertura del suelo. Específicamente, se observó que, a mayor profundidad, la cantidad de nitrógeno disminuye. Además, se determinó que no existe una diferencia significativa en el porcentaje de nitrógeno en relación con la interacción entre la profundidad y la cobertura del suelo.

Cuadro 4*ANOVA del porcentaje de Nitrógeno (“Kjeldahl”)*

V.E.	Suma de Cuadrados	df	MS	F	Probabilidad
Modelo	0.16	7	0.02	18.87	<0.0001
Profundidad	0.01	1	0.01	6.38	0.0167
Cobertura	0.14	3	0.05	39.38	<0.0001
Profundidad × Cobertura	0.01	3	0.003	2.53	0.0748
Error	0.04	31	0.0012		
Total	0.19	39			

Nota. V.E. = Variables Estándar

En el Cuadro 5, se evidencia una diferencia significativa entre el bosque y el resto de las pasturas en cuanto al contenido de nitrógeno presente en cada muestra. El bosque evidencia una mayor cantidad de nitrógeno en comparación con los pastos. Estos resultados están en línea con lo explicado por Blanco et al. (2019), quienes encontraron que los suelos con actividad ganadera tienden a tener una menor cantidad de nitrógeno que los suelos sin actividad humana. Esto se debe a la influencia de la actividad animal en la cobertura de pasturas, que puede alterar el ciclo del nitrógeno, principalmente debido a la desigualdad en la distribución de los desechos de los animales y la compactación que pueden generar en el suelo.

Para evitar el sesgo que pueda surgir debido a la actividad de los animales en cada potrero, en este estudio se tomaron 10 submuestras de manera aleatoria. Esta estrategia de muestreo aleatorio busca reducir la influencia de la actividad ganadera y obtener resultados más representativos y precisos en la evaluación del contenido de nitrógeno en el suelo.

Cuadro 5*Análisis “Tukey” de Medias del Porcentaje de Nitrógeno (Kjeldahl) en Relación al Tipo de Cobertura*

Cobertura	Media	n
Bosque	0.31 ± 0.01 a	10
Estrella	0.19 ± 0.01 b	10
Tobiatá	0.18 ± 0.01 b	10
Tanzania	0.16 ± 0.01 b	10

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo con Pardo-Plaza et al. (2019), en su estudio obtuvo como la presencia de cultivos de café en sistemas agroforestales afecta a la cantidad de materia orgánica presente en el suelo influye en la actividad microbiana, pero que no encuentra un cambio en cuanto a la profundidad. Este comportamiento se refleja en el Cuadro 6 del ANOVA del porcentaje de materia orgánica, donde se observa que hay diferencias significativas en el porcentaje de materia orgánica en función de las distintas profundidades y coberturas. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en el porcentaje de materia orgánica con relación a la interacción entre la profundidad y la cobertura. Estos hallazgos sugieren que la cantidad de materia orgánica en el suelo juega un papel importante en la actividad microbiana puesto que, a una mayor actividad microbiana hay una mayor respiración basal y viceversa.

Cuadro 6

ANOVA del porcentaje de Materia Orgánica

V.E.	Suma de Cuadrados	df	MS	F	Probabilidad
Modelo	62.25	7	8.89	16.23	<0.0001
Profundidad	3	1	3	5.47	0.0258
Cobertura	56.44	3	18.81	34.33	<0.0001
Profundidad*Cobertura	2.81	3	0.94	1.71	0.1849
Error	17.54	32	0.55		
Total	79.79	39			

Nota. V.E. = Variables Estándar

En el Cuadro 7 del análisis “Tukey” del porcentaje de materia orgánica con relación al tipo de cobertura, se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el bosque y las pasturas en cuanto al porcentaje de materia orgánica. Estos resultados coinciden con el estudio de Cairo-Cairo et al. (2017), el cual destaca que en las coberturas naturales como en el bosque, se encuentra un mayor porcentaje de materia orgánica a mayor profundidad. Esto se debe a la presencia de un sistema radicular más desarrollado en comparación con otras coberturas. Estos hallazgos sugieren que el bosque es la cobertura con la mayor actividad microbiana presente en el suelo, lo cual está estrechamente relacionado con su mayor contenido de materia orgánica. La presencia de un sistema radicular más

extenso en el bosque contribuye a la acumulación de materia orgánica en las capas más profundas del suelo, lo que a su vez fomenta la actividad de los microorganismos.

