

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



**VALORES DE REFERENCIA DE RESPIRACIÓN BASAL DE SUELOS DE LA
MICROCUEENCA DEL RÍO TALGUA, OLANCHO, HONDURAS.**

PROYECTO DE TESIS

presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERIO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

POR:

Nathalie Yessenia Pineda Flores

CATACAMAS, OLANCHO

SEPTIEMBRE, 2025

**VALORES DE REFERENCIA DE RESPIRACIÓN BASAL DE SUELOS DE LA
MICROCUEENCA DEL RÍO TALGUA, OLANCHO, HONDURAS.**

POR:

Nathalie Yessenia Pineda Flores

Carlos Roberto Irias Zelaya, M.Sc.

Director de Tesis

TESIS

presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERIO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

CATACAMAS, OLANCHO

SEPTIEMBRE, 2025

DEDICTORIA

A **Dios** y a la **Virgencita de Suyapa**, por ser mi refugio, mi guía y mi esperanza constante. Por acompañarme en silencio en los días difíciles y llenar de paz mi corazón cuando más lo necesité.

A mi madre, **Ilsa Flores**, una mujer increíble que, con valentía y amor, me sacó adelante sola. Este logro también es suyo, porque gracias a su esfuerzo, sus desvelos y sus palabras de aliento, hoy estoy aquí.

A mi abuelita, **Antonia Clementina Laínez**, mi ángel en el cielo, a quien extraño con todo mi ser. Gracias por sembrar en mí la ternura, la fortaleza y los valores que hoy me sostienen. Sé que desde el cielo estás celebrando conmigo.

Y a mis hermanos, **César Ramón, César Enrique**, que con su cariño, apoyo y presencia han sido parte esencial en cada paso de este camino.

Gracias por ser mi familia, por cada gesto de cariño, por cada palabra de aliento y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Aunque a veces la distancia nos haya separado físicamente, su presencia, sus mensajes, sus abrazos a la distancia y su amor incondicional han sido una fuerza que me ha acompañado y sostenido en todo este proceso. Sin ustedes, este camino habría sido mucho más difícil, y por eso, también les pertenece este logro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a **Dios** y a la **Virgen de Suyapa**. Gracias por abrazarme en silencio cuando sentía que no podía más, y por secar mis lágrimas con su ternura infinita.

A mi madre, **Ilsa Flores**, por ser el pilar más firme de mi vida. A mis hermanos, **César Ramón**, **César Enrique** y **Nolvia Cruz**, por estar siempre presentes con su apoyo. A mis cuñadas, **Carolina Leiva** y **Daysi Huete**, gracias por ser parte de mi familia, por acompañarme también con su aprecio sincero y siempre creer en mí.

A mi abuelita **Antonia Clementina Laínez**, mi ángel en el cielo, gracias por cuidarme desde lo alto. A mis abuelos paternos, **Natalia Pineda** y **Ramón Pineda**, por ser parte de mis raíces y por todo el cariño que me han dado.

A mi alma máter, la **Universidad Nacional de Agricultura**, por haberme formado no solo como profesional, sino también como ser humano comprometido con mi entorno. Al ingeniero **Carlos Irías**, gracias por su guía, su paciencia y por creer en mi desde el inicio. Y al ingeniero **Emilio Fuentes**, por su apoyo incondicional, su acompañamiento constante, sus consejos que atesoro en el alma y sus palabras de aliento cuando más las necesité.

A mi mejor amiga **Asly Pineda**, por demostrarme que la verdadera amistad trasciende la distancia. Aunque estemos lejos, siempre has estado conmigo en cada paso de mi vida. A las personas que también tienen un lugar muy especial en mi vida: **Hamcell Matamoros**, **Daydy Vargas**, **Andrea Pinto**, **Nicol Zuniga**, **Daniela Hernandez**, **Jemssy Lara** y **Johana Navarro**. Gracias por estar, por escucharme, por motivarme y por ser parte de esta historia. También agradezco con mucho cariño a los señores **Don Melvin** y **Don Andrés**, Gracias por su ayuda desinteresada, su tiempo y su compañía. Sin ustedes, este trabajo no habría sido posible. A todos ustedes: gracias infinitas. Este logro también les pertenece.

