



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**Trabajo de Tesis**

**Evaluación de la emisión de dióxido de  
carbono microbiano en suelos con sistemas  
de agricultura de conservación, Condega,  
Yalagüina, Nicaragua, 2023**

**Autor**

**Br. Josue David Gonzalez Urroz**

**Asesores**

**Ing. Maykeling L. Treminio Corea**  
**MSc. Reynaldo B. Mendoza Corrales**

**Managua, Nicaragua**  
**Mayo, 2024**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

## **Ingeniero Agrícola**

---

### Miembros del Comité Evaluador

---

MSc. Leonardo García Centeno  
Presidente

---

MSc. César Aguirre Jiménez  
Secretario

---

MSc. Miguel Garmendia Zapata  
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 6 de mayo de 2024

## ÍNDICE DE CONTENIDO

| SECCIÓN  | PÁGINA |
|--|--------|
| ÍNDICE DE CUADROS  | ii     |
| ÍNDICE DE FIGURAS  | iii    |
| ÍNDICE DE ANEXOS   | v      |
| RESUMEN  | vii    |
| ABSTRACT   | viii   |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>   | 1      |
| <b>II. OBJETIVOS</b>   | 3      |
| 2.1. Objetivo general  | 3      |
| 2.2. Objetivo específico   | 3      |
| <b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>  | 4      |
| 3.1. La respiración del suelo como un indicador de la emisión del dióxido de carbono                         | 4      |
| 3.2. Propiedades del suelo relacionadas con la respiración microbiana  | 6      |
| 3.2.1. Carbono orgánico  | 6      |
| 3.2.2. Materia orgánica  | 6      |
| 3.2.3. pH  | 7      |
| 3.2.4. Textura   | 7      |
| 3.2.5. Densidad aparente   | 8      |
| 3.2.6. Actividad biológica del suelo   | 8      |
| 3.2.7. Humedad   | 9      |
| 3.3. Agricultura de conservación   | 9      |
| 3.3.1. Prácticas de conservación   | 11     |
| <b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | 12     |
| 4.1. Ubicación del estudio   | 12     |
| 4.1.1. Clima   | 13     |
| 4.1.2. Suelo   | 13     |
| 4.2. Diseño metodológico   | 15     |
| 4.3. Variables evaluadas   | 16     |
| 4.4. Análisis de datos   | 19     |
| 4.5. Prácticas de Manejo Sostenible de Suelos y Agua (PMSSA)   | 21     |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>   | 25     |
| 5.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo analizadas en las fincas referenciales                             | 25     |
| 5.2. Comportamiento de la respiración microbiana por época   | 31     |
| 5.3. Relación de la producción de dióxido de carbono microbiano con las propiedades fisicoquímicas por época | 36     |
| <b>VI. CONCLUSIONES</b>  | 41     |
| <b>VII. RECOMENDACIONES</b>  | 42     |
| <b>VIII. LITERATURA CITADA</b>   | 43     |
| <b>IX. ANEXOS</b>  | 47     |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>CUADRO</b> |   | <b>PÁGINA</b> |
|---------------|---|---------------|
| 1.            | Localización de las fincas referenciales  | 13            |
| 2.            | Variables del suelo evaluadas y su metodología  | 16            |
| 3.            | Descripción de Prácticas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua (PMSSA) en granos básicos, en la finca El Aguacate, Yalagüina, 2023                      | 21            |
| 4.            | Descripción de Prácticas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua (PMSSA) en granos básicos, finca El Madroño, Quebrada arriba, Yalagüina, Nicaragua, 2023 | 22            |
| 5.            | Descripción de Prácticas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua (PMSSA) en café, finca El Quebracho, Condega, Nicaragua, 2023                            | 23            |
| 6.            | Descripción de Prácticas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua (PMSSA) en café, finca Linda Vista, Condega, 2023  | 23            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA  | PÁGINA |
|---|--------|
| 1. Ubicación de las fincas referenciales en los municipios de Condega y Yalagüina, 2023   | 12     |
| 2. Esquema de muestreo en zigzag realizado en las parcelas de las fincas referenciales  | 16     |
| 3. Tasa de respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa                   | 26     |
| 4. Potencial de hidrógeno (pH) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa  | 28     |
| 5. Contenido de carbono orgánico ( $g \cdot kg^{-1}$ ) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa                                      | 29     |
| 6. Densidad aparente ( $g \cdot cm^{-3}$ ) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa  | 30     |
| 7. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) en función de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa         | 32     |
| 8. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) en función de las parcelas, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa                     | 33     |
| 9. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) en función del uso de suelo, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa                    | 34     |
| 10. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) en función de la clase textural de los suelos, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa | 35     |
| 11. Correlación en época seca entre las variables Respiración microbiana (Respiración, $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) con pH y Carbono   | 37     |

orgánico (CO,  $g \cdot kg^{-1}$ ), de los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023

- 13      Correlación en época lluviosa entre las variables, Respiración microbiana (Respiración,  $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) con pH, Carbono orgánico (CO,  $g \cdot kg^{-1}$ ), Densidad aparente (Da,  $g \cdot cm^{-3}$ ) y Arena (%), de los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023      39
-

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>ANEXO</b> |  | <b>PÁGINA</b> |
|--------------|--|---------------|
| 1.           | Resultados de análisis de suelo y descripción de las fincas referenciales en época seca                                    | 47            |
| 2.           | Resultados de análisis de suelo y descripción de las fincas referenciales en época lluviosa                                | 48            |
| 3.           | Pruebas de normalidad Shapiro-Wilks de los resultados obtenidos en las fincas referenciales en época seca                  | 49            |
| 4.           | Pruebas de normalidad Shapiro Wilks de los resultados obtenidos en las fincas referenciales en época lluviosa              | 50            |
| 5.           | Análisis de varianza época seca  | 51            |
| 6.           | Análisis de varianza época lluviosa  | 52            |
| 7.           | Test de comparación múltiple de la respiración microbiana con finca, parcela, uso de suelo y clase textural época seca     | 53            |
| 8.           | Test de comparación múltiple de la respiración microbiana con finca, parcela, uso de suelo y clase textural época lluviosa | 54            |
| 9.           | Modelo de Regresión Lineal Múltiple época seca   | 56            |
| 10.          | Modelo de Regresión Lineal Múltiple época lluviosa   | 56            |
| 11.          | Selección por pasos, época seca  | 57            |
| 12.          | Selección por pasos época lluviosa   | 58            |
| 13.          | Test de correlaciones de Pearson en época seca   | 59            |
| 14.          | Test de correlaciones de Pearson en época lluviosa   | 60            |
| 15.          | Levantamiento de muestras de suelo para el análisis en el laboratorio  | 61            |
| 16.          | Preparación de muestras de suelo en el área de física, LABSA   | 61            |
| 17.          | Pre-acondicionamiento de las muestras en el área de química en el LABSA  | 61            |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 18. | Ubicación de muestras en trampa de álcali                                    | 62 |
| 19. | Análisis de respiración microbiana en el Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA) | 62 |

---



## RESUMEN

Con el fin de evaluar la emisión de dióxido de carbono del suelo a través del análisis de respiración microbiana se seleccionaron cinco fincas referenciales en los municipios de Condega y Yalagüina, de las cuales cuatro tienen parcelas con Prácticas de Manejo Sostenible de Suelos y Agua, y una con manejo tradicional. El muestreo de suelo se realizó en época seca (marzo) y época lluviosa (agosto), para analizar las variables: respiración microbiana, pH, carbono orgánico, densidad aparente y textura. Los análisis estadísticos se realizaron en el software RStudio (2023), aplicándose las pruebas de normalidad de Shapiro Wilks, el ANOVA, la prueba de comparación múltiple de Tukey, modelo de Regresión Lineal Múltiple, selección de variable paso a paso y Coeficientes de Correlación de Pearson. Las mayores emisiones de dióxido de carbono ocurren durante la época seca siendo mayores en la finca El Madroño. La respiración microbiana es influenciada por el uso de suelo, presentando diferencias altamente significativas ( $p = 1.37 \times 10^{-09}$ ) en época seca y ( $p = 0.00169$ ) en época lluviosa. El carbono orgánico presenta la mayor incidencia sobre la emisión de dióxido de carbono, con una correlación moderadamente fuerte y positiva. Por otro lado, el pH, densidad aparente y porcentaje de arena presentan una correlación negativa con la respiración microbiana.

**Palabras clave:** Respiración microbiana, emisión de dióxido de carbono y carbono orgánico

## ABSTRACT

In order to evaluate the emission of carbon dioxide from the soil through the analysis of microbial respiration, five reference farms were selected in the municipalities of Condega and Yalagüina, of which four have plots with Sustainable Soil and Water Management Practices, and one with traditional management. Soil sampling was carried out in the dry season (March) and rainy season (August), to analyze the variables: microbial respiration, pH, organic carbon, apparent density and texture. Statistical analyzes were carried out in the RStudio (2023) software, applying Shapiro Wilks normality tests, ANOVA, Tukey's multiple comparison test, Multiple Linear Regression model, step-by-step variable selection and Correlation Coefficients. Pearson. The highest carbon dioxide emissions occur during the dry season, being highest on the El Madroño farm. Microbial respiration is influenced by land use, presenting highly significant differences ( $p = 1.37 \times 10^{-09}$ ) in dry season and ( $p = 0.00169$ ) in rainy season. Organic carbon has the greatest impact on carbon dioxide emissions, with a moderately strong and positive correlation. On the other hand, pH, apparent density and percentage of sand present a negative correlation with microbial respiration.

**Keywords:** Microbial respiration, carbon dioxide and organic carbon emission

## I. INTRODUCCIÓN

Los suelos tienen diversas propiedades químicas, físicas o biológicas, y su diagnóstico sirve de guía para mejorar la Gestión Sostenible del Suelo (GSS); estas se modifican dependiendo de los contextos geográficos. Las malas prácticas de manejo de suelo y agua interfieren en la capacidad inherente de prestar servicios ecosistémicos, así como su resiliencia a las perturbaciones y vulnerabilidad a la degradación.

La agricultura de conservación ha sido promovida como una práctica que incrementa la sustentabilidad agrícola y está asociada con el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, hay informes contrastantes sobre el potencial de prácticas de agricultura de conservación para la captura de carbono, es decir, el proceso de sustraer el dióxido de carbono de la atmósfera y depositarlo en el suelo (Verhulst et al., s.f., p. 1).

Las actividades agrícolas afectan principalmente la reserva de carbono orgánico. Adicionalmente, la degradación del carbono en el suelo lleva a importantes pérdidas en la calidad del suelo y representa una amenaza para los sistemas de producción agrícola y seguridad alimentaria. Al asegurar la sustracción neta del dióxido de carbono de la atmósfera hacia el suelo se incrementa la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Verhulst et al., s.f., p. 1).

El dióxido de carbono se intercambia continuamente entre el suelo y la atmósfera. El  $CO_2$  atmosférico se fija mediante la fotosíntesis, en la que las plantas absorben el  $CO_2$  atmosférico y lo convierten en azúcares. Parte del  $CO_2$  absorbido se devuelve a la atmósfera como resultado del proceso de respiración de la raíz. Cuando las plantas y los animales mueren, el carbono se agrega al suelo. Sin embargo, la descomposición de la materia orgánica también libera  $CO_2$  a la atmósfera (Cropaia, 2023).

A partir de la década de los 90s se ha prestado mucha atención a la respiración biológica, ya que este proceso ecológico se reconoce como la principal fuente de flujo de carbono procedente de la superficie del suelo y uno de los componentes cruciales dentro del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres (Raich y Schlesinger, 1992; Citado por Vásquez et al., 2013).

Como parte del proyecto de cooperación Técnica Regional TCP/RLA/3805(D): Apoyo a la cooperación regional para la gestión climática de los ecosistemas agrícolas con énfasis en agua y suelo, en el año 2022 un equipo de la Universidad Nacional Agraria en conjunto con otras instituciones realizó el “Pilotaje de validación del protocolo de evaluación del manejo sostenible de suelos en los municipios de Condega, Palacagüina, Yalagüina y San Lucas”.

Durante el monitoreo se midieron los indicadores principales (productividad, carbono orgánico, densidad aparente y respiración microbiana), para evaluar la contribución a las Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de los Suelos (DVGSS) declarados en el Protocolo Manejo Sostenible de Suelo y Agua de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para el año 2020.

Actualmente, en los laboratorios de suelos de Nicaragua no se ofrece el análisis de respiración microbiana (emisión de dióxido de carbono de suelo) y en el marco del proyecto, se realizaron tres fases de muestreo para analizar la emisión de dióxido de carbono en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria, con la metodología revisada por Miriam Ostinelli y Daniel Carreira - LATSOLAN y adaptada por Carolina Olivera y Juan Carlos Rey – FAO Venezuela en marzo del año 2022.

Los valores obtenidos de la respiración microbiana en la Evaluación del Protocolo en Nicaragua en el 2022 no fueron satisfactorios; ya que en la mayoría de las muestras analizadas de las fincas referenciales no se detectó la tasa de respiración microbiana. Por lo que, se analizaron los posibles errores en el muestreo de suelo, tiempo de preparación de las muestras y el pre acondicionamiento de las mismas en el laboratorio.

Por lo antes mencionado, surge la iniciativa de evaluar la emisión de dióxido de carbono microbiano en suelos con sistemas de agricultura de conservación; en las fincas cafetaleras Reserva Linda Vista, El Quebracho y Los Alpes, del municipio de Condega y en las fincas de granos El Madroño y El Aguacate, en el municipio de Yalagüina. El propósito fue, estimar la producción de dióxido de carbono microbiano y establecer la relación con la textura, carbono orgánico, densidad aparente y pH.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la emisión de dióxido de carbono microbiano en suelos con sistemas de agricultura de conservación en fincas referenciales de los municipios, Condega, Yalagüina, Nicaragua, 2023.

### **2.2. Objetivos específicos**

Analizar el comportamiento de la respiración microbiana como indicador de la emisión de dióxido de carbono del suelo en época seca y lluviosa.

Determinar la incidencia del pH, carbono orgánico, densidad aparente y textura en la producción de la respiración microbiana.

### III. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. La respiración del suelo como un indicador de la emisión del dióxido de carbono

El suelo contribuye con un 20 % de la emisión total de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) a la atmósfera a través de la respiración. Además de modificar el presupuesto energético de la Tierra, la emisión de  $CO_2$  a partir del suelo da como resultado una disminución en la concentración de carbono orgánico del suelo, la fertilidad del suelo y la productividad (Smith et al., 1997; Citado por Salinas, 2018).

El secuestro de carbono (C) en el suelo es una importante estrategia para contrarrestar el incremento en las concentraciones de  $CO_2$ , ya que implica la transferencia de  $CO_2$  atmosférico a las fracciones más estables del suelo (Schimel et al., 1997). La permanencia del C depende en gran medida del balance entre los aportes y las pérdidas por descomposición. Sin embargo, hay factores que desempeñan un rol fundamental en la estabilización, por ejemplo, los minerales del suelo, los factores climáticos y la labranza (Rumpel et al., 2006, Citado por Panichini, s.f.).

Según estudio realizado por MUNDOAGRO (2022) destacan que,

La funcionalidad de un suelo es definida como su capacidad para proveer las funciones claves para el ecosistema, entre ellas la productividad biológica, el ciclaje de nutrientes, la estabilidad física, el desarrollo y productividad de las plantas. Cerca del 80 % de los servicios ecosistémicos están relacionados con el suelo y su actividad biológica, por lo que la respiración del suelo que integra dicha actividad resulta ser un indicador útil para evaluar la funcionalidad, la salud y la fertilidad del suelo.

Según Olayinka (2001) y Creamer y col. (2014),

La respiración del suelo es una medida del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) liberado del suelo por la descomposición de los compuestos orgánicos debido a la acción de los microorganismos del suelo, por la respiración de las raíces de las plantas y de la fauna del suelo. Es un indicador importante de salud del suelo, ya que indica el nivel de actividad microbiana, el contenido de compuestos orgánicos lábiles y la descomposición de la materia orgánica, se puede medir tanto en campo como mediante incubaciones en laboratorio (Citado por Monzó, 2020, p. 7).

Lugo de la Fuente (2018) expreso que, “La tasa de producción de  $CO_2$  es científicamente importante porque indica la tasa de descomposición de la materia orgánica y, por tanto, la cantidad que se pierde de carbono del suelo” (p. 27).

De acuerdo con Redremedia (2018),

La respiración del suelo es el flujo de carbono más importante entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera, es un componente clave en el ciclo global del carbono ya que regula la cantidad de carbono que se almacena en el suelo. Se estima que el 10 % del  $CO_2$  que hay en la atmósfera circula a través de los suelos cada año.