Cuadro 7

Análisis "Tukey" del porcentaje de Materia Orgánica con relación al tipo de cobertura

Cobertura	Media	n
Bosque	6.10 ± 0.23 a	10
Estrella	3.53 ± 0.23 b	10
Tobiatá	3.52 ± 0.23 b	10
Tanzania	3.10 ± 0.23 b	10

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Se realizó un análisis de la respiración basal utilizando un ANOVA de tres vías, como se muestra en el Cuadro 8. Los factores considerados fueron la profundidad, la cobertura y el día de incubación. Los resultados indicaron que no se encontraron diferencias significativas en la generación de CO₂ por gramo de muestra entre ambas profundidades ni en la interacción de la profundidad con otros factores.

Por otro lado, se identificaron diferencias significativas en la generación de CO₂ entre los diferentes días de incubación, los tipos de cobertura y la interacción entre estos dos factores. Estos resultados concuerdan con el estudio de Rodríguez et al. (2009), que muestra que la respiración basal puede experimentar cambios significativos según la cobertura y los días en que las muestras fueron incubadas. Es importante destacar que, si bien se encontró que la mayor actividad microbiana se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad, no se observaron diferencias significativas entre las profundidades en este análisis.

Cuadro 8

ANOVA de la respiración basal (mg CO₂/g suelo/día) con respecto a la profundidad, cobertura y día

V.E.	Suma de Cuadrados	df	MS	F	Probabilidad
Modelo	0.06	23	0.0027	31.45	<0.0001
Profundidad	0.000049	1	0.000049	0.58	0.4469
Cobertura	0.01	3	0.0021	24.87	<0.0001
Día	0.05	2	0.03	312.73	<0.0001
Profundidad*Cobertura	0.00034	3	0.00031	1.35	0.2643

V.E.	Suma de Cuadrados	df	MS	F	Probabilidad
Profundidad*Día	0.00018	2	0.000092	1.08	0.3426
Cobertura*Día	0.00016	6	0.00021	2.44	0.0307
Profundidad*Cobertura*Día	0.00016	6	0.000027	0.32	0.9243
Error	0.01	96	0.000085		
Total	0.07	119			

Nota. V.E. = Variables Estándar

En el Cuadro 9, se puede apreciar cómo la cobertura de bosque muestra una mayor respiración basal en comparación con las pasturas. Esto puede atribuirse al hecho de que el bosque es una cobertura donde no hay actividad humana presente, lo que favorece una mayor actividad microbiana en el suelo y, por lo tanto, una mayor respiración basal. Estos resultados son consistentes con los presentados por Jaurixje et al. (2013), quienes realizaron una comparación entre el bosque y otras coberturas como cebolla, pasto, aguacate, ají dulce y barbecho. En su estudio, también encontraron que el bosque exhibe la mayor respiración basal entre todas las coberturas analizadas.

Cuadro 9

Análisis "Tukey" de la respiración basal (mg CO₂/g suelo/día) en relación al tipo de cobertura

Cobertura	Media	n	Error Estándar	
Bosque	0.07	30	0.0017	A
Tanzania	0.05	30	0.0017	B
Estrella	0.05	30	0.0017	B
Tobiatá	0.05	30	0.0017	B

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el Cuadro 10, se puede apreciar el cambio en la respiración del suelo a medida que transcurren los días. Se observa una disminución en la respiración desde el primer día hasta el quinto día de incubación. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Umaña (2017), quien evaluó varias propiedades del suelo, incluida la respiración, en diferentes períodos de tiempo de incubación.

En su estudio, se encontró que los suelos con mayor contenido de agua o humedad presentaban una mayor respiración basal.

Cuadro 10

Análisis “Tukey” de la respiración basal (mg CO₂/g suelo/día) en relación a los días

Día	Media	n	Error Estándar	
1	0.08	40	0.0015	A
3	0.06	40	0.0015	B
5	0.03	40	0.0015	C

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el Cuadro 11 se presenta el cambio en la respiración basal con respecto a la interacción entre el tipo de cobertura y el día de incubación. Se observa que, en el primer día, los valores de respiración son estadísticamente uniformes, incluyendo el valor de respiración del bosque en el tercer día. De manera similar, en el quinto día, la respiración del bosque es estadísticamente similar a la respiración de las pasturas en el tercer día. Estos resultados indican una disminución en la producción de CO₂ con respecto a la cobertura y el tiempo, lo cual concuerda con los hallazgos similares reportados por Durango et al. (2015). El cual evaluó la respiración basal en dos agroecosistemas y un bosque en Costa Rica, obteniendo diferencias significativas en la producción de CO₂ generada por el bosque en comparación a los agroecosistemas.