CONTENIDO

DEDICTORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
I. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos	3
II. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
III. REVISIÓN LITERARIA	5
3.1 El suelo	5
3.1.1 La composición del suelo	5
3.2 Suelos no intervenidos.....	6
3.3 El suelo como sumidero de carbono	6
3.4 Salud del suelo	7
3.4.1 Salud física del suelo.	8
3.4.2 Salud química del suelo.....	8
3.4.3 Características de un suelo saludable	8
3.5 Suelos de Honduras	9

3.6	Prácticas Agrícolas Insostenibles.	9
3.7	Degradación de los suelos	10
3.8	Factores Antropogénicos en la Degradación del Suelo	10
3.8.1	Uso excesivo de fertilizantes	10
3.8.2	Compactación del suelo.....	11
3.8.3	Deforestación.....	12
3.8.4	Erosión.....	12
3.8.5	Incendios forestales.	13
3.9	Indicador de la calidad del suelo	13
3.10	Respiración basal del suelo.....	14
3.10.1	Factores bióticos y abióticos de la respiración del suelo.....	14
3.10.2	Microorganismos	14
3.11	Factores que influyen en la tasa de respiración basal	15
3.11.1	Materia Orgánica del suelo.....	15
3.11.2	Descomposición de la materia orgánica	16
3.11.3	Actividad microbiana	16
3.11.4	Presencia de Raíces de Plantas.	16
3.12	Factores que Afectan la Respiración del Suelo.	17
3.12.1	Temperatura y humedad	17
3.12.2	pH del suelo	17
3.13	Valores de referencia en suelos y su importancia.....	18
IV.	MATERIALES Y METODOS.....	19
4.1	Descripción de la Zona de Estudio	19
4.2	Determinación del área de muestreo.....	20

4.3	Protocolo para Determinar la Respiración Basal de Suelos en Recipientes Herméticos	20
4.3.1	Recolección y almacenamiento previo al transporte	20
4.3.2	Transporte adecuado.....	20
4.3.3	Condiciones de limpieza y seguridad	21
4.3.4	Preparación de las Muestras de Suelo	21
4.3.5	Preparación de la Solución de NaOH.....	21
4.3.6	Incubación de las Muestras.....	21
4.3.7	Precipitación del Carbonato	22
4.3.8	Titulación de la Solución.....	22
4.4	Determinación del pH del Suelo relación 1:2.5.....	22
4.5	Determinar materia orgánica del suelo	23
4.6	Determinación de textura del suelo método Bouyoucus	24
4.7	Variables evaluadas	25
4.7.1	Respiración Basal	25
4.7.2	Materia Orgánica	25
4.7.3	pH	26
4.7.4	Textura.....	26
4.8	Análisis Estadístico.....	27
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
5.1	Mapa de la delimitación del área de estudio.....	28
5.2	Respiración Basal de los Suelos de la Microcuenca del Río Talgua.	29
5.3	pH de los suelos de la microcuenca del río Talgua	30
5.4	Contenido de materia orgánica en los suelos de la microcuenca del Río Talgua	31
5.5	Porcentaje de arcilla en los suelos de la microcuenca del Río Talgua	33

5.6	Porcentaje de Arena de los Suelos de la Microcuenca del Río Talgua.....	34
5.7	Porcentaje de Limo de los Suelos de la Microcuenca del Río Talgua.....	35
5.8	Textura de Suelos de la Microcuenca del Río Talgua	36
5.9	Análisis descriptivo de las diferentes variables de los suelos obtenidas de la Microcuenca del Río Talgua.....	37
5.10	Correlación entre las variables edáficas en los suelos de la microcuenca del Río Talgua	39
5.11	Análisis de agrupamiento jerárquico de las muestras de suelo según variables edáficas	40
5.12	Análisis multivariado de las propiedades edáficas del suelo mediante componentes principales.....	42
5.12.1	Relación entre propiedades físico-químicas del suelo mediante análisis de componentes principales CP1 vs CP2	43
5.12.2	Contribución de las variables edáficas a los tres primeros componentes principales CP1, CP2 y CP3	44
5.13	Análisis estadístico descriptivo de la respiración basal del suelo.....	45
5.13.1	Distribución de frecuencias y comportamiento estadístico de los datos	46
5.13.2	Determinación de valores de referencia mediante análisis por cuartiles.....	47
5.13.3	Interpretación ecológica de los rangos establecidos.....	47
VI.	CONCLUSIONES.....	49
VII.	RECOMENDACIONES	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de incubación para medir la respiración basal del suelo: A) montaje de la muestra y solución de NaOH; B) frascos en reposo en un lugar oscuro y a temperatura constante.	22
Figura 2. Mapa de delimitación del área de estudio de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia (2025)	28
Figura 3. Mapa de respiración basal de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras, elaborado a partir de 65 muestras de suelo (n = 65). Fuente: Elaboración propia. (2025)	29
Figura 4. Mapa de pH de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente. Elaboración propia. (2025) (n = 65).	31
Figura 5. Mapa contenido de materia orgánica de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025). (n=65).....	32
Figura 6. Mapa de porcentaje de arcilla de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Elaboración propia (2025) (n=65).....	33
Figura 7. Mapa de porcentaje de arena de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025) (n=65)	35
Figura 8. Mapa de porcentaje de limo de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025) (n=65).	36
Figura 9. Mapa de textura de los suelos de la Microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025) (n=65).	37
Figura 10. Análisis de Correlación de Pearson para las variables de suelo obtenida en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras (n= 65). Elaboración propia (2025).....	40
Figura 11. Dendrograma resultante del análisis de clúster jerárquico de las muestras de suelo según sus variables edáficas de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Cada letra indica la comunidad de procedencia: Q = Quebrada de Agua, P = Pinabetal, F = Flor del Café y B = Buena Vista. (n=65). Elaboración propia (2025).	41