En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica, lo que representa a nivel global una pérdida de carbono de 150 a 1 500 t/año” (Lal et al., 1998, Gregorich et al., 1998; Citado por Hernández et al., 2002, párr. 25).

Conrad (1995) destaca que “Los procesos involucrados en el intercambio de  $CO_2$  entre el suelo y la atmósfera no han sido completamente identificados, ya que se tiene que distinguir entre los procesos que producen o consumen este gas” (Citado por Salinas, 2018). Sin embargo, dentro de la biósfera se pueden identificar tres categorías diferentes de procesos del suelo que desempeñan un papel en el intercambio de gases:

- Procesos químicos: en campo el  $CO_2$  se produce a partir de la descomposición térmica que se da en los ácidos húmicos y otros materiales orgánicos, donde el intercambio de este gas entre el suelo y la atmósfera depende fuertemente de la velocidad de reacción química a la cual se produce la emisión neta de  $CO_2$ , cuando el nivel de carbono orgánico en el suelo es alto o la temperatura es alta (Conrad, 1985; Citado por Salinas, 2018).
- Procesos enzimáticos del suelo: se refieren a las llamadas enzimas abionéticas (por definición son enzimas extracelulares libres, unidas a partículas de suelo inertes, dentro de células muertas o no proliferantes, que se encuentran asociadas con fragmentos de células muertas) (Skunjis, 1978). Hasta el momento, solo las hidrogenasas del suelo son las únicas enzimas que parecen ser importantes para el intercambio de gases traza entre el suelo y la atmósfera (Conrad, 1988; Citado por Salinas, 2018).

- Proceso de respiración biótica del suelo: conjunta la actividad biológica como es la respiración presente en las raíces y de los microorganismos, ambas contribuyen con aproximadamente 50% de la respiración total del suelo (Hanson et al., 2000). La mayoría de los procesos de producción y consumo de gases traza en el suelo probablemente se deben a los microorganismos. Además, la caída de la hojarasca, la mortalidad de las raíces, la aplicación de estiércol y residuos de cultivos proporcionan carbono para la respiración microbiana en el suelo (Rastogi et al., 2002; Citado por Salinas, 2018).

### **3.2. Propiedades del suelo relacionadas con la respiración microbiana**

#### **3.2.1. Carbono orgánico**

De acuerdo con Jackson (1964) “El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental” (párr. 2).

Swift (2001) y Aguilera (2000) describen que, “En condiciones naturales el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de  $CO_2$  a la atmósfera, erosión y lixiviación” (Citado por Martínez et al., 2008).

Nilo (2019) expresa que,

La determinación de carbono orgánico del suelo está basada en el método de Walkley & Black de oxidación húmeda con ácido crómico. El carbono orgánico oxidable en el suelo es oxidado con una solución de dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado. El carbono orgánico puede luego ser estimado midiendo el dicromato remanente no reducido por titulación con sulfato ferroso (párr. 7).

#### **3.2.2. Materia orgánica**

En lo que respecta al nivel mundial los suelos son la mayor reserva terrestre de carbono; por lo tanto, son una parte importante del ciclo mundial del carbono (Lal, 2008). Por este motivo el C del suelo forma parte de la materia orgánica, la cual es crucial para mantener la calidad y producción del suelo, al conservar su capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio de cationes, estabilidad del agregado del suelo y almacenamiento de nutrientes (Conant et al., 2001, Citado por Salinas, 2018).



### **3.2.3. pH**

FAO (s.f.) menciona que el pH (potencial de hidrógeno) del suelo determina,

El grado de adsorción de iones ( $H^+$ ) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo.

Cuando un suelo tiene un pH ácido, éste limita la formación de agregados, generando una estructura granular que es inadecuada para la producción. Además, la acidez disminuye la actividad y cantidad de microorganismos, esto reduce la mineralización de la materia orgánica, por ende, la disponibilidad de nutrimentos para las plantas.

Según estudios realizados por Martínez et al., (2017) menciona que,

El pH es un factor importante que influye sobre el crecimiento de los microorganismos. Algunas bacterias generalmente crecen a pH bajos (3.0) y los hongos también se desarrollan a pH bajos (1.0). Sin embargo, el rango óptimo de pH para las bacterias va de 6.0 hasta 8.5 y sólo pocas prefieren pH de 8.5 o mayor. Los hongos pueden crecer en medios con pH hasta de 8.5, pero la mayoría de ellos prefieren un pH ácido y tienen la capacidad, como ocurre con algunas de las bacterias, de alterar el pH de un medio no amortiguado por los productos que generan durante su crecimiento (párr. 8).

De acuerdo con los resultados de Ramos y Zúñiga (2008) afirma que, “El pH del suelo también resultó ser un factor limitante para la actividad microbiana. A pH de 7.8 se registró la mayor actividad, descendiendo significativamente a valores de pH 4.0, 6.1 y 8.2 (p. 129).

AGROPAL (s.f.) resalta que, “Los suelos ácidos tienen un efecto depresivo que supone sobre los microorganismos del suelo (lombrices, ácaros, bacterias, etc.), ya que reduce la humificación y la mineralización de la materia orgánica, impidiendo un correcto desarrollo de estos.”

### **3.2.4. Textura**

La textura es una propiedad exclusiva de la fase sólida del suelo y, más específicamente, de la fracción inorgánica, es una propiedad fuertemente dependiente del material parental del suelo. La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las

partículas de diámetro menor a 2 *mm*, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar) (Jaramillo, 2002, p. 165).

MUNDOAGRO (2022) relata que,

Los suelos de textura media (suelos limosos y francos) son a menudo favorables para la respiración del suelo debido a su buena aireación y alta capacidad de agua disponible. En suelos arcillosos, la arcilla protege la materia orgánica de la descomposición limitando la respiración del suelo y mineralización (amonificación) de N orgánico. De igual forma, en suelos arenosos, típicamente bajos en SOM y con baja capacidad de agua disponible, se limita la respiración del suelo al igual que la mineralización de N.

### **3.2.5. Densidad aparente**

Pinot (2000) destaca que, “La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo al espacio poroso” (Citado por Rubio, 2010, p. 20).

Taboada & Alvarez (2008) enuncian que, “La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes” (Citado por Rojas, s.f., p. 1).

### **3.2.6. Actividad biológica del suelo**

Parkin et al., (1996) mencionan que, “La actividad biológica es un reflejo directo de la degradación de la materia orgánica del suelo. Esta degradación indica que están sucediendo dos procesos, los cuales son la pérdida de carbono del suelo y la entrega de nutrientes” (Citado por Hinostroza et al., 2021, p. 36).

Aguilar (2005) expresa que,

La actividad biológica (microorganismos), es el factor edáfico más importante de la degradación o descomposición de la materia orgánica y mineralización; para la obtención de carbono y nitrógeno considerados como fuentes de energía y proteína respectivamente, requeridos en la movilidad y reproducción de ellos (Citado por Morraz y Herrera, 2006, p. 18).

Mundoagropecuario (2021) destaca que,

Científicos de distintas universidades revisaron 27 estudios de calentamiento estos experimentos abarcaron desde estudios de laboratorio hasta observaciones realizadas en varios lugares y en varios tipos de suelo en todo el mundo y relatan que cuando la masa de microbios disminuía, era menos probable que los suelos emitieran dióxido de carbono a medida que aumentaban las temperaturas. Cuando la masa de microbios, aumentado, los suelos tenían más probabilidades de respirar dióxido de carbono. Los cambios en las tasas de respiración también variaron según el tipo de suelo (párr. 4 - 5).

### **3.2.7. Humedad**

MUNDOAGRO (2022) menciona que,

La respiración de suelos se incrementa con la humedad del suelo hasta que los poros se saturan de agua limitando la disponibilidad de oxígeno, la facilidad para transferirlo a los organismos y la habilidad para respirarlo. La humedad ideal está cerca de la capacidad de campo o cuando aproximadamente 60% del espacio poroso está lleno con agua. Si el agua ocupa más del 80% del espacio de poros, se produce un ambiente anaeróbico y los organismos aeróbicos cambian el metabolismo. Cuando la humedad es baja, la respiración también disminuye, debido a que los organismos reducen su actividad biológica y sus funciones metabólicas.

### **3.3. Agricultura de conservación**

Según Carmona (2015) expreso que “La Agricultura de Conservación (AC) está siendo promovida a nivel mundial por centros de investigación y otros organismos internacionales como una alternativa a la agricultura convencional para conservar los recursos de agua y suelo dentro de los agroecosistemas”.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) establece tres principios interrelacionados adaptados para reflejar las condiciones y necesidades locales:

- Mínima alteración mecánica del suelo (por ejemplo, labranza cero/sin labranza) mediante la colocación directa de semillas y/o fertilizantes. Esto reduce la erosión del suelo y preserva la materia orgánica del suelo.

- Cobertura vegetal permanente del suelo (al menos 30 %) con residuos de cultivos y/o cultivos de cobertura. Mantener una capa protectora de vegetación en la superficie del suelo suprime las malezas, protege el suelo del impacto de los patrones climáticos extremos, ayuda a preservar la humedad del suelo y evita la compactación del suelo.
- Diversificación de especies a través de rotaciones de cultivos variadas y asociaciones que involucran al menos tres especies de cultivos diferentes. Una rotación de cultivos bien diseñada promueve una buena estructura del suelo, fomenta la diversidad de flora y fauna del suelo que contribuye al ciclo de nutrientes y mejora la nutrición de las plantas, y ayuda a prevenir plagas y enfermedades.

Agrotendencia (s.f.) afirma que,

La implementación de las técnicas de conservación de suelos en nuestros días no es una opción sino una responsabilidad como seres humanos; ya que de este recurso valioso obtenemos beneficios y servicios socioeconómicos para nuestra subsistencia y es nuestro deber garantizar su fertilidad para las próximas generaciones (p. 51).

Raudes y Sagastume (2009) expresa que,

La conservación de suelos es un sistema que complementa y combina obras estructurales, medidas agronómicas, de fertilidad y agroforestales. Este sistema debe aplicarse de la forma más completa posible, si se desea tener éxito tanto en la protección del suelo como en la productividad. Tomando en cuenta esta combinación se puede, al mismo tiempo, lograr los siguientes objetivos:

- Controlar la erosión: evitando que la corriente arrastre suelo, la cantidad de suelo fértil que se pierde en cada invierno y que la corriente se lleva al río u otros depósitos es muy alta, está perdida erosiva da como resultado la pérdida de la capa productiva del suelo y la formación de cárcavas, las prácticas de conservación de suelos están orientadas a frenar la velocidad del paso de agua por sobre el suelo (escorrentía) (p. 53).
- Aprovechar mejor el agua: aumentar la infiltración del agua en el suelo. Fuera del suelo se pierde toda el agua de la escorrentía que no logra infiltrarse en el suelo, la cual no puede ser aprovechada por los cultivos. Las obras de manejo de suelo y agua permiten el

almacenamiento y/o el aprovechamiento del recurso hídrico, dando un uso sostenible al suelo (p. 53).

- Mejorar la fertilidad de los suelos y prevenir con más eficiencia las plagas y enfermedades. La conservación de suelos, además de contemplar la construcción de obras físicas para el manejo del mismo, consiste también en la aplicación de medidas que ayuden a mejorar la fertilidad del suelo con el propósito de evitar las pérdidas de suelo por erosión y mejorar el rendimiento de los cultivos (p. 53).

### **3.3.1. Prácticas de conservación**

De acuerdo con Tecno Agro (2005),

La rotación de cultivos consiste en sembrar en cada semestre un cultivo diferente al del anterior semestre. La rotación de cultivos es importante porque corta los ciclos de vida de malezas, plagas y enfermedades, y de manera especial, mejora los suelos. Fundamentalmente permite la diversificación de los riesgos productivos, manifestando ventajas agronómicas y económicas. La variación de cultivos sobre el mismo lote tiene un efecto inhibitorio sobre el ciclo biológico de muchos agentes patógenos presentes en el suelo y el rastrojo (Citado por Producción Agroindustrial del NDA, s.f).

PASOLAC (1999) define la incorporación de rastrojo como,

La no quema de los residuos y su incorporación en el suelo antes de la siembra del siguiente cultivo. Tiene la finalidad de mantener y aumentar la materia orgánica y la vida biológica en el suelo. Se evita la pérdida de nutrientes y se mejora la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua (Citado por López, 2008, p. 12).

García (2011) menciona que,

La barrera viva es una práctica que ayuda a la conservación del suelo y del agua en la parcela. Las barreras vivas son cultivos que se siembran en curvas a nivel, principalmente en las laderas, con el propósito de controlar la erosión. Poseen la característica de que se manejan tupidas en los surcos, con alta densidad; por este motivo actúan como barreras (Citado por Salgado 2018, p. 16).

PASOLAC (1999) expresó que,

Las barreras muertas sirven para reducir la velocidad del agua por cortar la ladera en pendientes más cortas, sirviendo además para captar los sedimentos que van en el agua de escurrimiento. La barrera muerta resulta en la formación paulatina de terrazas. El efecto de la barrera muerta se concentra en retener el suelo. Se recomienda combinarla con técnicas que mejoran o aumentan la fertilidad del suelo (Citado por Cooper y Martínez 2022, p. 8).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Ubicación del estudio

La investigación se realizó en cuatro fincas referenciales con Prácticas de Manejo Sostenible de Suelos y Agua (PMSSA) y una finca cafetalera con manejo tradicional, localizadas en los municipios de Condega y Yalagüina. A continuación, se detalla la localización de los sitios y el área.

Cuadro 1. Localización de las fincas referenciales

| Fincas referenciales | Coordenadas |         |          | Comunidad       | Municipio | Área (ha) |
|----------------------|-------------|---------|----------|-----------------|-----------|-----------|
|                      | X           | Y       | Z (msnm) |                 |           |           |
| El Aguacate          | 550981      | 1489688 | 725      | Quebrada Arriba | Yalagüina | 3.5       |
| El Madroño           | 552239      | 1493968 | 860      | San Antonio     | Yalagüina | 2.5       |
| El Quebracho         | 581609      | 1481861 | 1283     | El Bramadero    | Condega   | 10        |
| Reserva Linda Vista  | 581725      | 1481524 | 1272     | El Bramadero    | Condega   | 35        |
| Los Alpes            | 581367      | 1481714 | 1299     | El Bramadero    | Condega   | 7         |

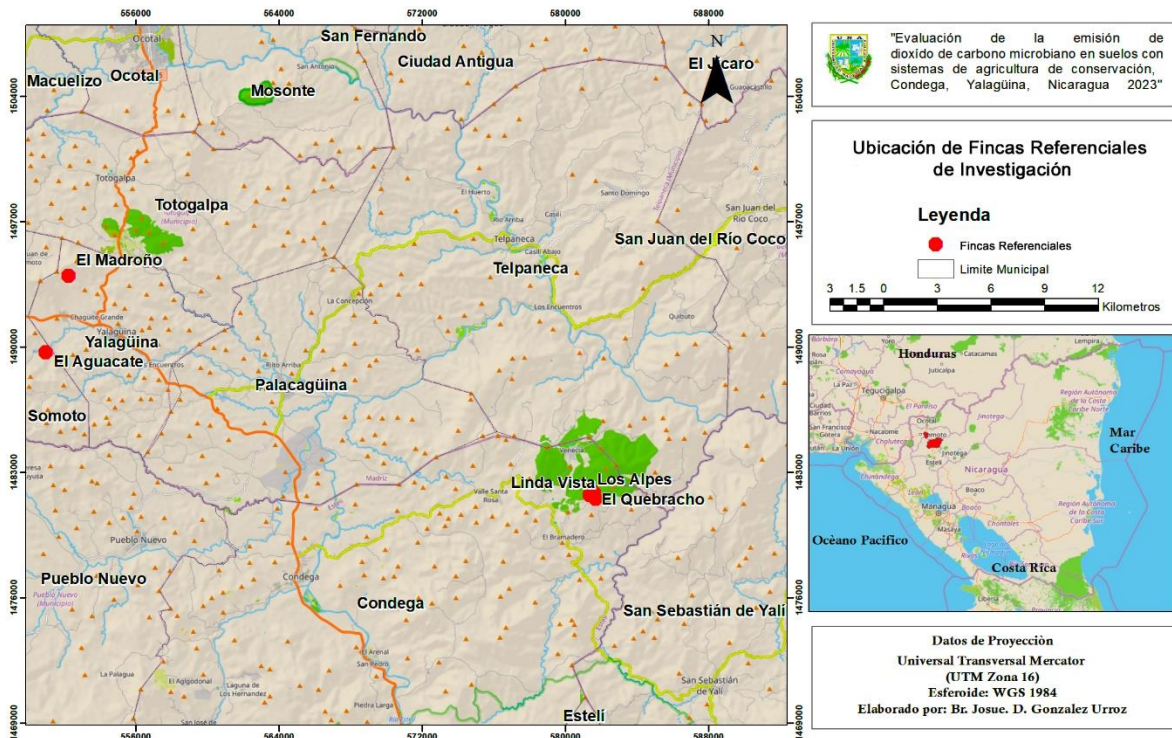


Figura 1. Ubicación de las fincas referenciales en los municipios de Condega y Yalagüina, 2023

#### 4.1.1. Clima

De acuerdo con el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2023),

En la región norte del país las precipitaciones oscilan entre 800 *mm* en los valles intramontanos a 2500 *mm* en las pendientes orientales de las cordilleras. En el municipio de Condega y Yalagüina, en el mes de marzo 2023 se presentó un acumulado de precipitaciones con un comportamiento por arriba de lo normal, los mayores acumulados de 50 *mm* a 100 *mm* y temperaturas medias con valores de 20°C a 26°C. En el mes de agosto 2023 se observaron valores de 75 *mm* a 200 *mm* y temperaturas con valores de 22°C a 28°C.