Cuadro 11

Análisis “Tukey” de la respiración basal (mg CO₂/g suelo/día) en relación al tipo de cobertura × día

Cobertura	Día	Media	n	Error Estándar	
Bosque	1	0.08	10	0.0029	A
Estrella	1	0.08	10	0.0029	A
Tanzania	1	0.08	10	0.0029	A
Tobiatá	1	0.07	10	0.0029	A
Bosque	3	0.07	10	0.0029	A
Tanzania	3	0.05	10	0.0029	B
Tobiatá	3	0.05	10	0.0029	B
Estrella	3	0.05	10	0.0029	B
Bosque	5	0.04	10	0.0029	B
Tobiatá	5	0.02	10	0.0029	C
Tanzania	5	0.02	10	0.0029	C

Cobertura	Día	Media	n	Error Estándar	
Estrella	5	0.02	10	0.0029	C

Nota. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Finalizando el análisis del comportamiento de la producción de CO₂ en la respiración basal durante las 24, 72 y 120 horas, a profundidades de 10 y 20 cm, se realizó una regresión de los datos, cuyos resultados se presentan en las Figura 3 y Figura 4. Ambas figuras muestran que la respiración basal presenta una pendiente negativa, lo que indica una disminución en la producción de CO₂ con respecto al tiempo en ambas profundidades. Asimismo, se observa que el bosque es la cobertura con mayor respiración basal, mientras que Tanzania es la pastura con mayor respiración basal en comparación con Estrella y Tobiata. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Escorcía et al. (2021), quienes evaluaron la respiración del suelo a diferentes profundidades en un cultivo de banano.

El análisis también reveló que los valores de la pendiente en la respiración a 20 cm son mayores que a 10 cm, lo que indica una tasa de reducción más pronunciada en la generación de CO₂ por gramo de muestra a mayor profundidad. Estos hallazgos son similares a los presentados por Rivero et al. (2016), quienes indicaron que la respiración basal presenta diferencias significativas en la producción de CO₂ por gramo de muestra y tiempo, en relación con la profundidad y la cobertura. En su estudio, encontraron que, en coberturas con actividad antropogénica, los cambios en la producción de CO₂ fueron mayores, mientras que, en coberturas sin actividad antropogénica, los cambios fueron menores.