Figura 12. ACP de propiedades edáficas en la microcuenca del Río Talgua. A) Muestras en CP1 vs. CP2. B) Varianza explicada. C) Carga de variables en los tres primeros componentes. Cada letra indica la comunidad de procedencia: Q = Quebrada de Agua, P = Pinabetal, F = Flor del Café y B = Buena Vista. (n=65). Elaboración propia (2025).	42
Figura 13. Biplot del análisis de componentes principales (ACP) entre CP1 y CP2, mostrando la asociación entre muestras y propiedades físico-químicas del suelo en la microcuenca del Río Talgua. Cada letra indica la comunidad de procedencia: Q = Quebrada de Agua, P = Pinabetal, F = Flor del Café y B = Buena Vista. Elaboración propia (2025).	43
Figura 14. Contribución porcentual de las propiedades fisicoquímicas del suelo a los tres primeros componentes principales CP1, CP2 y CP3, según el análisis de componentes principales realizado en la microcuenca del Río Talgua. Elaboración propia (2025).	45
Figura 15. Histograma de frecuencias con curva de densidad para los valores de respiración basal del suelo (n = 194) en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Elaboración propia (2025).	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis estadístico de las diferentes variables del suelo obtenidas de la Microcuenca del Río Talgua. (n=65)	38
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la respiración basal del suelo (mg CO ₂ -C/kg/día) en la microcuenca del río Talgua, Olancho, Honduras (n = 194). Elaboración propia (2025).	46
Tabla 3. Rangos de respiración basal del suelo e interpretación ecológica en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras	48

Pineda Flores, NY. 2025. Valores De Referencia De Respiración Basal De Suelos De La Microcuenca Del Río Talgua, Olancho, Honduras. Informe final de investigación Ingeniería en Gestión integral de los Recursos Naturales, Catacamas, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura.

RESUMEN

El estudio se realizó en la microcuenca del Río Talgua, en Catacamas, Olancho, con el fin de conocer cómo funcionan los suelos en su estado natural, el objetivo fue establecer valores de referencia de la respiración basal de suelos sin intervención humana en la microcuenca del Río Talgua, así como analizar la influencia de factores edáficos como pH, materia orgánica y textura. Se recolectaron 65 muestras de suelo en sin intervención humana y se evaluaron bajo protocolos estandarizados en laboratorio, al igual se realizó un análisis estadístico descriptivo, correlaciones, análisis multivariado de componentes principales y agrupamiento jerárquico.

Los resultados mostraron que la respiración basal presentó valores entre 63.64 y 891.78 mg C-CO₂/kg/día con una distribución asimétrica hacia valores altos. Mediante análisis por cuartiles se definieron tres rangos de referencia los cuales son bajo (<128.11 mg C-CO₂/kg/día), medio (128.11–453.61 mg C-CO₂/kg/día) y alto (>453.61 mg C-CO₂/kg/día). La materia orgánica presentó una correlación positiva con los valores más altos de respiración basal, mientras que el pH moderadamente ácido a neutro favoreció la estabilidad biológica. La textura del suelo en particular la proporción de arena, limo y arcilla, condicionó la capacidad de aireación y retención de agua influyendo en la actividad microbiana.