#### 4.1.2. Suelo

Los suelos de las fincas referenciales en estudio son clasificados taxonómicamente como Mollisols, suelos oscuros, enriquecidos por los altos contenidos de materia orgánica, acorde con su definición etimológica, son suelos suaves, bien estructurados, no son duros ni masivos cuando secos. Tienen alta fertilidad natural, contiene más de 50% de bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K). Su horizonación común es A - Bt - C - R o pueden encontrarse otras variantes en función del grado de desarrollo del suelo, lo cual está relacionado al grado evolutivo de la génesis del suelo. En Nicaragua los podemos encontrar en clima seco y subhúmedo (INETER, 2021, p. 45).

En las fincas referenciales los subgrupos del suelo descritos son *Veritic Argiustolls*, *Typic Argiustolls* y *Typic Argiudolls*, los cuales taxonómicamente se describen como,

- *Veritic Argiustolls* (oll. Mollisols. L., ustus, quemado, seco. Régimen de humedad “ustico”. L., argilla, arcilla. Horizonte argílico. L., verteré, dar vuelta, propiedades vérticas). Son los Ustoll, suelos de desarrollo juvenil, moderadamente bien drenados. Tienen un epipedón mólico sobre un horizonte argílico grueso de arcilla media, presentan grietas de más de un cm de ancho y hasta 50 cm de profundidad, en clima seco. Los suelos permanecen secos más de 90 días consecutivos en el año (INETER, 2021, p. 58).
- *Typic Argiustolls* (oll. Molisols. L., ustus, quemado,seco. Regimen de humedad “ústico”. L., argilla, arcilla. Horizonte argílico. L., durus, duro.Duripan, estrato endurecido). Son los Ustolls, suelos de desarrolloo juvenil, bien drenados.Tienen un epipedón mólico sobre un



horizonte argílico que tiene una capa de talpetate fragmentado en su parte inferior. En clima seco. Los suelos permanecen secos más de 90 días consecutivos en el año (INETER, 2021, p. 59).

- *Typic Argiudolls* (oll. Mollisols. L., udus, húmedo. Régimen de humedad “údicico. L., argilla, arcilla. L., typicus, del Gr., typikos. Típico, propio; concepto central del Gran Grupo), Son los Udolls, suelos de desarrollo juvenil, bien drenados, tienen epipedón mólico sobre un horizonte argílico bien desarrollado, de color pardo rojizo oscuro, en clima húmedo. Los suelos permanecen húmedos más de 90 días consecutivos en el año (INETER, 2021, p. 59).

#### **4.2. Diseño metodológico**

La investigación se realizó en cinco fincas localizadas en los municipios de Condega y Yalagüina, cuatro de las fincas referenciales con sistemas de agricultura de conservación y una con manejo tradicional. Dichas fincas se seleccionaron por la implementación del sistema de Agricultura de Conservación a lo largo de los años, en estas se han evaluado indicadores de calidad y fertilidad de suelo. Por otro lado, la finca con manejo tradicional se seleccionó como testigo de las fincas cafetaleras con prácticas de conservación de suelos.

La investigación se desarrolló en dos etapas de campo, la primera en época seca (29, 30 y 31 de marzo, 2023) y la segunda en época lluviosa (24, 25 y 26 de agosto, 2023). Esto con el objetivo de analizar el comportamiento de la respiración microbiana por época climática.

En campo se utilizaron formatos para la toma de datos tales como: nombre de la finca, localización, área, uso de suelo y prácticas de manejo sostenible de suelos y agua. A la vez, se realizó el levantamiento de muestras de suelo, para el posterior análisis de respiración basal, pH, materia orgánica, carbono orgánico, densidad aparente y textura en el laboratorio de suelos y agua (LABSA – UNA).

En el muestro de suelos se seleccionaron 5 puntos representativos a modo de formar un zigzag tanto en la parcela PMSSA como en la parcela testigo, con una distancia entre puntos de 10 m. Cada muestra formada por dos submuestras tomadas a una profundidad de 0 – 20 cm.

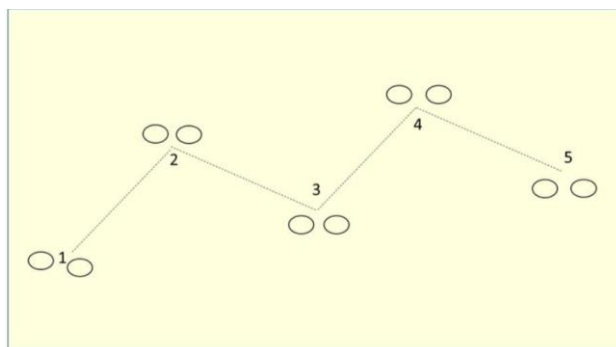


Figura 2. Esquema de muestreo en zigzag realizado en las parcelas de las fincas referenciales

En la primera etapa (época seca) en las fincas El Aguacate, El Madroño y El Quebracho se muestreó en la parcela PMSSA y testigo, y para la finca Linda Vista con parcela PMSSA se tomó como testigo la finca Los Alpes con manejo tradicional; obteniendo así un total de 40 muestras.

En la segunda etapa (época lluviosa) en las fincas El Aguacate y El Madroño se muestreó en la parcela PMSSA y testigo, y para las fincas Linda Vista y El Quebracho con parcela PMSSA sirvió de testigo la finca Los Alpes con manejo tradicional; levantando así un total de 35 muestras.

### 4.3. Variables evaluadas

Las variables del suelo evaluadas se analizaron en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA – UNA) y a continuación, se detallan las metodologías empleadas

Cuadro 2. Variables del suelo evaluadas y su metodología

| Variables del suelo evaluadas | Metodología                                     |
|-------------------------------|---|
| pH (potencial de hidrógeno)   | pH en agua<br>GLOSOLAN-SOP-06                   |
| Carbono orgánico              | GLOSOLAN-SOP-02<br>Cilindro de volumen conocido |
| Densidad aparente             | NOM-021-RECNAT-2000/AS-04                       |
| Textura                       | Textura Bouyoucos<br>NOM-021-RECNAT-2000/AS-09  |

El análisis de respiración microbiana se realizó con la metodología revisada por Miriam Ostinelli y Daniel Carreira – LATSOLAN, y adaptada por: Carolina Olivera Juan Carlos Rey de FAO, Venezuela. Dicha metodología fue revisada y adaptada a las condiciones del Laboratorio de Suelos y Aguas - UNA, en 3 fases de análisis previo al desarrollo de esta investigación.

### **Preparación de reactivos**

- $HCl$   $0.25 Eq \cdot L^{-1}$ : Diluir  $20.5 mL$  de ácido clorhídrico concentrado ( $37.2\%$  densidad  $1.19 g \cdot cm^{-3}$ ) en agua destilada, mezclar bien, enfriar y llevar a volumen de  $1 L$ .
- $NaOH$   $0.50 Eq \cdot L^{-1}$ : Disolver  $40 g$  de  $NaOH$  en agua destilada, transferir a un matraz de  $2 L$ , enfriar y aforar.
- $Na_2CO_3$   $1.0 Eq \cdot L^{-1}$ : Disolver  $5.3 g$  de  $Na_2CO_3$  anhidro en agua destilada y llevar a volumen de  $100 mL$ . No utilizar luego de una semana de su preparación.
- Indicador fenolftaleína [ $C_6H_4COOC(C_6H_4 - 4 - OH)_2$ ]  $0.1\%$ : Disolver  $0.1 g$  de indicador fenolftaleína en  $100 mL$  de etanol (alcohol etílico  $60\%$ ).
- Indicador anaranjado de metilo [ $4 - NaOSO_2C_6H_4N:NC_6H_4/-4 - N(CH_3)_2$ ]  $0.1\%$ : Disolver  $0.1 g$  de indicador anaranjado de metilo en  $100 mL$  de agua destilada.
- $BaCl_2$   $0.5 mol \cdot L^{-1}$ : Disolver  $52.0575 g$  de cloruro de bario en agua destilada y llevar a volumen de  $250 mL$ .

Nota: El ácido clorhídrico es corrosivo, causa quemaduras severas en la piel y daño severo a los ojos. Deben tomarse precauciones para su manipulación. Mantener siempre alejado de llamas abiertas y fuentes de calor. Medir regularmente la concentración de  $HCl$  en el aire. Realizar las operaciones bajo campana de extracción de gases. Nunca diluir agregando agua al ácido; siempre agregar el ácido al agua.

### **Estandarización de las soluciones de ácido clorhídrico (0.25 M) y de hidróxido de sodio (0.5 M)**

- Pipetear  $10 mL$  de solución de  $Na_2CO_3$   $1 N$  en un Erlenmeyer de  $125 mL$ , añadir 3 gotas de indicador anaranjado de metilo, agregar  $HCl$   $1 N$  a la bureta y titular. La solución cambia de color naranja claro a naranja oscuro. La normalidad del  $HCl$  es:

$$N_{HCl} = \frac{10 \cdot N_{Na_2CO_3}}{V_{HCl}}$$

donde,

$N_{HCl}$ : Normalidad de la solución de  $HCl$

$N_{Na_2CO_3}$ : Normalidad de la solución de  $Na_2CO_3$

$V_{HCl}$ : Volumen utilizado de solución de  $HCl$  (mL)

- Pipetear 10 mL de solución estandarizada de  $HCl$  en un Erlenmeyer de 125 mL, añadir 3 gotas de indicador fenolftaleína, agregar solución de  $NaOH$  a la bureta y titular. La solución cambia de color desde incoloro a rosa. La normalidad del  $NaOH$  es:

$$N_{NaOH} = \frac{10 \cdot N_{HCl}}{V_{NaOH}}$$

donde,

$N_{NaOH}$ : Normalidad de la solución de  $NaOH$

$N_{HCl}$ : Normalidad de la solución de  $HCl$

$V_{NaOH}$ : Volumen utilizado de solución de  $NaOH$  (mL)

### **Determinación de la respiración microbiana**

- En un envase de plástico de 100 mL se pesan 50 g de suelo de las muestras que previamente han sido tamizadas por una malla de 2 mm y se le han extraído cuidadosamente las raicillas.
- Se les ajusta su humedad entre el 40 – 60 % de la máxima capacidad de retención de humedad, agregando aproximadamente 25 mL de agua destilada.
- Alef y Nannipieri (1995), sugieren que las muestras sean preacondicionadas por 5 - 7 días a temperatura del laboratorio (22°C) para lograr su estabilización; por lo que se estableció preacondicionar las muestras por 7 días.
- Una vez que la muestra esta preacondicionada, esta se coloca en un envase de vidrio de 1L que servirá de cámara estática. Dentro del envase se suspende un vial que contiene 20 mL de  $NaOH$  0.5 N, se tapa herméticamente y se deja incubando a 22°C por 4 días. Paralelamente se preparan los blancos que serían los mismos frascos con las trampas de álcali, pero sin suelo.

- Después del período de incubación, los viales con  $NaOH$  son removidos, y se añade 2 mL de  $BaCl_2$  0.5 M a modo de precipitar el  $CO_2$  absorbido por el álcali.
- Agregar 3 gotas del indicador fenolftaleína.
- Titular con  $HCl$  0.25 N hasta el viraje del indicador (color rosa a incoloro). Se procede de igual manera que en los dos pasos anteriores en el caso de los blancos de análisis.

### Cálculos para la determinación de la respiración microbiana de suelo

$$R_{basal} \mu g C - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1} = \frac{(V_b - V_m) \times N_{HCl} \times 12 \times 1000}{m_m \times td}$$

donde,

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| $N_{HCl}$     | → | Concentración de la solución estandarizada de ácido clorhídrico |
| $V_{blanco}$  | → | Volumen gastado en el blanco de ácido clorhídrico               |
| $V_{muestra}$ | → | Volumen gastado en la muestra de ácido clorhídrico              |
| $m_{muestra}$ | → | Masa de la muestra de suelo (g)                                 |
| 1000          | → | Coefficiente para llevar mg a $\mu g$ de $C - CO_2$             |
| 12            | → | Masa atómica del carbono  |
| $d$           | → | Días de incubación  |

#### 4.4. Análisis de datos

Los resultados de los análisis de suelo de las variables estudiadas se digitalizaron en Excel y los análisis estadísticos se realizaron en el software R 4.3.2 (Core Team, 2023) y su interfaz RStudio 2023.10.31 (RStudio Team, 2023), utilizándose un nivel de significancia de 0.05 para todas las pruebas de hipótesis.

##### 1. Prueba de normalidad

La prueba utilizada fue el de Shapiro-Wilks que plantea la hipótesis nula que una muestra proviene de una distribución normal.

##### 2. Estadística descriptiva

La medida descriptiva empleada fue la media, la cual representa el punto de equilibrio de la distribución y está influida por los valores extremos. Proporciona una medida de la tendencia general o valor medio de los datos.

### 3. Estadística inferencial

La prueba inferencial usada para comparar las medias de los conjuntos de datos es la ANOVA. El análisis de varianza de un factor es un método estadístico para examinar las diferencias en las medias de tres o más grupos, esta se aplicó al determinar que los datos siguen una distribución normal.

Como prueba de comparación múltiple Tukey, se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores.

### 4. Procedimiento de selección por pasos (stepwise)

Para aplicar el procedimiento de selección por pasos (stepwise) se desarrolló el modelo de Regresión Lineal Múltiple, esto con el objetivo de identificar la influencia del pH, carbono orgánico, densidad aparente, arena, limo y arcilla, en la producción de la respiración microbiana.

### 5. Relación entre variables

Las correlaciones fueron descritas con el Coeficiente de Correlación de Pearson, con la cual se puede leer la fuerza y la dirección de la correlación en el coeficiente de correlación de Pearson  $\gamma$ , cuyo valor varía entre  $-1$  y  $1$ .

#### 4.5. Prácticas de Manejo Sostenible de Suelos y Agua (PMSSA)

En los cuadros siguientes se describen las Prácticas de Manejo Sostenible de Suelos y Agua implementadas en las fincas referenciales, en estos se detalla el área de la unidad homogénea, uso del suelo, años de implementación, propósitos y descripción de las prácticas.