Figura 3

Producción de la respiración basal (mg CO₂/g suelo/día) a 10 cm de profundidad

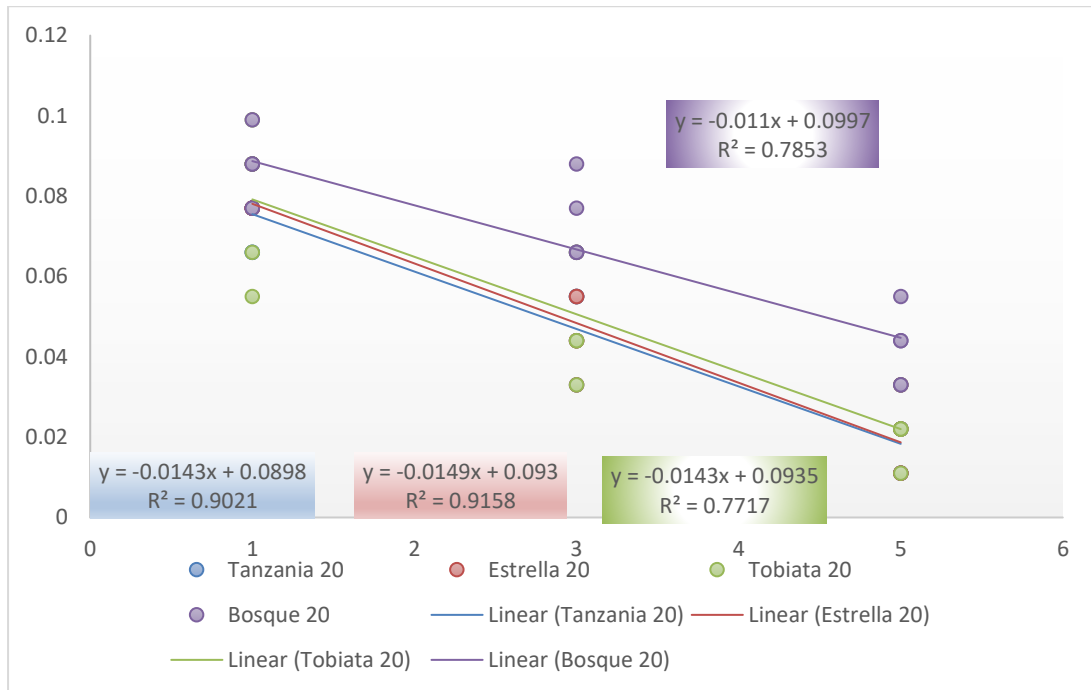
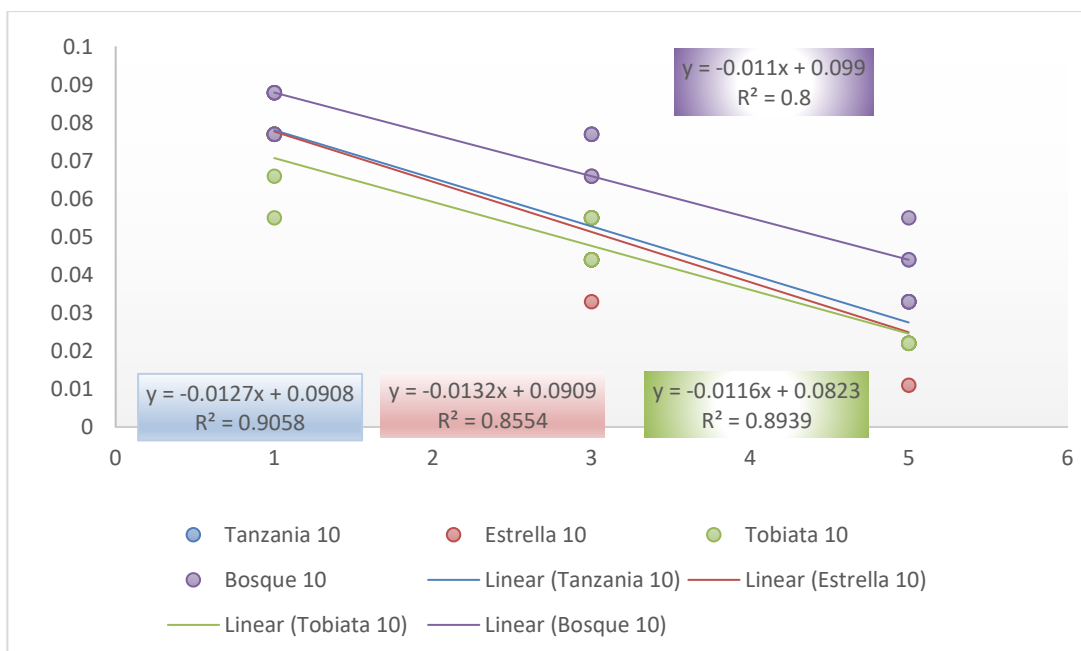


Figura 4

Producción de la respiración basal (mg CO₂/g suelo/día) a 20 cm de profundidad



Conclusiones

En todos los sitios evaluados, existió una relación inversamente proporcional entre el tipo de cobertura y la profundidad con respecto al porcentaje de carbono orgánico, nitrógeno y materia orgánica en el suelo, esto se debe a que según el tipo de cobertura habrá un requerimiento de nutrientes diferente. Además, a medida que hay mayor profundidad hay una densidad de raíces diferente.

El bosque fue la cobertura que siempre presentó mayor porcentaje de carbono orgánico, nitrógeno y materia orgánica en comparación a los diferentes pastos evaluados debido a que al ser un ecosistema que no se ha visto alterado por la presencia del hombre, no existe un desgaste mayor al necesario. Permitiendo una recuperación periódica de los nutrientes y un cuidado natural del suelo.

El factor de la tasa de respiración generada por las coberturas fue disminuyendo con el aumento de los días de incubación, esto debido a que las muestras fueron tomadas en temporada seca con poca humedad, haciendo que la actividad microbiana se vea reducida. Sin embargo, la cobertura de bosque fue la que más producción de CO₂ generó en comparación a las otras coberturas. No obstante, al no encontrar diferencias significativas entre las pasturas, se debe a que son pasturas sin rotación y con presencia de actividad ganadera, generando ese deterioro en los suelos y mostrando la necesidad de un plan de manejo para recuperar los nutrientes desgastados, permitiendo mejorar la calidad del suelo, por ende, las pasturas.