Este trabajo constituye el primer esfuerzo en establecer valores de referencia de respiración basal para la región de la microcuenca del Río Talgua proporcionando una línea base para evaluar la salud de los suelos. Dichos valores representan un aporte fundamental para futuros estudios comparativos con suelos degradados, así como para orientar estrategias de manejo sostenible que busquen equilibrar la productividad agrícola con la conservación de los recursos naturales.

Palabras clave: respiración basal, microcuenca del Río Talgua, salud del suelo, materia orgánica, valores de referencia, Suelos no intervenidos

I. INTRODUCCIÓN

La salud del suelo es fundamental para el bienestar de nuestras comunidades y el equilibrio de los ecosistemas (Cotler, 2007), especialmente en regiones ricas en biodiversidad como lo es Olancho, Honduras. Este territorio no solo es hogar para una variedad de especies y ecosistemas, sino que también sostiene las actividades agrícolas que son vitales para la economía y la subsistencia de sus habitantes. Sin embargo, el crecimiento poblacional y la intensificación de las prácticas agrícolas han planteado desafíos significativos que amenazan la calidad del suelo y, por ende, la sostenibilidad de la producción agrícola.

La respiración basal del suelo constituye un indicador fundamental de su calidad y vitalidad. Este proceso refleja la actividad de los microorganismos responsables de descomponer la materia orgánica, ofreciendo una comprensión más profunda del funcionamiento interno del suelo (Pardo, 2019). Evaluar este parámetro permite obtener información valiosa acerca de la capacidad del suelo para mantener la vida y su nivel de fertilidad. Cuando la respiración basal es adecuada no dice que los microorganismos están activos y que el reciclaje de nutrientes ocurre de forma eficiente lo cual resulta indispensable para la estabilidad y conservación del ecosistema.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo principal Establecer valores orientadores de referencia de la tasa de respiración basal de los suelos sin intervención humana de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras, con el fin de evaluar la salud y la actividad biológica del suelo. Este estudio es crucial para entender el papel del suelo en el ciclo de nutrientes y su capacidad para sustentar la agricultura. Los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones y permitirán identificar prácticas que optimicen la salud del suelo, promoviendo así un equilibrio entre el desarrollo agrícola y la conservación del medio ambiente.

I. OBJETIVOS.

2.1.General

- Establecer valores orientadores de referencia de la tasa de respiración basal de los suelos sin intervención humana de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras.

2.2.Específicos

- Delimitar áreas de estudio con suelos sin intervención humana mediante muestreo en áreas conservadas y herramientas geoespaciales en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras.
- Medir la tasa de respiración basal, el pH, la materia orgánica y la textura en las muestras de suelo recolectadas aplicando protocolos estandarizados de laboratorio.
- Aplicar análisis estadísticos descriptivos y correlacionales para establecer rangos de referencia de la respiración basal de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras

II. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es el valor de referencia de la tasa de respiración de los suelos sin intervención humana de la microcuenca del Río Talgua, Olancho?
- ¿Qué factores edáficos (como pH, materia orgánica y textura) influyen en los valores de referencia de la tasa de respiración del suelo en la microcuenca del Río Talgua, Olancho?
- ¿Cómo varía la tasa de respiración basal en diferentes áreas de la microcuenca del Río Talgua y qué implicaciones tiene esto para la salud del suelo en esa región?

III. REVISIÓN LITERARIA

3.1 El suelo

El suelo es la capa más externa de la corteza terrestre, formada principalmente por residuos de roca derivados de procesos de erosión y otras modificaciones físicas y químicas, así como por materia orgánica producto de la actividad biológica en la superficie (Osorio, 2022). Se trata de una capa compuesta por materiales orgánicos e inorgánicos que recubre la Tierra, siendo un cuerpo natural formado tanto por elementos orgánicos como inorgánicos, y se distingue de la roca madre por la existencia de varios horizontes a diferentes profundidades, los cuales presentan características físicas, morfológicas, químicas y biológicas particulares (Raudes, 2009)

Es por ello, que se parte del conocimiento básico del suelo para analizar cómo su estructura natural, cuando no está alterada, favorece la respiración basal. Esto se medirá como una forma de evaluar si el suelo mantiene una funcionalidad activa y saludable en ausencia de perturbaciones humanas. (Jimenez, 2014)