Cuadro 3. Descripción de Prácticas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua (PMSSA) en granos básicos, finca El aguacate, Yalagüina, 2023

| Unidad homogénea     | Sistema de uso del suelo        | PMSSA  | Años de implementación | Propósitos de las PMSSA   | Descripción de las PMSSA   |
|----------------------|---------------------------------|--|------------------------|---|--|
| <b>1 (1.054 ha)</b>  | Cultivos de maíz, frijol y yuca | Cobertura vegetal permanente, labranza mínima y rotación de cultivos | 8 años                 | -Retención de humedad<br>-Conservación y restauración de suelos<br>-Aporta nutrientes al suelo.<br>-Diversificación de ingresos | Consiste en el uso de todos los residuos de cosecha incorporados al suelo, una labranza manual y al espeque y una rotación anual dinámica, al inicio del proyecto se sembró 2 mz de sorgo con canavalia para posteriormente ser incorporada al suelo la biomasa para aumentar el porcentaje de materia orgánica. |
| <b>2 (0.3513 ha)</b> | Hortalizas                      |  |                        |   |  |
| <b>3 (0.3513 ha)</b> | Guayaba y musáceas              | Cobertura vegetal permanente   |                        | -Incorporación de N y MOS.  | Cobertura que se ubica en el área de irrigación de cada planta con la finalidad de conservar la humedad del suelo y aportar nutrientes al suelo.   |
| <b>4 (0.3513 ha)</b> | Aguacate, Mango y Limón         | Asocio de cultivos y siembra de leguminosa                           | 15 años                | -Conservación de suelos<br>-Mejorar la estructura del suelo<br>-Conservación de bosque  | La práctica es mantener cultivos de leguminosas entre calles de los cultivos perennes, con el objetivo de aportar biomasa y conservar humedad en el suelo.   |
|                      | Bosque                          |  |                        | Regeneración natural de madero negro  |  |

Cuadro 4. Descripción de prácticas de manejo sostenibles de suelo y agua (PMSSA) en granos básicos, finca El Madroño, Quebrada arriba, Yalagüina, Nicaragua, 2023

| Unidad homogénea               | Sistema de uso del suelo      | PMSSA            | Años de implementación | Propósitos de las PMSSA  | Descripción de las PMSSA  |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------|--|---|
| <b>1 (1.4052 ha)</b>           | Frijol<br>Maíz<br>Millón      | Barreras muertas | 8 años                 | Restauración del suelo, retención de humedad, y aportar nutrientes.<br>Diversificar ingresos.<br>Conservar suelos de la ladera | Utiliza los materiales rocosos que se encuentran en las parcelas para la elaboración de sus barreras y hace retener suelo en las pendientes más pronunciadas del terreno.   |
|                                |                               | Labranza mínima  |                        |  | Optima el uso del terreno y protege el recurso suelo al cultivar a favor de la pendiente y así mismo evita pérdidas en los rendimientos.  |
| <b>2 (1,756 m<sup>2</sup>)</b> | Marañón<br>Nancite<br>Musácea | Cercas vivas     |                        | Conservación de suelos de la ladera<br>Evitar pérdida por erosión  | Usa de todos los residuos de cosecha incorporados al suelo, una labranza manual y al espeque y una rotación anual dinámica.<br>Utiliza árboles frutales para prevenir arrastres de sedimentos y de suelo en las partes altas de la parcela. |



Cuadro 5. Descripción de prácticas de manejo sostenibles de suelo y agua (PMSSA), en café, finca El Quebracho, Condega, Nicaragua, 2023

| Unidad homogénea               | Sistema de uso del suelo          | PMSSA  | Años de implementación | Propósitos de las PMSSA  | Descripción de las PMSSA  |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------|--|---|
| <b>1 (800 m<sup>2</sup>)</b>   | Huerto                            | Aboneras, lombrihumos, foliares orgánicos. Aplica microorganismos de montaña   | 5 años                 | Seguridad alimentaria con productos saludables   |   |
| <b>2 (1,756 m<sup>2</sup>)</b> | Reservorio                        | Construcción de un Reservorio para captar agua superficial   | 3 años                 | Conservar agua, Crianza de tilapia y riego de hortalizas   | Las dimensiones de la obra son de 20 m por lados y 2 m profundidad, con una capacidad de almacenar 800 m <sup>3</sup> de agua |
| <b>3 (1,756 m<sup>2</sup>)</b> | Área de cabros                    | Potreo con plantas forrajeras y pasto para cabras  | 2 años                 | Seguridad alimentaria  | Sistemas silvopastoriles  |
| <b>4 (5.62 ha)</b>             | Café Catimor, Catuaí, y Parainema | Sistema agroforestal en café incorpora hojarasca, foliares orgánicos, cobertura vegetal, abono orgánico, acequias. Manejo de densidades de siembra | 5 años                 | Elevar los rendimientos del café, producir café orgánico con excelente tasa internacional, Conservar y aportar nutrientes y humedad al suelo | diversificado con árboles, cítricos y musáceas.<br>Aplicación de abonos orgánicos y foliares                                  |

Cuadro 6. Descripción de prácticas de manejo sostenibles de suelo y agua (PMSSA), en café, Finca Linda Vista, Condega, 2023

| Unidad homogénea               | Sistema de uso del suelo          | PMSSA   | Años de implementación | Propósitos de las PMSSA   | Descripción de las PMSSA   |
|--------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------|---|--|
| <b>1 (26.7 ha)</b>             | Bosque secundario, en 14 lotes    | Conservación de bosque con especies nativas   | 30 años                | Conservar el bosque, recuperar fuentes de agua y hospedar biodiversidad   | Introducción y selección de especies nativas   |
| <b>2 (7.026 ha)</b>            | Café Catimor, Catuaí, y Parainema | Sistema agroforestal en café incorpora hojarasca, foliares orgánicos, cobertura vegetal, abono orgánico, 21,000 m de barreas muertas, acequias y barreras vivas | 17 años                | Elevar los rendimientos del café, producir café orgánico con excelente tasa internacional, Conservar y aportar nutrientes y humedad al suelo, | diversificado con árboles, cítricos y musáceas.,<br>Aplicación de abonos orgánicos y foliares<br>Abono biomineral                |
| <b>3 (2500 m<sup>2</sup>)</b>  | Huerto                            | Aboneras, lombrihumos, foliares orgánicos. Aplica microorganismos de montaña<br>Siembra en curvas a nivel   | 5 años                 | Seguridad alimentaria con productos saludables  | Compost mineralizado (harina de roca, ceniza y potasio, Zinc y Boro y fósforo)   |
| <b>4 (1,756 m<sup>2</sup>)</b> | Reservorio                        | Construcción de un Reservorio para captar agua superficial  | 3 años                 | Conservar agua, Crianza de tilapia y riego de hortalizas  | Las dimensiones de la obra son de 20 m por lados y 2 m de profundidad, con una capacidad de almacenar 800 m <sup>3</sup> e agua. |

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se describen las propiedades del suelo analizadas en las fincas referenciales, el comportamiento de la respiración microbiana como indicador de la emisión de dióxido de carbono al compararse con fincas, parcelas, usos y clases texturales. A la vez, se analiza la influencia del pH, contenido de carbono orgánico, densidad aparente y porcentaje de partículas en la respiración del suelo.

### 5.1. Respiración microbiana y la relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo

En la figura 3 se presentan los promedios de la tasa de respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) como indicador de la emisión de dióxido de carbono del suelo en las fincas referenciales, el grafico 3A representa los resultados obtenidos en época seca (marzo) y el 3B los de la época lluviosa (agosto).

En la época seca en las parcelas con Practicas de Manejo Sostenible de Suelos y Agua (PMSSA) la tasa de respiración osciló entre 62.55 y 96.52  $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ , y en las parcelas testigos entre 54.39 a 87.38  $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ . En cambio, en la época lluviosa en las parcelas PMSSA va de 26.82 a 70.08  $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$  y en las parcelas testigos de 28.07 a 48.93  $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ .

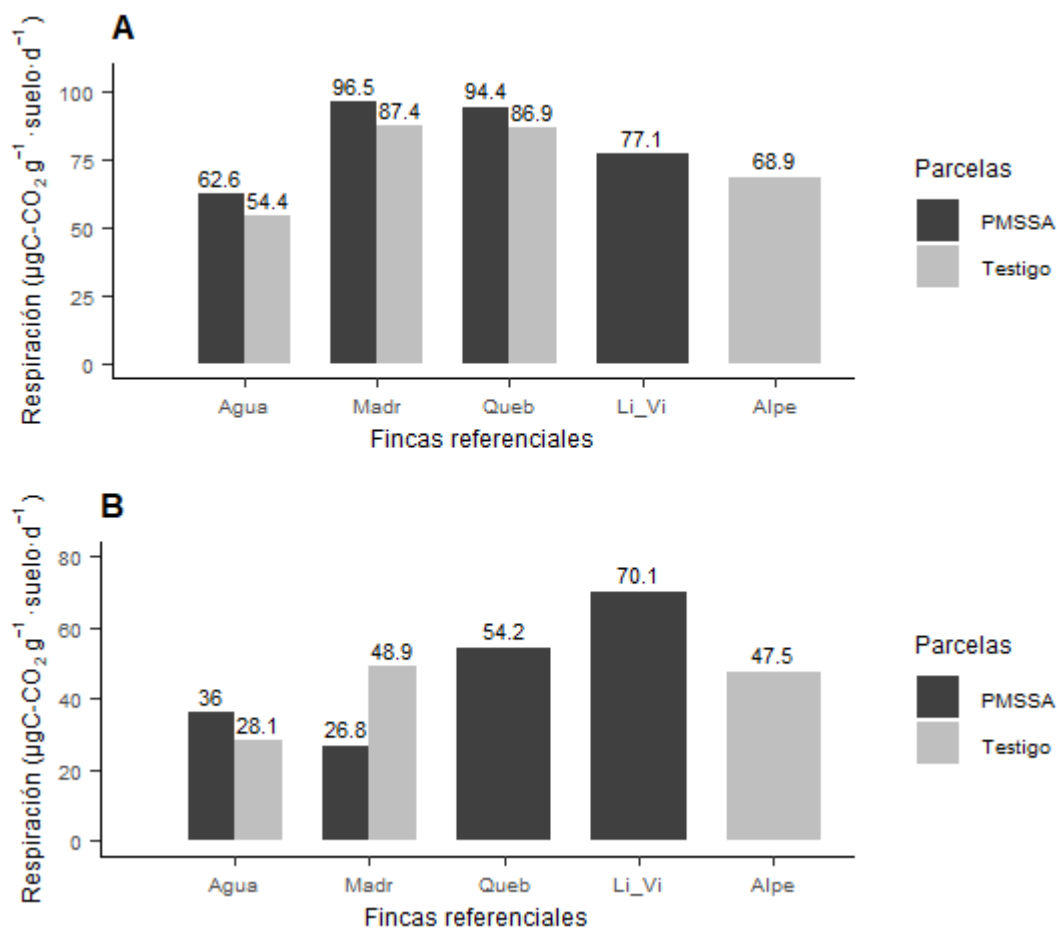


Figura 3. Tasa de respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } \text{d}^{-1}$ ) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

Por lo tanto, las tasas de respiración microbiana más bajas se presentaron en el mes de agosto durante la época lluviosa. Esto influenciado por las condiciones anaeróbicas del suelo. Al respecto, Linn & Doran (1984) destacan que,

El porcentaje de espacio poroso ocupado por agua (% WFPS, por sus siglas en inglés) en el suelo puede ser un indicador útil del potencial relativo de actividad microbiana aeróbica y anaeróbica en el suelo. Las tasas relativas de respiración (absorción de  $\text{O}_2$  y producción de  $\text{CO}_2$ ) y nitrificación aumentan linealmente con el aumento del contenido de agua del suelo hasta un máximo de 60 % del WFPS y disminuyen posteriormente.

Sin embargo, la actividad relativa de la desnitrificación aeróbica, es insignificante al 60 % del WFPS pero aumenta con el incremento del agua y alcanza una saturación máxima.

Por lo tanto, la aireación del suelo parece ser un factor importante que limita la actividad microbiana por encima del 60 % del WFPS, con procesos aeróbicos obligatorios que disminuyen rápidamente con el aumento del agua.

De acuerdo con Muños et al. (2010),

La contribución de los suelos agrícolas a la emisión de  $CO_2$ ,  $N_2O$  y  $CH_4$  depende de los procesos biofísicos, y la incorporación y/o descomposición de los residuos orgánicos en el suelo; bajo condiciones aeróbicas se produce  $CO_2$ ; mientras que, las condiciones anaerobias producen  $CH_4$  y la nitrificación y desnitrificación dan como resultado la emisión de  $N_2O$  (citado por Albiter, 2018).

De acuerdo con los valores obtenidos de la tasa de respiración microbiana se confirma que al alcanzar el suelo una humedad mayor al 60 % durante la época lluviosa (suelo saturado), la emisión de dióxido de carbono disminuyó en comparación con los valores encontrados en la época seca. Siendo la aireación un factor que influye en la actividad biológica en el suelo, ya que en condiciones aeróbicas la descomposición de compuestos orgánicos da paso a una mayor actividad microbiana y, por ende, a la emisión de dióxido de carbono.

En la figura 4 se presentan los valores del potencial de hidrógeno (pH) del suelo en las fincas referenciales; el gráfico 4A representa los resultados obtenidos en época seca (marzo) y el 4B los de la época lluviosa (agosto).

El potencial de hidrogeno (pH) en época seca en la finca El Aguacate es ligeramente alcalino, en El Madroño es neutro, en El Quebracho ligeramente ácido, y en la Linda Vista y Los Alpes es medianamente ácido. En cambio, en la época lluviosa en la finca El Aguacate en la parcela PMSSA es neutro y en la testigo es ligeramente alcalino, en El Madroño y Los Alpes es neutro, en El Quebracho y La Linda Vista es ligeramente ácido. Lo que representa diferencias en el pH entre la época seca y la época lluviosa.

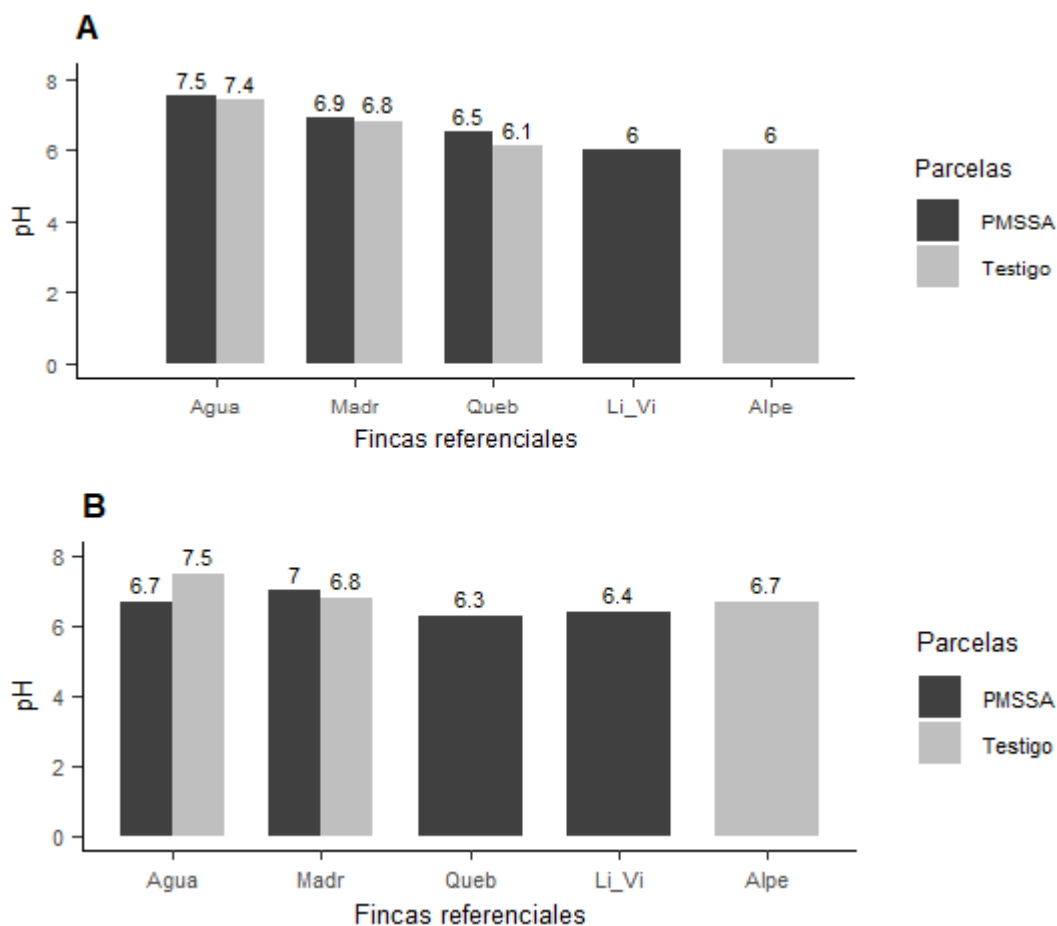


Figura 4. Potencial de hidrógeno (pH) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

En el análisis del pH se presenta una variabilidad entre los resultados obtenidos en la época seca y la época lluviosa, tendiendo a aumentar el pH en la época lluviosa a excepción de la parcela PMSSA de la finca El Aguacate. Al respecto Jaramillo (2002) menciona que, “Se presentan variaciones en el pH, al ser medido en diferentes épocas del año, por efecto de cambios que se producen, a través del tiempo, en el efecto de dilución, en el contenido de sales y/o en el aporte de  $CO_2$  debido a la actividad biológica de los organismos en el suelo” (pp 351- 352).

En la figura 5 se presenta el contenido de carbono orgánico ( $g \cdot kg^{-1}$ ) del suelo en las fincas referenciales. El gráfico 5A representa los resultados obtenidos en época seca (marzo) y el 5B los de la época lluviosa (agosto).

El contenido de carbono orgánico ( $g \cdot kg^{-1}$ ) es mayor en la época seca con respecto a la época lluviosa, a excepción de la finca El Aguacate en la parcela PMSSA. A la vez, se evidencia mayor contenido de carbono orgánico en las parcelas con Practicas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua que en las parcelas testigos con manejo tradicional.