El bosque fue la cobertura que presentó mayor rendimiento en la tasa de respiración. Sin embargo, no hubo una diferencia significativa con las pasturas en la producción de CO₂ con respecto a la profundidad de la cual fueron tomadas las muestras de suelo. Esto debido a que la actividad microbiana presente en la diferencia de profundidades no es muy significativa.

Recomendaciones

Para garantizar la precisión de los datos se recomienda realizar el proceso de incubación de las muestras por duplicado o triplicado, permitiendo reducir porcentaje de error que se puede dar por un factor externo y tener una validación del comportamiento de la respiración de cada muestra.

Para una mayor interpretación de la respiración del suelo, se recomienda realizar el número de muestreos según el área a evaluar y a mayores profundidades. Además, evaluar las muestras de suelo en época humedad para así, interpretar el comportamiento de la tasa de respiración generada por la actividad microbiana bajo esas condiciones y poder compararlas.

Se recomienda realizar un plan de manejo de suelos para ayudar a poder recuperar el desgaste generado por la actividad ganadera, ayudando a tener suelos más saludables y tener pasturas más productivas.

Se recomienda al momento de almacenar las muestras, llevar lo más pronto posible sin superar las 2 horas de exposición de la muestra al ambiente, para así evitar pérdidas significativas de los gases emitidos por estas.

Referencias

- Alberola, M. (2021). *El Modelo de Regresión Lineal, R-cuadrado y Predicciones Simples en la Analítica Digital*. Symmetric. <https://www.symmetric.es/blog/modelo-regresion-predicciones-r-cuadrado-analisis-digital/>
- Blanco, J., Montilla, M. y Silvia, C. (2019). Consecuencias de la Degradación de Pasturas sobre la Fijación de Nitrógeno. *Revista De La Facultad De Ciencias Agropecuarias*, 11(1), 54–63. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsrepo/513/5132513005/5132513005.pdf>
- Cairo-Cairo, P., Reyes-Hernández, A. y Aro-Flores (2017). Efecto de las Coberturas en algunas Propiedades del Suelo. Finca La Morrocoya, Barinas, Venezuela. *Pastos Y Forrajes*, 40(2), 127–134. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0864-03942017000200006&script=sci_arttext&tIng=pt
- Cisneros, P. (2019). Sistemas Silvopastoriles: Estrategia Pertinente para la Ganadería Bovina ante el Cambio Climático. *Revista Vinculando*. <https://vinculando.org/productores/sistemas-silvopastoriles-estrategia-pertinente-para-la-ganaderia-bovina-ante-el-cambio-climatico.html>
- Daglio, G., Sterren, M. y Benintende, S. (2005). Almacenamiento de Muestras de Suelo: Incidencia sobre la Cuantificación de Biomasa Microbiana. *AGRISCIENTIA*, 22(2), 63–68. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/download/2681/1917/0>
- Duarte, P. y Montaña, C. (2020). *Manual de procedimientos para elaboración de mapas de variabilidad espacial de suelos y su aplicación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras* [, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2020]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6870](https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6870)
- Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C. y Mata, R. (2015). Respiración, Biomasa Microbiana y Actividad Fosfatasa del Suelo en dos Agroecosistemas y un Bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37–46.
- Escorcia, D., Aguirre, S. y Vargas, J. (2021). Incidencia de la Profundidad de Muestreo sobre el Contenido de Formas de Carbono y Nitrógeno en Suelos de la Zona Bananera del Departamento del Magdalena. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 15(30). http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s1909-83672021000200063&script=sci_arttext
- Franzluebbers, A. (2002). Soil Organic Matter Stratification Ratio as an Indicator of Soil Quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 95–106. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00018-1)
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la Calidad de los Suelos: una Nueva Manera de Evaluar este Recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–138. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0864-03942012000200001&script=sci_arttext
- Hernández, J., Espinosa, F., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carrillo, S. y Bermúdez, V. (2018). Sobre el Uso Adecuado del Coeficiente de Correlación de Pearson: Definición, Propiedades y Suposiciones. *Archivos Venezolanos De Farmacología Y Terapéutica*, 37(5), 587–601. <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>