3.1.1 La composición del suelo

Según la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (2022), la composición del suelo se clasifica en varios componentes. El componente mineral proviene de la roca madre (material parental), que se desintegra o meteoriza gradualmente. Además, los minerales pueden ser aportados por el viento, erupciones volcánicas o por el agua, que los transporta desde áreas erosionadas. La materia orgánica, por otro lado, es el resultado de la descomposición de restos de plantas y animales muertos, y tiene la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua,

siendo también rica en minerales. Finalmente, el agua y el aire llenan los poros, es decir, los espacios entre las partículas del suelo, que se generan debido a las irregularidades en su forma y tamaño. (Asociación Costarricense de la ciencia del suelo, 2022)

3.2 Suelos no intervenidos

Los suelos no intervenidos son aquellos que han permanecido inalterados o con mínima alteración por actividades antrópicas como la agricultura intensiva, la ganadería extensiva, la urbanización o la deforestación. Estos suelos conservan su estructura física original unos horizontes bien definidos, procesos biológicos activos y una cobertura vegetal nativa del ecosistema natural. Desde una perspectiva ecológica constituyen sistemas de referencia fundamentales para comprender el funcionamiento integral del suelo, ya que mantienen un equilibrio dinámico entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas en ausencia de perturbaciones humanas directas. (USDA, 1999)

Estos suelos, al no haber sido alterados por actividades humanas, mantienen sus condiciones naturales intactas. Por ello, permiten establecer valores de referencia para indicadores importantes como la respiración basal. Esta medición refleja cómo un suelo funciona en equilibrio ecológico, sin influencia de fertilizantes ni compactación. Al analizarla, se puede observar la actividad microbiana natural y la liberación de dióxido de carbono del suelo. De esta forma se identifican niveles óptimos de salud y actividad biológica del suelo en sistemas naturales. (USDA, 1999)

3.3 El suelo como sumidero de carbono

En los suelos, la liberación de CO₂ hacia la atmósfera ocurre cuando los residuos orgánicos o la materia orgánica del suelo (MOS) se oxidan. El CO₂ que se libera a través de la actividad de la fauna del suelo y las raíces subterráneas se conoce como respiración del suelo, y constituye el segundo flujo más grande de carbono en la Tierra. Esta respiración es variable a lo largo del

año, ya que está influenciada por factores ambientales como la temperatura, la humedad, el contenido de nutrientes del suelo y la concentración de oxígeno. (FAO, 2017)

La respiración basal del suelo refleja cómo se libera carbono desde la materia orgánica hacia la atmósfera, mediante la actividad de microorganismos y raíces. Al medirla, se puede cuantificar cómo funciona el suelo como sumidero o fuente de carbono, lo que tiene implicaciones directas en la salud del ecosistema. En suelos no intervenidos, este proceso muestra un balance natural que sirve como patrón de comparación para suelos degradados o manejados (FAO, 2017)

3.4 Salud del suelo

La FAO (2024) afirma que los suelos saludables son pilares esenciales para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad futura, estos contribuyen a sostener la producción agrícola, a la mitigación y adaptación frente al cambio climático, al filtrado natural del agua y al aumento de la resiliencia ante fenómenos extremos como inundaciones y sequías entre muchos otros beneficios. Sin embargo, hay una amenaza silenciosa avanza y pone en peligro tanto la integridad de los suelos como los servicios vitales que proporcionan.

Es importante destacar un suelo saludable es aquel que conserva de forma permanente su capacidad de funcionar como un ecosistema activo y esencial. El suelo no se limita únicamente a la combinación de arena, limo y arcilla, sino que también alberga microorganismos, plantas, animales y seres humanos a largo plazo, siendo fundamental para la vida en el planeta. La salud del suelo abarca sus características físicas, químicas y biológicas, que interactúan de manera interdependiente. De este modo, un suelo de buena calidad es aquel que es rico en materia orgánica, lo que favorece una mayor actividad biológica y una mejor estructura, facilitando la aireación y el almacenamiento de agua. (Geisseler, 2022).