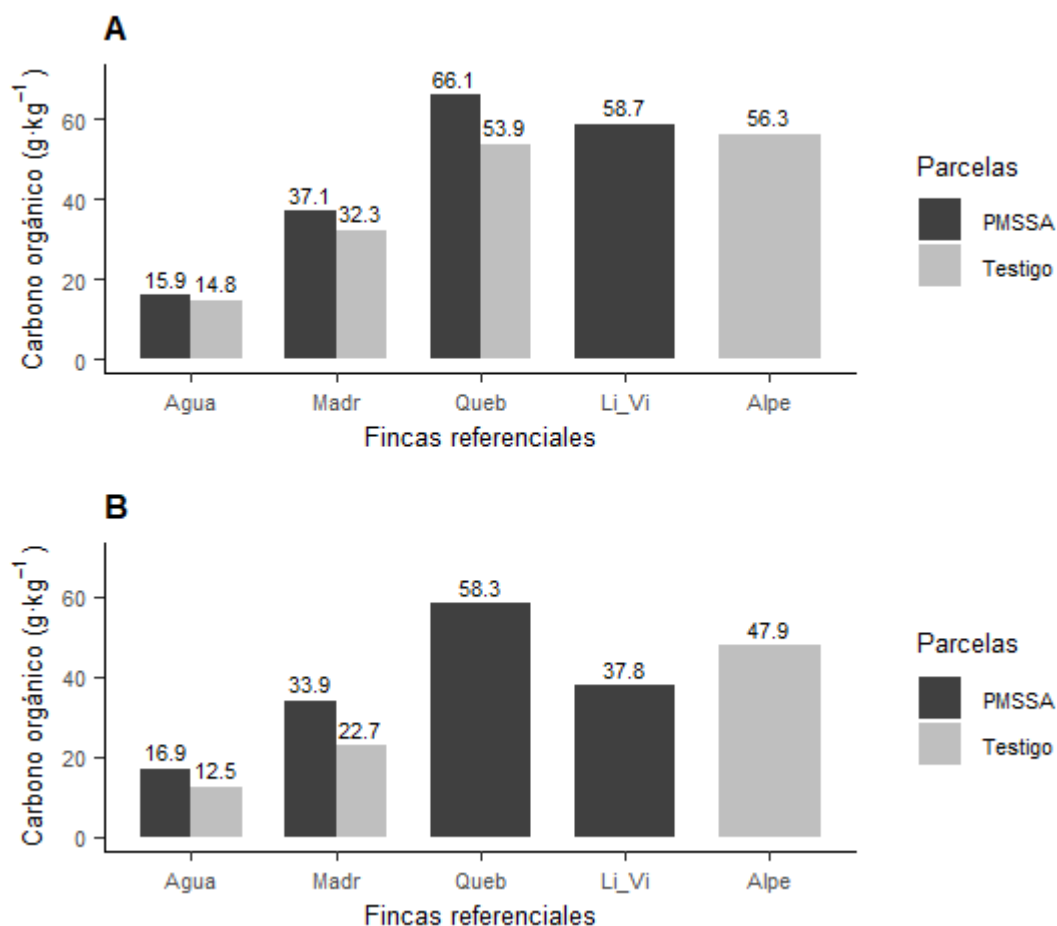


Figura 5. Contenido de carbono orgánico ( $g \cdot kg^{-1}$ ) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

El contenido de carbono orgánico es mayor en las parcelas PMSSA debido a una mayor actividad microbiana en el suelo y, por ende, por la mineralización de la materia orgánica. Las prácticas de conservación de suelos empleadas tales como: incorporación de rastrojo, cobertura vegetal permanente, rotación de cultivo, asocio de cultivo, aplicación de microorganismos de montaña, abono orgánico, etc.; son prácticas que favorecen la producción de carbono orgánico y la retención de este en los suelos de las fincas referenciales.

En la figura 6 se presentan los resultados de la densidad aparente del suelo ( $g \cdot cm^{-3}$ ) en las fincas referenciales, el grafico 6A representa los datos de la época seca (marzo) y el 6B los de la época lluviosa (agosto).

La densidad aparente presenta una variabilidad entre las fincas referenciales y las épocas de muestreo. La finca El Quebracho en su parcela PMSSA con las densidades aparentes menores, en la época seca  $0.76 g \cdot cm^{-3}$  y en la época lluviosa  $0.81 g \cdot cm^{-3}$ . En cambio, la mayor densidad aparente en la época seca corresponde a la finca El Aguacate en la parcela PMSSA  $1.04 g \cdot cm^{-3}$ , y en la época lluviosa la finca El Madroño en la parcela testigo con  $1.24 g \cdot cm^{-3}$ .

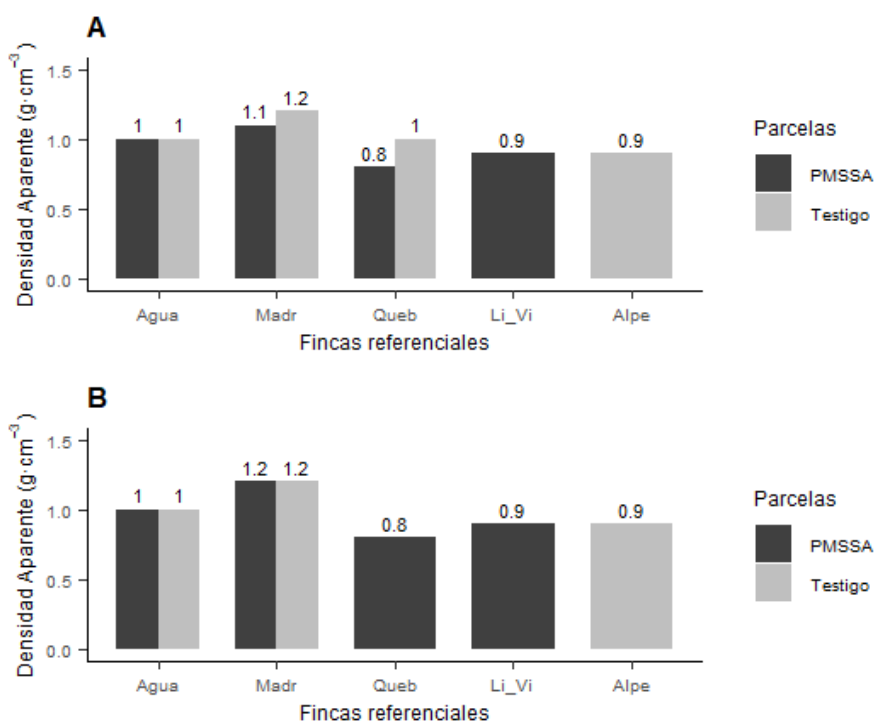


Figura 6. Densidad aparente ( $g \cdot cm^{-3}$ ) en los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

La densidad aparente mantiene una relación negativa con el contenido de carbono orgánico y a medida que el contenido de COS aumenta, la Da tiende a disminuir. A mayor densidad aparente, menor espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, influyendo así en la respiración microbiana del suelo.



## 5.2. Comportamiento de la respiración microbiana por época

Se presentan los análisis de varianza (ANOVA) de la tasa de respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) como indicador de la emisión de dióxido de carbono del suelo en las fincas referenciales. La tasa de respiración microbiana analizada fue significativamente diferente con fincas referenciales, uso de suelo y clase textural.

En los diagramas de barras el eje Y representa la tasa de respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ); en las figuras 7A y 7B el eje X representa las fincas referenciales (El Aguacate, El Madroño, El Quebracho, Linda Vista y Los Alpes). En las figuras 8A y 8B el eje X representa las parcelas (Prácticas de Manejo Sostenibles de Suelo y Agua y Testigo); en las figuras 9A y 9B el eje X representa el uso de suelo (Café, Canavalia, Frijol, Maíz y Yuca) y en la figura 10A y 10B el eje X representa la clase textural de los suelos (Arcillosa, Franco y Franco arcillosa).

Al comparar la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) con las fincas referenciales (Figura 7). En la época seca (7A) se encontraron diferencias altamente significativas ( $p = 2.08 \times 10^{-14}$ ), presentando la finca El Madroño la mayor emisión de dióxido de carbono (promedio de 91.95) y la menor la finca El Aguacate (promedio de  $58.47 \mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ). En la época lluviosa (7B) hay diferencias altamente significativas ( $p = 0.00169$ ), la finca Linda Vista evidencia la mayor emisión de dióxido de carbono (promedio de  $70.07 \mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) y la menor la finca El Aguacate (promedio de  $32.01 \mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ).

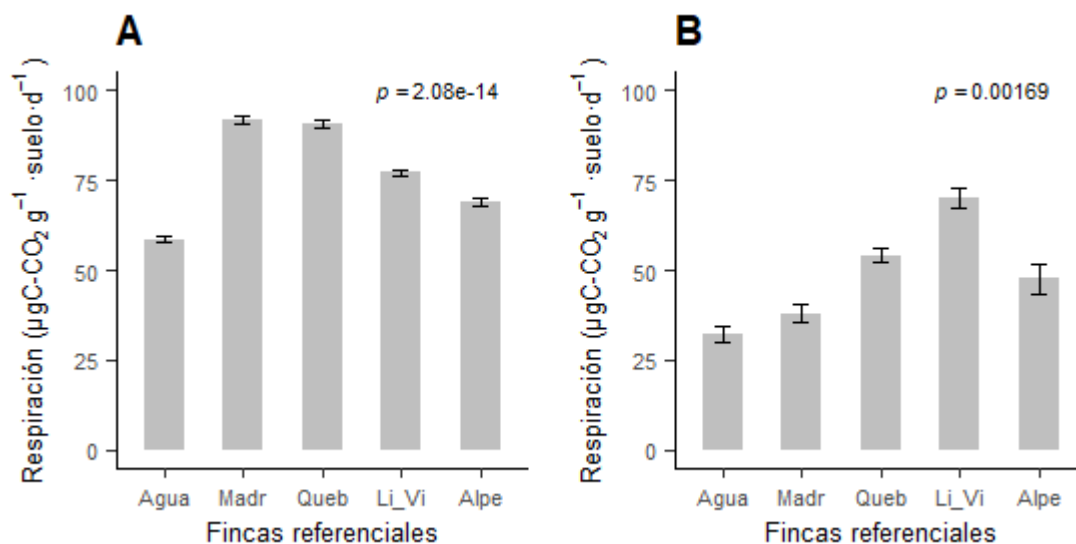


Figura 7. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } \text{d}^{-1}$ ) en función de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

Las diferencias dadas en la tasa de respiración microbiana en las fincas referenciales están dadas por la localización, microclima, gran grupo de suelo, uso de suelo y prácticas de conservación establecidas en cada una de ellas. Siendo condiciones que difieren entre las fincas analizadas y marcan una variabilidad en la emisión de dióxido de carbono de cada sitio.

Al determinar la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo } \text{d}^{-1}$ ) por parcelas (Figura 8) no se encontraron diferencias significativas en época seca ( $p = 0.0865$ ) ni en época lluviosa ( $p = 0.449$ ).

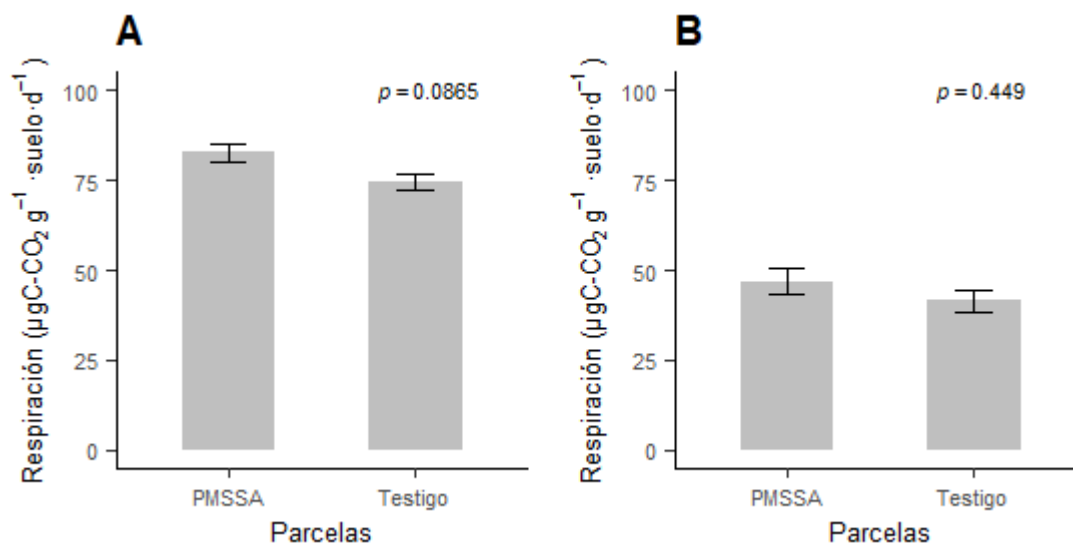


Figura 8. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) en función de las parcelas, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

Aunque el suelo puede actuar como fuente de  $\text{CO}_2$  y de otros GEI (Gases de Efecto Invernadero), si se maneja bien puede convertirse en un gran sumidero de  $\text{CO}_2$  atmosférico. La introducción de un uso sensato de la tierra y de prácticas de manejo con base científica puede prevenir las emisiones de C y extraer  $\text{CO}_2$  atmosférico (Paustian et al. 2016), con lo que el suelo se convierte en una técnica de emisiones negativas (Smith, 2016). Los suelos saludables y recarbonizados ayudan a entregar seguridad alimentaria y climática (Lal, 2004; Horton et al., 2021; Lal et al., 2021), así como otros servicios ecosistémicos esenciales, tales como biodiversidad y calidad del agua (Smith et al., 2021).

La adopción de buenas prácticas agrícolas y la agricultura sostenible (como no eliminar del suelo los restos vegetales de los cultivos, uso de cantidades exactas de fertilizantes y abstenerse de la quema de la poda de cultivos y depender menos de arado) detendría la liberación de millones de toneladas de GEI (Paustian et al., 2000). Este cambio en el modelo agronómico es necesario para tener un saldo positivo de  $\text{CO}_2$  en las zonas agrícolas en que la producción de energía renovable se ha estudiado (Gerin et al., 2008; citado por Albitier, 2018).

Las prácticas de manejo de suelo como son el aumento del contenido de carbono orgánico, la labranza reducida, el estiércol, la incorporación de residuos y la biodiversidad del suelo pueden

desempeñar un papel importante en el secuestro de C (Rastogi et al., 2002; citado por Salinas, 2018).

Al comparar la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) con el uso de suelo (Figura 10), en la época seca (9A) se encontraron diferencias altamente significativas ( $p = 1.37 \times 10^{-09}$ ), con el uso de suelo Canavalia se evidencia mayor emisión de dióxido de carbono (promedio de 91.95) y la menor en el uso de suelo de Frijol (promedio 58.47). En la época lluviosa (9B) hay diferencias altamente significativas ( $p = 0.00169$ ), con el uso de suelo Café evidencia la mayor emisión de dióxido de carbono (promedio de 57.25) y la menor en el uso de suelo con Yuca (promedio de 32.01).

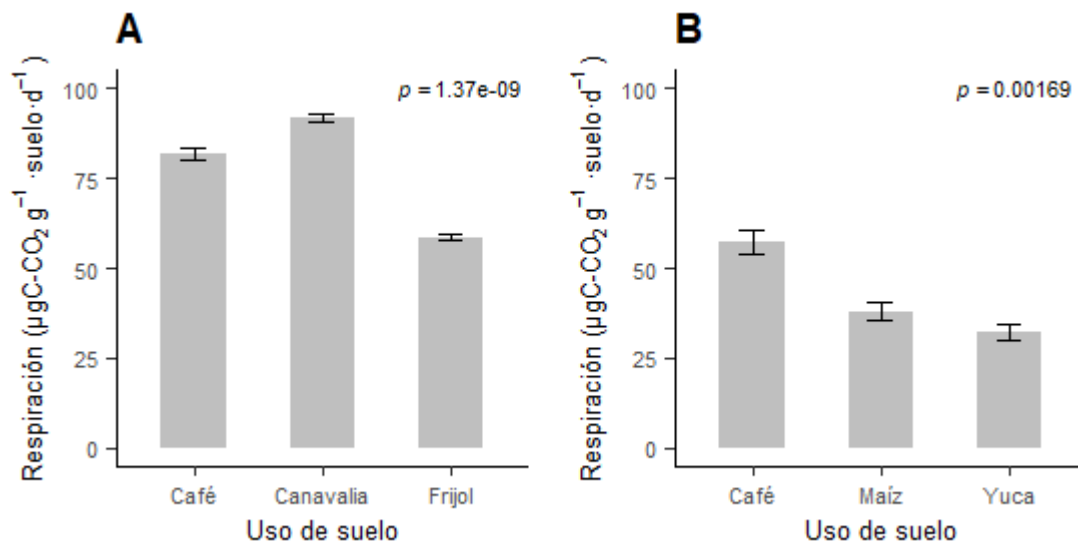


Figura 9. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2\text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) en función del uso de suelo, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa.