- Hinostroza, A., Malca, J. y Suarez, L. (2021). Dinámica de la Biomasa Microbiana y su Relación con la Respiración y el Nitrógeno del Suelo en Tierras Agrícolas en el Valle del Mantaro. *Ciencia y Desarrollo*, 24(2), 35–49. <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/cyd/article/view/2243>
- Jaramillo, V. (2006). *Cambio Climático: Una visión desde México* (1ª ed., 2ª reimp). Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J. (2013). Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y su Relación con la Actividad Biológica Bajo Diferentes Manejos en la Zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1316-33612013000100006
- Lizcano, R., Rojas, D., Osorio, J., Olivera, D. y Lizcano, M. (2022). Sistemas de Labranza del Suelo y su Efecto sobre Cuatro Variedades de Algodón en Armero, Colombia. *Investigacion Agraria*, 24(1), 23–30. http://scielo.iics.una.py/scielo.php?pid=s2305-06832022000100023&script=sci_arttext
- López-Teloxa, L. y Monterroso-Rivas, A. (2020). Estrategias de Mitigación de CO₂ a partir de la Respiración del Suelo. *La Granja*, 32(2), 30–41. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=s1390-85962020000200030&script=sci_arttext
- López-Teloxa, L., Monterroso-Rivas, A. y Gómez-Díaz, J. (2020). Diseño de Calibración para Cuantificar Emisiones de CO₂ (Respiración del Suelo) Durante Intervalos Diurnos. *Agrociencia*, 54(6), 747–761. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i6.2188>
- Madrigal, S., Cristobal, D., Hernández, E. y Romo, J. (2019). Influencia de la Cobertura, Pendiente y Profundidad, sobre el Carbono y Nitrógeno del Suelo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 10(51), 202–223. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2007-11322019000100201
- Natural Resources Conservation Service. (2014). *Soil Health Educators Guide | Natural Resources Conservation Service*. Soil Respiration. <https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health/soil-health-educators-guide>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2023). *Standard Operating Procedure for Soil Respiration Rate*. <https://www.fao.org/3/CC4082EN/CC4082EN.pdf>
- Pardo-Plaza, Y., Paolini, J. y Cantero-Guevara, M. (2019). Biomasa Microbiana y Respiración Basal del Suelo Bajo Sistemas Agroforestales con Cultivos de Café. *U.D.C.A.*, 22(1), 1–8. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0123-42262019000100319&script=sci_arttext
- Ritchie, H. y Roser, M. (2013). *Land Use*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/land-use>
- Rivero, M., Gaibor, R., Mozena, W., Petrônio de Brito, E., Ferraresi, T. y Reyes, J. (2016). Evaluación de Atributos Biológicos de un Suelo Latosol Bajo Producción Agroecológica. *Centro Agrícola*, 43(4), 14–20. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0253-57852016000400002&script=sci_arttext
- Rodríguez, N., Coronado, H., Torres, D. y Zamora, F. (2009). Cambios en la Biomasa Microbiana, Respiración Basal y Germinación de Cebolla (*Allium cepa* L.) luego de la Aplicación de los Herbicidas Oxifluorfen, Fluaxifop y Pendimentalin en un Entisol del Estado Falcón. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(3), 579–589. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3358272>

- Rodríguez-Murillo, J., Saa, A. y Hontoria, C. (2004). Contenido de Carbono Orgánico en el Suelo y Factores de Control en la España Peninsular, *11*(2), 149–157. <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo11b/articulo149.pdf>
- Skinner, R. H. y Dell, C. J. (2016). Yield and Soil Carbon Sequestration in Grazed Pastures Sown with Two or Five Forage Species. *Crop Science*, *56*(4), 2035–2044. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.11.0711>
- Toledo, G., Gargaglione, V., Peri, P. y Toledo, S. (2020). Biomasa y Respiración Microbiana: Respuesta ante Cambios en la Humedad del Suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, *12*(3), 151–165. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n3.746>
- Umaña, S. (2017). *Ingeniería Ecológica: Efecto del Uso de Microorganismos de Montaña sobre el Suelo con Base en dos Cultivos Agrícolas* [Tesis, Universidad de Costa Rica, Costa Rica]. RIS. <http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/13313/1/41506.pdf>
- Yáñez, M., Cantú, I., González, H., Marmolejo, J., Jurado, E. y Gómez, M. (2017). Respiración del Suelo en Cuatro Sistemas de Uso de la Tierra. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, *8*(42), 123–149. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s2007-11322017000400123&script=sci_arttext
- Yongfei, B. y Cotrufo, M. (2022). Grassland Soil Carbon Sequestration: Current Understanding, Challenges, and Solutions. *Science*, *377*(6606), 603–608. <https://doi.org/10.1126/science.abo2380>
- Zirkle, G., Lal, R. y Augustin, B. (2011). Modeling Carbon Sequestration in Home Lawns. *HortScience*, *46*(5), 808–814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.5.808>