Uno de los métodos más comunes para evaluar la salud biológica del suelo es medir la respiración basal. Esta medición indica el nivel de actividad de las comunidades microbianas presentes en el suelo. Un suelo saludable presenta una respiración basal constante y equilibrada,

lo que refleja una adecuada descomposición de la materia orgánica. Esto también asegura un eficiente reciclaje de nutrientes necesarios para las plantas. Por lo tanto, analizar la respiración basal es una forma concreta y efectiva de evaluar la calidad funcional del suelo. Así, se obtiene información valiosa sobre el estado biológico y la capacidad productiva del suelo. (FAO, 2015)

3.4.1 Salud física del suelo.

Se refiere a la capacidad del suelo para mantener un equilibrio adecuado en la conservación y el drenaje del agua, factores esenciales para el desarrollo y la actividad de los microorganismos del suelo. La habilidad del suelo para permitir el crecimiento sin restricciones de las raíces vegetales también depende de estas características, ya que proporcionan un entorno favorable para la vida microbiana. La textura, la permeabilidad, la porosidad y la capacidad de drenaje son atributos clave que afectan la disponibilidad de agua y nutrientes para los microorganismos, quienes desempeñan un papel crucial en los procesos biológicos que mantienen la salud del suelo. (Intragi, 2018)

3.4.2 Salud química del suelo.

Se define como la capacidad del suelo para mantener un equilibrio adecuado en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, promoviendo la actividad de microorganismos que facilitan estos procesos. También implica que las condiciones de acidez y alcalinidad del suelo se mantengan dentro de un rango óptimo para el crecimiento vegetal, evitando problemas de salinidad que puedan afectar la actividad microbiana y, por ende, la salud del suelo (Intragi, 2018).

3.4.3 Características de un suelo saludable

Un suelo saludable está lleno de bacterias, hongos, algas, protozoos, nematodos y otros organismos microscópicos. Estos seres desempeñan un papel fundamental en la salud de las

plantas. Las bacterias del suelo producen antibióticos naturales que ayudan a las plantas a protegerse de enfermedades, mientras que los hongos facilitan la absorción de agua y nutrientes. En conjunto, estos microorganismos y hongos se conocen como "materia orgánica". A mayor cantidad de materia orgánica en una muestra de suelo, mayor será la salud del suelo. (RodaleInstitute, 2024).

3.5 Suelos de Honduras

En Honduras, la problemática más relevante relacionada con el recurso suelo está vinculada a su degradación y pérdida, ocasionadas principalmente por la deforestación intensiva, el establecimiento de cultivos y el pastoreo en áreas con fuertes pendientes o en terrenos húmedos no adecuados para dichas prácticas. Sin embargo, más allá de estos factores directos, las causas profundas de la erosión y del deterioro de la tierra responden a dinámicas económicas y a modelos de desarrollo agrícola que no siguen principios de sostenibilidad. (Andres Alvarado et al, 2015)

La degradación de los suelos en Honduras reduce su capacidad de mantener procesos biológicos activos, lo que se refleja en una menor tasa de respiración basal. Al disminuir la materia orgánica y compactarse el suelo los microorganismos tienen menos alimento y oxígeno disponible lo que limita su actividad. En estas condiciones la respiración basal baja indicando pérdida de funcionalidad. Comparar estos suelos con referencias naturales permite identificar cuánto se ha deteriorado el ecosistema y qué acciones restaurativas podrían aplicarse. (Andres Alvarado et al, 2015)

3.6 Prácticas Agrícolas Insostenibles.

En la actualidad, muchas prácticas insostenibles están comprometiendo gravemente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estas prácticas generan efectos adversos que alteran la estructura y funcionalidad del suelo, afectando no solo su capacidad para retener agua y nutrientes, sino también su biodiversidad. Como resultado, los organismos vivos que

habitan en el suelo, como microorganismos y raíces de plantas, experimentan alteraciones en su metabolismo, lo que interrumpe sus funciones esenciales. Esta degradación contribuye a la pérdida de la capacidad de conservación del suelo, lo que puede llevar a la disminución de su fertilidad y sostenibilidad a largo plazo (Galloza & Ponce, 2020)

Por consiguiente, Las prácticas agrícolas insostenibles reducen la materia orgánica del suelo, comprometiendo su capacidad para degradar los contaminantes orgánicos. Esto aumenta el riesgo de que los contaminantes se liberen al medio ambiente. En muchos países, la producción agrícola intensiva ha agotado los suelos, poniendo en peligro nuestra capacidad para mantener la producción en estas áreas en el futuro. Por lo tanto, las prácticas de producción agrícola sostenible se han convertido en un imperativo para revertir la tendencia a la degradación del suelo y garantizar la seguridad alimentaria actual y futura a nivel mundial. (FAO, 2024)

3.7 Degradación de los suelos

Para los investigadores Montatixe Sánchez & Eche Enriquez (2021) definen la degradación del suelo como el proceso de deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de la tierra, debido a la existencia de dos sistemas involucrados: el ecosistema natural y el medio social humano. El ecosistema natural, por medio de los diferentes eventos climáticos extremos y persistentes, provoca la degradación del suelo. Así también, el entorno humano produce este efecto a través de la deforestación, eliminación de la cubierta vegetal, expansión urbana que da lugar a modificaciones en el uso del suelo y, como consecuencia, provoca cambios en su cobertura.