En las fincas referenciales de granos básicos se implementa la rotación de cultivos, es por ello que el uso de suelo de la época seca difiere de la época lluviosa.

En época seca el cultivo de canavalia corresponde a la finca El Madroño, en la cual en época lluviosa se estableció el cultivo de Yuca; aun con el cambio de uso de suelo predominan en ambas épocas las menores tasas de respiración microbiana. En cambio, las mayores emisiones de dióxido de carbono en la época seca se dieron con el uso de suelo canavalia correspondiente a la finca El Madroño y en época lluviosa en el uso de suelo café, establecido en las fincas El Quebracho, Linda Vista y Los Alpes.

La finca El Aguacate predomina con las tasas de respiración microbiana más bajas, reteniendo mayor contenido de carbono orgánico y una rotación de cultivo conforme a las prácticas de conservación de suelos implementadas.

El cambio de uso de suelo puede alterar, radicalmente, la cubierta vegetal aun en lapsos de tiempo breves, lo que provoca alteraciones en las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo. Los aportes continuos de materia orgánica, en forma de mantillo, reducen la densidad aparente y la erosión, incrementan la fertilidad, la tasa de infiltración y la retención de agua; en consecuencia, la biomasa vegetal se mantiene (Huang et al., 2006; Jia et al., 2011). Igualmente, conduce a una pérdida de carbono en el suelo, resultado de diversos grados de perturbación humana directa o indirecta, que constituye un importante factor de cambio global (Smith et al., 2016; Citado por Cantú y Yañez, 2018).

En la figura 10 se presenta la relación de la respiración microbiana con la clase textural del suelo, en la época seca (10A) no se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.758$ ). En la época lluviosa (10B) hay diferencias altamente significativas ( $p = 0.00023$ ), dichas diferencias están dadas por las mayores emisiones de dióxido de carbono en los suelos con texturas francas y las menores en los suelos con texturas arcillosas.

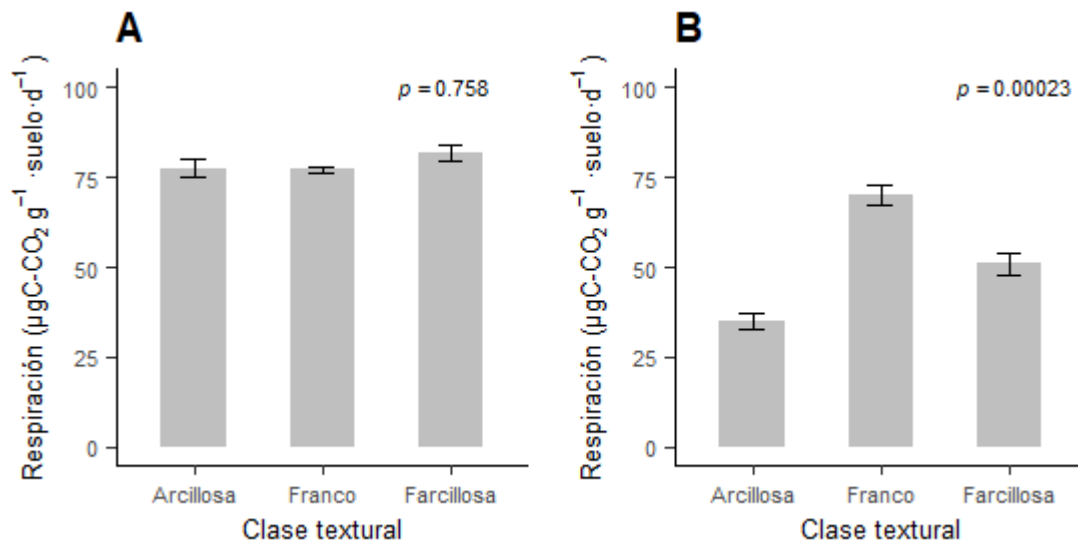


Figura 10. Comportamiento de la respiración microbiana ( $\mu\text{gC} - \text{CO}_2 \text{g}^{-1} \text{suelo} \text{d}^{-1}$ ) en función de la clase textural de los suelos, Condega y Yalagüina, 2023. A. Época seca y B. Época lluviosa

La mayor respiración microbiana se presenta en los suelos con texturas francas, esto debido a la buena aireación de estos suelos lo que facilita los procesos aeróbicos, permitiendo la liberación de dióxido de carbono. Por otro lado, las menores tasas de respiración microbiana se dan en los suelos arcillosos, esto por el espacio poroso y la capacidad de retención de humedad y nutrientes.

De acuerdo con MUNDOAGRO (2022),

Los suelos de textura media (suelos francos) son a menudo favorables para la respiración del suelo debido a su buena aireación y alta capacidad de agua disponible. En suelos arcillosos, la arcilla protege la materia orgánica de la descomposición limitando la respiración del suelo y mineralización (amonificación) de N orgánico. De igual forma, en suelos arenosos, típicamente bajos en COS y con baja capacidad de agua disponible, se limita la respiración del suelo al igual que la mineralización de N.

### **5.3. Relación de la producción de dióxido de carbono microbiano con las propiedades fisicoquímicas por época**

La respiración microbiana como indicador de la emisión de dióxido de carbono microbiano es influenciado principalmente por el pH y contenido de carbono orgánico en el suelo. Con el fin de analizar la influencia de las propiedades del suelo analizadas (pH, carbono orgánico, densidad aparente, arena, limo y arcilla) en la producción de dióxido de carbono microbiano se generó un modelo de Regresión Lineal Múltiple para época seca (Anexo 9) y para época lluviosa (Anexo 10), para aplicar el procedimiento de selección por pasos (stepwise).

El modelo de regresión generado para la época seca (Anexo 9), demuestra que las variables pH, carbono orgánico, porcentaje de arena y porcentaje de limo son significativas ( $pr(> |t|) = 0.423, 5.22 \times 10^{-7}, 0.185$  y  $0.327$ ) respectivamente, para la producción de respiración microbiana. Por otro lado, el modelo desarrollado para la época lluviosa (Anexo 10) evidencia que las variables pH, carbono orgánico, densidad aparente y porcentaje de arena son significativos ( $pr(> |t|) = 0.2238, 0.0455, 0.3625$  y  $0.2486$ ) respectivamente, para la emisión de dióxido de carbono.

Una vez generados los Modelos de Regresión Lineal Múltiple se aplicó el procedimiento de selección por pasos (stepwise), en el cual para el modelo RLM de época seca se seleccionaron las variables contenido de carbono orgánico y porcentaje de limo, resultando altamente significativas con  $\Pr(> |t|) = 3.04 \times 10^{-10}$  y  $\Pr(> |t|) = 1.55 \times 10^{-7}$ , respectivamente. En cambio, para el modelo RLM de época lluviosa se seleccionaron las variables pH ( $\Pr(> |t|) = 0.1733$ ), carbono orgánico ( $\Pr(> |t|) = 0.01133$ ), densidad aparente ( $\Pr(> |t|) = 0.0674$ ) y porcentaje de arena ( $\Pr(> |t|) = 0.0008$ ) altamente significativa.

Tomando en consideración las variables seleccionadas, se analizaron los Coeficientes de Correlación de Pearson y se representan gráficamente las variables que inciden en la tasa de respiración microbiana.

Los gráficos de puntos de la Figura 11 representan las correlaciones en época seca, de la respiración microbiana ( $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) con pH y carbono orgánico ( $g \cdot kg^{-1}$ ). El pH y la respiración microbiana presentan una correlación negativa confirmada con el Coeficiente de Correlación de Pearson, indicando una relación moderada ( $r_s = -0.3173$ ) y significativa ( $p \leq 0.05$ ). El contenido de carbono orgánico y la respiración microbiana se muestra una correlación positiva, confirmada con el Coeficiente de Correlación de Pearson, este denota que la relación es moderadamente fuerte ( $r_s = 0.5312$ ) y significativa ( $p \leq 0.01$ ).

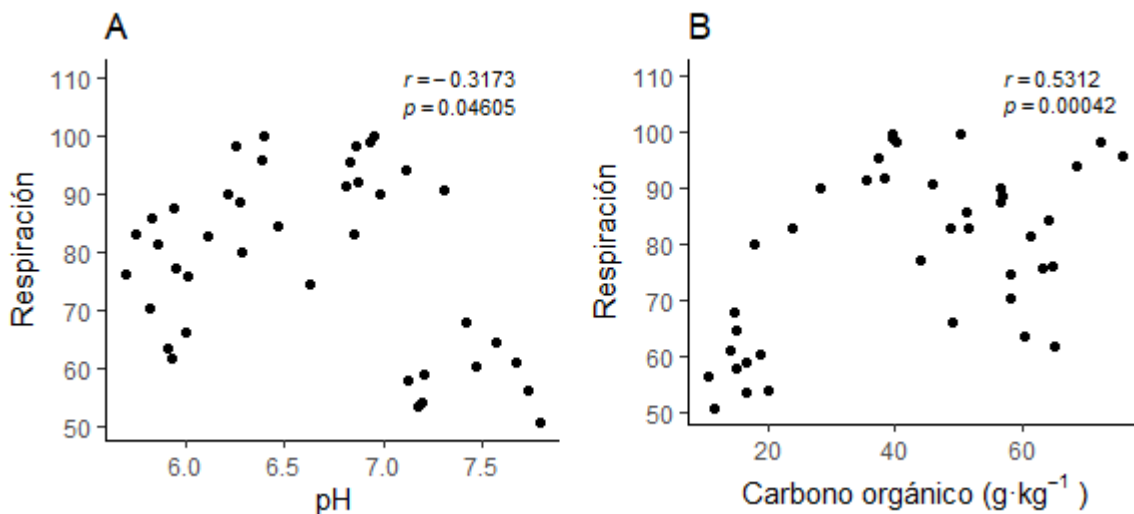


Figura 11. Correlación en época seca entre las variables Respiración microbiana (Respiración,  $\mu gC - CO_2 g^{-1} suelo d^{-1}$ ) con pH y Carbono orgánico (CO,  $g \cdot kg^{-1}$ ), de los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023

En la época lluviosa (Figura 12) en el panel se muestran los gráficos de puntos que representan las correlaciones de la respiración microbiana y las variables pH (12A), carbono orgánico (12B), densidad aparente (12C) y porcentaje de arena (12D).

El potencial de hidrogeno y la respiración microbiana presentan una relación negativa, confirmada con el Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r_s = -0.44$ ), la relación es moderada y altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ).

El contenido de carbono orgánico y la respiración microbiana evidencian una correlación positiva, esto se confirma con el Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r_s = 0.53$ ) con una relación moderadamente fuerte y altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ). La densidad aparente presenta una correlación negativa, con un Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r_s = -0.33$ ), el cual indica una relación moderada.

El porcentaje de arena y la respiración microbiana muestran una correlación negativa, confirmada con el Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r_s = -0.61$ ), este señala que la relación es moderadamente fuerte y altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ).



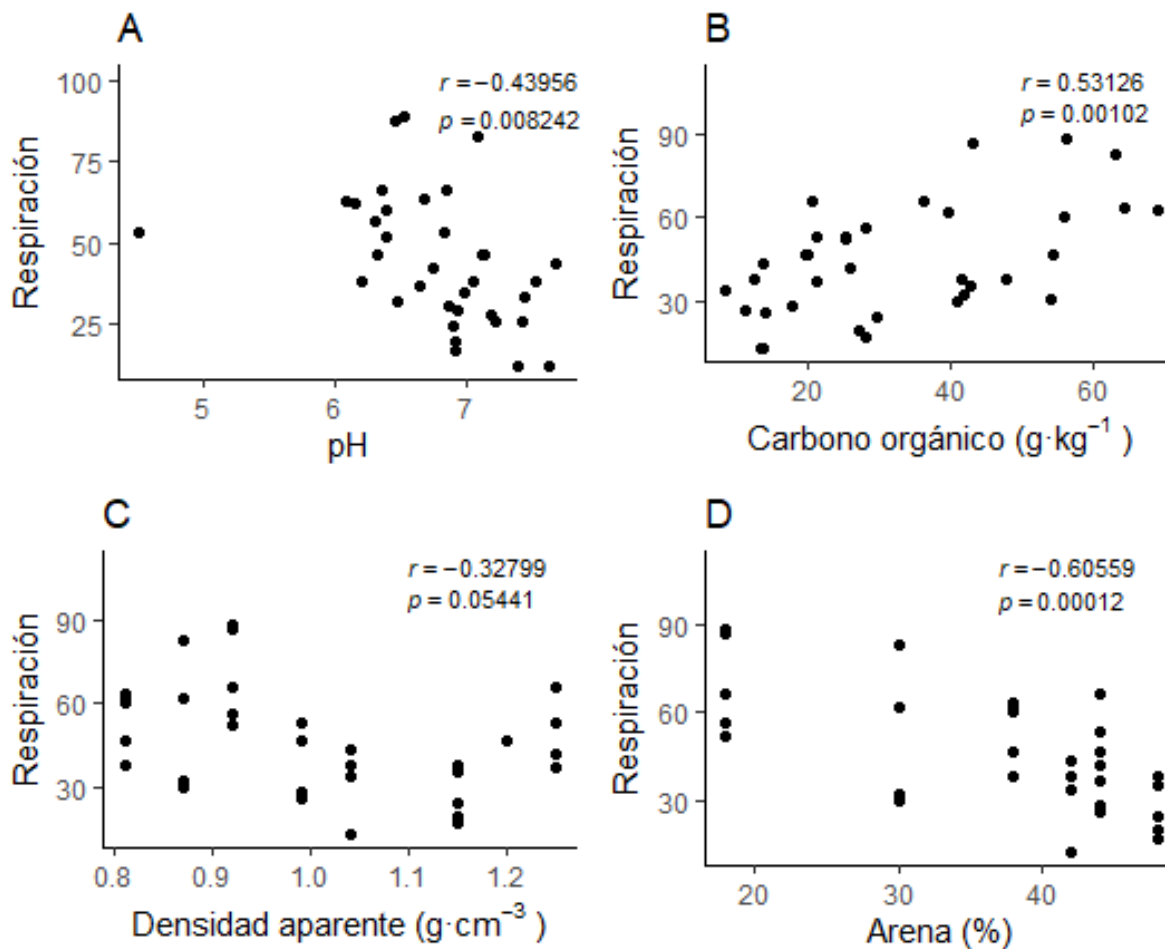


Figura 12. Correlación en época lluviosa entre las variables, Respiración microbiana (Respiración,  $\mu\text{gC} - \text{CO}_2 \text{g}^{-1} \text{suelo d}^{-1}$ ) con pH, Carbono orgánico (CO,  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), Densidad aparente (Da,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) y Arena (%), de los suelos de las fincas referenciales, Condega y Yalagüina, 2023

Al analizar la relación de la respiración microbiana con el pH, carbono orgánico, densidad aparente, porcentaje de arena, limo y arcilla; tanto en época seca como en época lluviosa, se confirmó que el carbono orgánico es la variable de mayor influencia sobre la respiración microbiana.

En época seca el contenido de carbono orgánico y porcentaje de limo inciden en la producción de la respiración microbiana, pero el porcentaje de limo y la respiración no presentan correlación; en cambio existe correlación negativa con el pH, lo que indica que a pH más básicos menor es la emisión de dióxido de carbono.

En el análisis de la época lluviosa se constató que las variables pH, carbono orgánico, densidad aparente y porcentaje de arena, inciden en la tasa de respiración microbiana y a su vez, mantienen una correlación con el carbono orgánico positiva; en cambio, con el pH, densidad aparente y porcentaje de arena una relación negativa.

Al respecto Romanvá (2010) destaca que,

El COS del suelo se relaciona con los niveles de  $CO_2$  atmosféricos mediante diversos procesos biogeoquímicos. La reserva de C de un suelo es el resultado del balance entre las entradas y las pérdidas y depende sobre todo de: las condiciones climáticas y las propiedades del suelo. Ambos grupos de factores ejercen una influencia importante tanto en la producción vegetal como en la descomposición de la materia orgánica. Por este motivo se hace difícil determinar a priori de qué manera estos dos grupos de factores afectarán a la reserva de materia orgánica de los suelos. La sensibilidad diferencial de la producción vegetal y de la descomposición a estos dos grupos de factores determinará la reserva de carbono orgánico del suelo.

El CO como fracción orgánica del suelo, proveniente de los residuos de plantas y animales que son incorporados a su estructura, luego de su descomposición asociada a la acción microbiana, se presenta de color pardo o negruzco, y constituye el 5% del volumen en un suelo ideal o humus (Ibáñez, 2006; citado por Núñez et al., 2020).

De este material orgánico, una parte es incorporada al suelo y otra es liberada en forma de  $CO_2$ . En efecto, la oxidación de la MO genera la transformación del carbono que contiene, de la forma orgánica a la inorgánica, generando la producción de una fracción de  $CO_2$  que es emitido a la atmósfera (Peris, 2013; citado por Núñez et al., 2020).

Vásquez et al., (2013) “Obtuvo una correlación negativa con el pH, indicando que a medida que los suelos tienden a la alcalinidad se inhibe en un alto porcentaje la respiración del suelo como efecto indirecto de la actividad microbiana”.

## **VI. CONCLUSIONES**

Las mayores tasas de respiración microbiana se presentan durante la época seca, la finca El Madroño presenta los mayores valores de respiración durante la poca seca y la Finca Linda Vista durante la época lluviosa. El uso de suelo presenta diferencias significativas con la respiración microbiana; por lo que, la emisión de dióxido de carbono diferirá según el manejo del suelo.

El carbono orgánico influye de manera directa en la producción de la respiración microbiana, manteniendo una correlación moderadamente fuerte. Las variables pH, densidad aparente, porcentaje de arena y porcentaje de limo, presentan una relación inversa con la emisión de dióxido de carbono.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el contenido de carbono orgánico y la respiración microbiana, el menos dos veces por época.
- Promover prácticas de agricultura de conservación para el manejo sostenible de suelo y agua en el corredor seco.
- Gestionar estaciones pluviométricas en fincas referenciales, para monitorear precipitaciones pertinentes.
- Divulgar los resultados de la presente investigación para mitigar las emisiones de dióxido de carbono del suelo hacia la atmosfera

## VIII. LITERATURA CITADA

- AGROPA.L (s.f.). *El pH del suelo en la agricultura*. <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>
- Agrotendencia. (s.f.). *Conservación de suelos: Técnicas, prácticas y sus beneficios*. <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/tecnicas-de-conservacion-de-suelos-agricolas/>
- Albiter, J. (2018) *Efecto del manejo en diferentes cultivos bajo invernadero en la emisión de CO<sub>2</sub> del suelo* <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98957/Tesis+de+Maestria-Efecto+del+manejo+en+diferentes+cultivos+bajo+invernadero+en+la+emisi%F3n+de+CO2+del+suelo+Albiter.pdf;jsessionid=C36B3A14FA6B6F6A6A7D150C968333BD?sequence=1>
- Almagro, M. (2018). *La respiración del suelo en ecosistemas áridos y semiáridos: implicaciones para la conservación y una gestión eficaz y sostenible de los suelos en un clima cambiante*. Redremedia. <https://redremedia.wordpress.com/2018/10/10/la-respiracion-del-suelo-en-ecosistemas-aridos-y-semiaridos-implicaciones-para-la-conservacion-y-una-gestion-eficaz-y-sostenible-de-los-suelos-en-un-clima-cambiante/>
- Auguie B (2017). *\_gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics\_*. R package version 2.3, <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>.
- Cantú S, I. y Yañez D, M (2018) *Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo* [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322018000100122](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322018000100122)
- Carmona, I. (2015). *Agricultura de conservación en cultivos extensivos del valle del guadalupe: caracterización de sistemas a escala de parcela comercial y análisis de estrategias de mejora* [ Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba] <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13108/2015000001216.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerri, C., Cherubin, M., Damian, J., Mello, F y Rattan L. (2021). *Secuestro de carbono en el suelo mediante la adopción de prácticas de manejo sostenible: potencial y oportunidad para los países de las américas*
- Cervantes M, J. Orihuela-Equihua, R y Guadalupe R, J (2017). *Acerca del Desarrollo y Control de Microorganismos en la Fabricación de Papel*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631001/html/#:~:text=E1%20pH%20es%20un%20factor,pH%20de%208.5%20o%20mayor.>
- Cooper, W y Martínez, J. (2022). *Implementación de obras de conservación de suelos y agua en fincas en las comunidades Las Lajitas y Santa Fe de la microcuenca del Río La Carreta, municipio de Cinco Pinos, Chinandega, 2019*. . [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/4547/1/tnp36c776.pdf>
- Cropaia. (2023) *Secuestro de carbono del suelo – un enfoque para mitigar el cambio climático*
- H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

- Hernández, J., Torres, D. y Hernández, R. (2002). *Captura de carbono en los suelos* <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>
- 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*. Revista. Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7944948.pdf>  
<https://cropaia.com/es/blog/secuestro-carbono-suelo/>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2021). 1er atlas nacional de la República de Nicaragua 2021. <https://www.ineter.gob.ni/mapa/pub/atlassuelo/1erAltasNacionaldeSuelos.pdf>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2023) *Boletín climático mensual Agosto 2023*. <https://www.ineter.gob.ni/boletines/Boletin%20climatico/mensual/2023/BoletinClimatico032023.pdf>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2023) *Boletín climático mensual Marzo 2023*. <https://www.ineter.gob.ni/boletines/Boletin%20climatico/mensual/2023/BoletinClimatico082023.pdf>
- Jaramillo, F, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad nacional de Colombia facultad de ciencias Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence>
- Linn, D & Doran, J. (1984). *Effect of wáter-filled pore space on carbón dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled solis* <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800060013x>
- López, K. (2008). *Evaluación de la calidad del establecimiento y efecto de las prácticas de conservación de suelo y agua sobre la calidad del suelo en laderas de Nicaragua*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria <https://repositorio.una.edu.ni/1109/1/tnp36l864.pdf>
- Lugo de la Fuente, J. (2018). *Efecto del manejo en diferentes cultivos bajo invernadero en la emisión de co2 del suelo* [Tesis de Maestría] Universidad Autónoma del Estado de México. Maestría y doctorado en ciencias agropecuarias y recursos naturales <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98957/Tesis+de+Maestría-Efecto+del+manejo+en+diferentes+cultivos+bajo+invernadero+en+la+emisi%F3n+de+CO2+del+suelo+Albiter.pdf;jsessionid=032E90F223959AE147BB3A766354AF19?sequence=1>
- Martínez E., Fuentes, J y Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006)
- Martínez, J., Orihuela-Equihua, R. y Quiñones, J (2017) *Sobre el Desarrollo y Control de Microorganismos en la Fabricación de Papel* <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631001/html/#:~:text=E1%20pH%20es%20un%20factor,pH%20de%208.5%20o%20mayor.>
- Monzó, J. (2020). *Efecto de una cubierta de paja de arroz sobre la respiración basal del suelo* [Trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Valencia] Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València -UPV <https://riunet.upv.es/handle/10251/159249>

- Morraz, S. y Herrera, N. (2006). *Estudio de la fertilidad y la dinámica del Carbono en el suelo bajo diferentes manejos agronómicos en un cafetal de cuatro años de plantado en el pacífico de Nicaragua*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria <https://repositorio.una.edu.ni/1973/1/tnp35m872.pdf>
- MUNDOAGRO. (2022). *La respiración es un indicador sensible e integrador de la calidad de suelos. Qué factores inciden y cómo se mide*. (9 de noviembre del 2022). <https://mundoagro.cl/la-respiracion-es-un-indicador-sensible-e-integrador-de-la-calidad-de-suelos-que-factores-inciden-y-como-se-mide/>
- Mundoagropecuario. (2021). *La influencia de los microbios en la respiración del suelo* (15 de diciembre del 2021). [https://mundoagropecuario.com/la-influencia-de-los-microbios-en-la-respiracion-del-suelo/?utm\\_source=ReviveOldPost&utm\\_medium=social&utm\\_campaign=ReviveOldPost](https://mundoagropecuario.com/la-influencia-de-los-microbios-en-la-respiracion-del-suelo/?utm_source=ReviveOldPost&utm_medium=social&utm_campaign=ReviveOldPost)
- Nilo, G. (2019). *Procedimiento operativo estándar para el análisis de carbono orgánico del suelo: Walkley – Black* [GLOSOLAN]. <http://www.fao.org/3/ca7471es/ca7471es.pdf>.
- Núñez, F. Ugas, P. Calderón, R y Rivas, F. (2020) *Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por Avicennia germinans (L.) y Conocarpus erectus (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela* Visor Redalyc - Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por Avicennia germinans (L.) y Conocarpus erectus (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela
- Ogle DH, Doll JC, Wheeler AP, Dinno A (2023). *\_FSA: Simple Fisheries Stock Assessment Methods\_*. R package version 0.9.5, <https://CRAN.R-project.org/package=FSA>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. (s.f.). *El Ph del suelo*. [https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=El%20pH%20del%20Suelo&text=Es%20el%20indicador%20principal%20en,%20C5%20\(muy%20alcalino\).](https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=El%20pH%20del%20Suelo&text=Es%20el%20indicador%20principal%20en,%20C5%20(muy%20alcalino).)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. (2022). *Agricultura de Conservación*. <https://www.fao.org/3/cb8350es/cb8350es.pdf>
- Panichini, M (s.f.). *Importancia del suelo en el secuestro de carbono* <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68502/Capitulo%202.pdf?sequence=3>
- Producción agroindustrial del NDA. (s.f.). *Rotación de los cultivos* [https://www.produccion.com.ar/2005/05ago\\_08.htm#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20rotaci%C3%B3n%3F,manera%20especial%2C%20mejora%20los%20suelos](https://www.produccion.com.ar/2005/05ago_08.htm#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20rotaci%C3%B3n%3F,manera%20especial%2C%20mejora%20los%20suelos)
- Ramos, E y Zúñiga, D. (2008). *Efecto de la humedad, temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio* Ecología Aplicada, Vol. 7, Núm. 1-2, pp. 123-130 Universidad Nacional Agraria La Molina Perú [https://www.researchgate.net/publication/41394706\\_Efecto\\_de\\_la\\_humedad\\_temperatura\\_y\\_pH\\_del\\_suelo\\_en\\_la\\_actividad\\_microbiana\\_a\\_nivel\\_de\\_laboratorio](https://www.researchgate.net/publication/41394706_Efecto_de_la_humedad_temperatura_y_pH_del_suelo_en_la_actividad_microbiana_a_nivel_de_laboratorio)

- Raudes, M. y Sagastume, N. (2009). *Manual de Conservación de Suelos*. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 75 p. [https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo\\_3\\_Manual\\_Conservacion\\_de\\_Suelo\\_s..pdf](https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conservacion_de_Suelo_s..pdf)
- Redmedia. (2018). *La respiración del suelo en ecosistemas áridos y semiáridos: implicaciones para la conservación y una gestión eficaz y sostenible de los suelos en un clima cambiante*. <https://redremedia.org/la-respiracion-del-suelo-en-ecosistemas-aridos-y-semiaridos-implicaciones-para-la-conservacion-y-una-gestion-eficaz-y-sostenible-de-los-suelos-en-un-clima-cambiante/>
- Rojas, J. (s.f.). *Comparación de métodos de determinación en ensayos de rotaciones en siembra directa*. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-densidad\\_aparente.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-densidad_aparente.pdf)
- Romanyá, J. Rovira, P. Vallejo, R y Sanz, M. (2010) *La Materia orgánica en el suelo*. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Romanya-et-al-.pdf>
- Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales*. [Trabajo de proyecto. Universidad de Sevilla.] <http://hdl.handle.net/10261/57951>
- Salgad, J. (2018). *Efecto de obras de conservación de suelos en la diversidad de macroinvertebrados y sus parámetros fisicoquímicos en la Finca El Aguacatal Buena Vista, comunidad Plan Grande, Estelí, I semestre 2017*. [Trabajo de seminario de graduación, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio UNAN <https://repositorio.unan.edu.ni/9383/1/18795.pdf>
- Salinas, L. (2018). *Emisión de co2 en suelos de pastizales y bosque* [Tesis de Maestría, Universidad autónoma del estado de México] <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98956/Tesis%20maestria%20Liliana%20Salinas%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schloerke B, Cook D, Larmarange J, Briatte F, Marbach M, Thoen E, Elberg A, Crowley J (2024). *\_GGally: Extension to 'ggplot2'*. R package version 2.2.1, <https://CRAN.R-project.org/package=GGally>.
- Vásquez, J., Macías F y Menjivar, J. (2013). *Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia* [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612013000300004](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300004)
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0
- Verhulst, N., François, I y Govaerts, B. (s.f). *Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables?* <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4408/56985.pdf>
- Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D (2023). *\_dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.1.4. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- William Revelle (2024). *\_psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.4.1, <https://CRAN.R-project.org/package=psych>.



## IX. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis de suelo y descripción de las fincas referenciales en época seca

| Fincas referenciales | Pendiente (%) | Parcelas | Uso de suelo | pH   | MO (%) | CO ( $g \cdot kg^{-1}$ ) | Densidad Aparente ( $g \cdot cm^{-3}$ ) | Textura          |
|----------------------|---------------|----------|--------------|------|--------|--------------------------|---|------------------|
| El Quebracho         | 3             | PMSSA    | Café         | 6.52 | 11.39  | 66.06                    | 0.76                                    | Franco arcillosa |
| El Quebracho         |               | Testigo  |              | 6.07 | 8.38   | 53.93                    | 0.95                                    | Arcillosa        |
| Reserva Linda Vista  | 4             | PMSSA    | Café         | 5.95 | 10.29  | 58.68                    | 0.92                                    | Franco           |
| Los Alpes            | 6             | Testigo  | Café         | 5.96 | 9.71   | 56.34                    | 0.87                                    | Franco arcillosa |
| El Aguacate          | 2             | PMSSA    | Frijol       | 7.47 | 2.74   | 15.9                     | 1.04                                    | Arcillosa        |
| El Aguacate          |               | Testigo  |              | 7.40 | 2.51   | 14.8                     | 1.03                                    | Arcillosa        |
| El Madroño           | 15            | PMSSA    | Canavalia    | 6.91 | 6.392  | 37.07                    | 1.10                                    | Arcillosa        |
| El Madroño           |               | Testigo  |              | 6.82 | 5.562  | 32.26                    | 1.20                                    | Arcillosa        |

Anexo 2. Resultados de análisis de suelo y descripción de las fincas referenciales en época lluviosa

| Fincas referenciales | Pendiente (%) | Parcelas | Uso de suelo | pH    | MO (%) | CO ( $g.kg^{-1}$ ) | Densidad Aparente ( $g.cm^{-3}$ ) | Textura          |
|----------------------|---------------|----------|--------------|-------|--------|--------------------|-----------------------------------|------------------|
| El Quebracho         | 3             | PMSSA    | Café         | 6.34  | 10.052 | 58.308             | 0.81                              | Franco arcillosa |
| Reserva Linda Vista  | 4             | PMSSA    | Café         | 6.41  | 6.512  | 37.784             | 0.92                              | Franco           |
| Los Alpes            | 6             | Testigo  | Café         | 6.704 | 8.262  | 47.916             | 0.87                              | Franco arcillosa |
| El Aguacate          | 2             | PMSSA    | Yuca         | 6.692 | 2.92   | 16.936             | 0.99                              | Arcillosa        |
| El Aguacate          |               | Testigo  |              | 7.53  | 2.154  | 12.486             | 1.04                              | Arcillosa        |
| El Madroño           | 15            | PMSSA    | Maíz         | 6.952 | 5.846  | 33.904             | 1.15                              | Arcillosa        |
| El Madroño           |               | Testigo  |              | 6.842 | 3.906  | 22.664             | 1.24                              | Arcillosa        |

Anexo 3. Pruebas de normalidad Shapiro-Wilks de los resultados obtenidos en las fincas referenciales en época seca

```
> shapiro.test(respiracion1$pH)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion1$pH
w = 0.93898, p-value = 0.03196

> shapiro.test(respiracion1$CO)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion1$CO
w = 0.9246, p-value = 0.01077

> shapiro.test(respiracion1$Da)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion1$Da
w = 0.94074, p-value = 0.03662

> shapiro.test(respiracion1$`Respiracion`)
      Shapiro-wilk normality test
Data:  respiracion1$Respiracion
w = 0.93325, p-value = 0.0206

> shapiro.test(respiracion1$Arena)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion1$Arena
w = 0.81243, p-value = 1.243e-05

> shapiro.test(respiracion1$Limo)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion1$Limo
w = 0.86438, p-value = 0.000205

Porcentaje de arcilla
> shapiro.test(respiracion1$Arcilla)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion1$Arcilla
w = 0.91955, p-value = 0.007455
```

Anexo 4. Pruebas de normalidad Shapiro Wilks de los resultados obtenidos en las fincas referenciales en época lluviosa

```
> shapiro.test(respiracion2$pH)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$pH
W = 0.88681, p-value = 0.001781
> shapiro.test(respiracion2$CO)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$CO
W = 0.93226, p-value = 0.03267
> shapiro.test(respiracion2$Da)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$Da
W = 0.91702, p-value = 0.01171
> shapiro.test(respiracion2$`Respiracion`)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$Respiracion
W = 0.96212, p-value = 0.2646
> shapiro.test(respiracion2$Arena)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$Arena
W = 0.81319, p-value = 3.74e-05
Porcentaje de limo
> shapiro.test(respiracion2$Limo)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$Limo
W = 0.81293, p-value = 3.695e-05
> shapiro.test(respiracion2$Arcilla)
      Shapiro-wilk normality test
data:  respiracion2$Arcilla
W = 0.8953, p-value = 0.002964
```

## Anexo 5. Análisis de varianza época seca

```
> AOV1 <- aov(Respiracion ~ Finca, data = respiracion1)
> summary(AOV1)
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Finca   4  7768  1941.9    53.3 2.08e-14 ***
Residuals 35  1275    36.4
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> AOV2 <- aov(Respiracion ~ Parcela, data = respiracion1)
> summary(AOV2)
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Parcela  1   681   681.3    3.096 0.0865 .
Residuals 38  8362   220.0
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> AOV3 <- aov(Respiracion ~ Uso, data = respiracion1)
> summary(AOV3)
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Uso     2  6042  3021.0    37.25 1.37e-09 ***
Residuals 37  3001    81.1
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> AOV4 <- aov(Respiracion ~ Textura, data = respiracion1)
> summary(AOV4)
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Textura  2   134   67.07    0.279 0.758
Residuals 37  8909  240.78
```

## Anexo 6. Análisis de varianza época lluviosa

```
> AOV5 <- aov(Respiracion ~ Finca, data = respiracion2)
> summary(AOV5)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Finca   4  5781  1445.3   5.622 0.00169 **
Residuals 30  7712   257.1
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> AOV6 <- aov(Respiracion ~ Parcela, data = respiracion2)
> summary(AOV6)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Parcela  1   236   235.6   0.586  0.449
Residuals 33 13258   401.8

> AOV7 <- aov(Respiracion ~ Uso, data = respiracion2)
> summary(AOV7)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Uso     2  4438   2219   7.842 0.00169 **
Residuals 32  9055   283
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> AOV8 <- aov(Respiracion ~ Textura, data = respiracion2)
> summary(AOV8)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Textura  2  5499  2749.7  11.01 0.00023 ***
Residuals 32  7994   249.8
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Anexo 7. Test de comparación múltiple de la respiración microbiana con finca, parcela, uso de suelo y clase textural época seca

```
Fincas referenciales
> Tukey1 <-TukeyHSD(AOV1, conf.level = 0.95)
> print(Tukey1)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Finca, data = respiracion1)

$Finca
      diff      lwr      upr    p adj
El Madroño-El Aguacate  33.48019  25.718841  41.241539 0.0000000
El Quebracho-El Aguacate  32.18431  24.422961  39.945659 0.0000000
Linda Vista-El Aguacate   18.59775   9.092078  28.103422 0.0000228
Los Alpes-El Aguacate    10.44759   0.941918  19.953262 0.0252524
El Quebracho-El Madroño  -1.29588  -9.057229   6.465469 0.9887009
Linda Vista-El Madroño  -14.88244 -24.388112  -5.376768 0.0006470
Los Alpes-El Madroño    -23.03260 -32.538272 -13.526928 0.0000004
Linda Vista-El Quebracho -13.58656 -23.092232  -4.080888 0.0019958
Los Alpes-El Quebracho  -21.73672 -31.242392 -12.231048 0.0000013
Los Alpes-Linda Vista    -8.15016 -19.126365   2.826045 0.2285820
```

```
Parcela
> Tukey2 <-TukeyHSD(AOV2, conf.level = 0.95)
> print(Tukey2)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Parcela, data = respiracion1)

$Parcela
      diff      lwr      upr    p adj
Testigo-PMSSA -8.253915 -17.75017  1.242336 0.0865327
```

```
Uso de suelo
> Tukey3 <-TukeyHSD(AOV3, conf.level = 0.95)
> print(Tukey3)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Uso, data = respiracion1)

$Uso
      diff      lwr      upr    p adj
Canabalia-Café    10.12670  1.610706  18.64269 0.0166522
Frijol-Café      -23.35349 -31.869484 -14.83750 0.0000002
Frijol-Canabalia -33.48019 -43.313613 -23.64677 0.0000000
```

Continuación Anexo 7

```

Textura
> Tukey4 <-TukeyHSD(AOV4, conf.level = 0.95)
> print(Tukey4)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level
Fit: aov(formula = Respiracion ~ Textura, data = respiracion1)
$Textura
      diff      lwr      upr    p adj
Franco-Arcillosa -0.474612 -19.03431 18.08509 0.9978534
Franco Arcillosa-Arcillosa 4.135028 -10.04018 18.31023 0.7578617
Franco Arcillosa-Franco 4.609640 -16.14074 25.36002 0.8509766
$Textura
      diff      lwr      upr    p adj
Franco-Arcillosa -0.474612 -19.03431 18.08509 0.9978534
Franco Arcillosa-Arcillosa 4.135028 -10.04018 18.31023 0.7578617
Franco Arcillosa-Franco 4.609640 -16.14074 25.36002 0.8509766
    
```

Anexo 8. Test de comparación múltiple de la respiración microbiana con finca, parcela, uso de suelo y clase textural época lluviosa

```

Fincas referenciales
> Tukey5 <-TukeyHSD(AOV5, conf.level = 0.95)
> print(Tukey5)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Finca, data = respiracion2)
$Finca
      diff      lwr      upr    p adj
El Madroño-El Aguacate 5.85948 -14.939246 26.658206 0.9232674
El Quebracho-El Aguacate 22.14636 -3.326773 47.619493 0.1124712
Linda Vista-El Aguacate 38.06164 12.588507 63.534773 0.0013293
Los Alpes-El Aguacate 15.51300 -9.960133 40.986133 0.4109508
El Quebracho-El Madroño 16.28688 -9.186253 41.760013 0.3627679
Linda Vista-El Madroño 32.20216 6.729027 57.675293 0.0077930
Los Alpes-El Madroño 9.65352 -15.819613 35.126653 0.8055220
Linda Vista-El Quebracho 15.91528 -13.498561 45.329121 0.5275571
Los Alpes-El Quebracho -6.63336 -36.047201 22.780481 0.9645135
Los Alpes-Linda Vista -22.54864 -51.962481 6.865201 0.1987220
    
```

```

Parcela
> Tukey6 <-TukeyHSD(AOV6, conf.level = 0.95)
> print(Tukey6)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Parcela, data = respiracion2)
$Parcela
      diff      lwr      upr    p adj
Testigo-PMSSA -5.242573 -19.17139 8.686244 0.4492634
    
```



Continuación anexo 8.

```
Usos de suelo
> Tukey7 <-TukeyHSD(AOV7, conf.level = 0.95)
> print(Tukey7)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Uso, data = respiracion2)

$Uso
      diff      lwr      upr    p adj
Maíz-Café -19.38085 -36.25689 -2.50482 0.0215833
Yuca-Café -25.24033 -42.11637 -8.36430 0.0024232
Yuca-Maíz  -5.85948 -24.34625 12.62729 0.7185054
```

```
Textura
> Tukey8 <-TukeyHSD(AOV8, conf.level = 0.95)
> print(Tukey8)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Respiracion ~ Textura, data = respiracion2)

$Textura
      diff      lwr      upr    p adj
Franco-Arcillosa      35.13190 15.7119334 54.551867 0.0002842
Franco Arcillosa-Arcillosa 15.89994  0.8572985 30.942581 0.0365131
Franco Arcillosa-Franco   -19.23196 -40.5054676  2.041548 0.0827331
```

## Anexo 9. Modelo de Regresión Lineal Múltiple época seca

```

> RLM1 <- lm(Respiracion ~ ., data = respiracion01)
> RLM1 %>% summary()
Call:
lm(formula = Respiracion ~ ., data = respiracion01)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-23.396  -4.064  -1.082   4.826  24.703

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  49.4532     85.6633   0.577   0.568
pH           -3.4607     4.2657  -0.811   0.423
CO            0.8486     0.1376   6.168 5.22e-07 ***
Da           21.1177    33.0855   0.638   0.528
Arena         0.5995     0.4435   1.352   0.185
Limo         -0.8017     0.8067  -0.994   0.327
Arcilla             NA             NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.142 on 34 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6858, Adjusted R-squared:  0.6396
F-statistic: 14.84 on 5 and 34 DF, p-value: 9.817e-08

```

## Anexo 10. Modelo de Regresión Lineal Múltiple época lluviosa

```

> RLM2 <- lm(Respiracion ~ ., data = respiracion02)
> RLM2 %>% summary()
Call:
lm(formula = Respiracion ~ ., data = respiracion02)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-26.643  -9.625   1.414  10.033  23.592

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  53.1686    150.7435   0.353   0.7269
pH           -6.2756     5.0488  -1.243   0.2238
CO            0.4822     0.2307   2.090   0.0455 *
Da           51.7456    55.9303   0.925   0.3625
Arena        -1.0676     0.9067  -1.177   0.2486
Limo          0.1919     1.6529   0.116   0.9084
Arcilla             NA             NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.47 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.55, Adjusted R-squared:  0.4724
F-statistic: 7.09 on 5 and 29 DF, p-value: 0.000194

```

Anexo 11. Selección por pasos, época seca

```

> Seleccion <-RLM1 %>% stepAIC(direction = "both")
Start: AIC=182.53
Respiracion ~ pH + CO + Da + Arena + Limo + Arcilla

Step: AIC=182.53
Respiracion ~ pH + CO + Da + Arena + Limo
  Df Sum of Sq  RSS   AIC
- Da      1    34.0 2875.6 181.00
- pH      1    55.0 2896.5 181.30
- Limo    1    82.5 2924.1 181.67
<none>                2841.5 182.53
- Arena   1   152.7 2994.3 182.62
- CO      1   3179.4 6021.0 210.56

Step: AIC=181.01
Respiracion ~ pH + CO + Arena + Limo
  Df Sum of Sq  RSS   AIC
- pH      1   102.8 2978.4 180.41
- Arena   1   129.4 3005.0 180.77
<none>                2875.6 181.00
+ Da      1    34.0 2841.5 182.53
- Limo    1   832.4 3708.0 189.18
- CO      1  3168.2 6043.8 208.72

Step: AIC=180.41
Respiracion ~ CO + Arena + Limo
  Df Sum of Sq  RSS   AIC
- Arena   1    76.8 3055.2 179.43
<none>                2978.4 180.41
+ pH      1   102.8 2875.6 181.00
+ Da      1    81.9 2896.5 181.30
- Limo    1   842.7 3821.1 188.38
- CO      1  5437.4 8415.8 219.96

Step: AIC=179.43
Respiracion ~ CO + Limo
  Df Sum of Sq  RSS   AIC
<none>                3055.2 179.43
+ Arena   1    76.8 2978.4 180.41
+ Arcilla 1    76.8 2978.4 180.41
+ pH      1    50.2 3005.0 180.77
+ Da      1     0.1 3055.1 181.43
- Limo    1  3435.7 6490.9 207.57
- CO      1  5985.5 9040.7 220.82
> Seleccion %>% summary()
Call:
lm(formula = Respiracion ~ CO + Limo, data = respiracion01)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-22.446  -4.432   1.324   4.208  26.341

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  91.8487     5.8132  15.800 < 2e-16 ***
CO            0.9370     0.1101   8.514 3.04e-10 ***
Limo        -1.5577     0.2415  -6.450 1.55e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.087 on 37 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6621, Adjusted R-squared:  0.6439
F-statistic: 36.26 on 2 and 37 DF, p-value: 1.912e-09

```

Anexo 12. Selección por pasos época lluviosa

```

> Seleccion <-RLM2 %>% stepAIC(direction = "both")
Start: AIC=192.46
Respiracion ~ pH + CO + Da + Arena + Limo + Arcilla

Step: AIC=192.46
Respiracion ~ pH + CO + Da + Arena + Limo

      Df Sum of Sq  RSS   AIC
- Limo  1     2.82 6074.5 190.48
- Da    1    179.21 6250.9 191.48
- Arena 1    290.29 6362.0 192.10
- pH    1    323.48 6395.2 192.28
<none>  1    6071.7 192.46
- CO    1    914.83 6986.6 195.37

Step: AIC=190.48
Respiracion ~ pH + CO + Da + Arena

      Df Sum of Sq  RSS   AIC
<none>  1    6074.5 190.48
- pH    1    394.00 6468.5 190.68
- Da    1    729.30 6803.8 192.45
+ Limo  1     2.82 6071.7 192.46
+ Arcilla 1     2.82 6071.7 192.46
- CO    1   1474.11 7548.7 196.08
- Arena 1   2796.86 8871.4 201.73
> Seleccion %>% summary()

Call:
lm(formula = Respiracion ~ pH + CO + Da + Arena, data = respiracion02)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-26.461  -9.515   1.618   9.986  24.048

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  70.0335    39.5469   1.771 0.086739 .
pH           -6.4821     4.6469  -1.395 0.173281
CO            0.4978     0.1845   2.698 0.011334 *
Da           45.9147    24.1933   1.898 0.067378 .
Arena       -1.1661     0.3138  -3.717 0.000827 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.23 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5498, Adjusted R-squared:  0.4898
F-statistic:  9.16 on 4 and 30 DF, p-value: 5.846e-05

```

Anexo 13. Test de correlaciones de Pearson en época seca

```

> cor.test(respiracion01$Respiracion, respiracion1$pH, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion01$Respiracion and respiracion1$pH
t = -2.0624, df = 38, p-value = 0.04605
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.572236371 -0.006409499
sample estimates:
cor
-0.3172853
> cor.test(respiracion01$Respiracion, respiracion1$CO, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion01$Respiracion and respiracion1$CO
t = 3.8653, df = 38, p-value = 0.0004202
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.2633049 0.7230887
sample estimates:
cor
0.5312408
> cor.test(respiracion1$Respiracion, respiracion1$Da, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion1$Respiracion and respiracion1$Da
t = -0.2634, df = 38, p-value = 0.7937
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.3495504 0.2724429
sample estimates:
cor
-0.04268945
> cor.test(respiracion1$Respiracion, respiracion1$Arena, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion1$Respiracion and respiracion1$Arena
t = 0.93524, df = 38, p-value = 0.3556
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1694262 0.4409072
sample estimates:
cor
0.1499999
> cor.test(respiracion1$Respiracion, respiracion1$Limo, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion1$Respiracion and respiracion1$Limo
t = -0.098279, df = 38, p-value = 0.9222
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.3258323 0.2970434
sample estimates:
cor
- 0.01594095
> cor.test(respiracion1$Respiracion, respiracion1$Arcilla, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion1$Respiracion and respiracion1$Arcilla
t = -1.6, df = 38, p-value = 0.1179
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.52189016 0.06540475
sample estimates:
cor
-0.2512231

```

Anexo 14. Test de correlaciones de Pearson en época lluviosa

```

> cor.test(respiracion02$`Respiracion`, respiracion2$pH, method = "pearson")
Pearson's product-moment correlation
data: respiracion02$Respiracion and respiracion2$pH
t = -2.8112, df = 33, p-value = 0.008242
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.6740650 -0.1245539
sample estimates:
      cor
-0.4395558
> cor.test(respiracion02$`Respiracion`, respiracion2$CO, method = "pearson")
data: respiracion02$Respiracion and respiracion2$CO
t = 3.6023, df = 33, p-value = 0.001024
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.2406163 0.7344771
sample estimates:
      cor
0.5312637
> cor.test(respiracion02$`Respiracion`, respiracion2$Da, method = "pearson")
data: respiracion02$Respiracion and respiracion2$Da
t = -1.9945, df = 33, p-value = 0.05441
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.596084599 0.005900179
sample estimates:
      cor
-0.3279913
> cor.test(respiracion02$`Respiracion`, respiracion2$Arena, method = "pearson")
data: respiracion02$Respiracion and respiracion2$Arena
t = -4.3716, df = 33, p-value = 0.0001159
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.7811843 -0.3412001
sample estimates:
      cor
-0.6055889
> cor.test(respiracion2$`Respiracion`, respiracion2$Limo, method = "pearson")
data: respiracion2$Respiracion and respiracion2$Limo
t = 4.0246, df = 33, p-value = 0.0003138
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.2974050 0.7614355
sample estimates:
      cor
0.5737843
> cor.test(respiracion2$`Respiracion`, respiracion2$Arcilla, method = "pearson")
data: respiracion2$Respiracion and respiracion2$Arcilla
t = 0.47205, df = 33, p-value = 0.64
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2584010 0.4041152
sample estimates:
      cor
0.08189789

```

Anexo 15. Levantamiento de muestras de suelo para el análisis en el laboratorio



Anexos 16. Preparación de muestras de suelo en el área de física, LABSA



Anexos 17. Pre-acondicionamiento de las muestras en el área de química en el LABSA



## Anexos 18. Ubicación de muestras en trampa de álcali



## Anexo 19. Análisis de respiración microbiana en el Laboratorio de Suelo y Agua (LABSA)