3.8 Factores Antropogénicos en la Degradación del Suelo

3.8.1 Uso excesivo de fertilizantes

El uso prolongado de fertilizantes químicos ha demostrado tener efectos dañinos sobre la estructura y la salud del suelo, lo que conlleva a la erosión y a una reducción en los rendimientos agrícolas. El empleo excesivo de estos fertilizantes ha provocado una disminución en la productividad de los suelos, especialmente en aquellos donde se implementan prácticas agrícolas inadecuadas, lo que resulta en la degradación de sus propiedades biológicas, físicas y químicas. Los efectos negativos de los fertilizantes sintéticos en el medio ambiente son claros, ya que los productos químicos presentes en ellos, como los nitratos y fosfatos, contribuyen a la contaminación y a la alteración de los ecosistemas. (Luis Corral et al, 2016)

3.8.2 Compactación del suelo

En el proceso de compactación ocurre una reducción del espacio poroso, reducción que afecta generalmente a los macroporos, que son los responsables por la infiltración de agua y la aireación del suelo. Actualmente, la compactación del suelo es un problema común que ocurre a medida que se prioriza el rendimiento operacional (ha hora-1) de las máquinas e implementos, y se deja al manejo adecuado del suelo en segundo plano. (Jimmy Walter Rasche et al, 2020)

3.8.2.1 Causas de la compactación

3.8.2.1.1 Maquinaria pesada

El uso de maquinaria pesada, como tractores y equipos de cosecha, genera una presión considerable sobre el suelo, lo que provoca la compactación de sus partículas. Esta compactación afecta no solo la capa superficial, sino también las capas más profundas del suelo. La repetición constante del paso de maquinaria aumenta la intensidad de esta compactación, especialmente en suelos húmedos, lo que dificulta la circulación de aire y agua en el suelo. Este proceso tiene un impacto negativo en los microorganismos del suelo, ya que limita su acceso a nutrientes y altera los espacios porosos necesarios para su actividad biológica, afectando así la salud y funcionalidad del ecosistema del suelo.

3.8.2.1.2 Pisoteo de animales

El tránsito continuo de animales de pastoreo también contribuye a la compactación del suelo, aunque su impacto suele ser menor en comparación con el de la maquinaria pesada. La presión que ejercen los cascos de los animales reduce el espacio poroso en el suelo, lo que limita la infiltración de agua y aire. Este efecto puede afectar negativamente a los microorganismos del suelo, ya que la disminución de los poros dificulta su acceso a oxígeno y nutrientes, alterando su actividad biológica y, en consecuencia, la salud general del suelo. (Agrotey, 2024).

3.8.3 Deforestación

La deforestación es la destrucción a gran escala de los bosques por la acción humana. Los suelos de los bosques son húmedos, pero sin la protección de la cubierta arbórea, se secan rápidamente. Los árboles también ayudan a perpetuar el ciclo hidrológico devolviendo el vapor de agua a la atmósfera. Sin árboles que desempeñen ese papel, muchas selvas y bosques pueden convertirse rápidamente en áridos desiertos de tierra estéril. (Garciglia, 2014).

3.8.4 Erosión

La erosión del suelo es uno de los problemas ambientales más graves a nivel global, y sus efectos negativos no solo afectan los ecosistemas, sino también a los microorganismos que habitan en él. La pérdida progresiva de suelo y nutrientes reduce drásticamente la biodiversidad microbiana, comprometiendo su capacidad para llevar a cabo funciones esenciales como la descomposición de materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la promoción de la fertilidad del suelo. Esto, a su vez, impacta el equilibrio ecológico y la salud del suelo. (Rosalía Castelán et al, 2017)

3.8.5 Incendios forestales.

Los incendios forestales tienen impactos complejos en los procesos ecológicos, alterando la estructura del paisaje y afectando la vegetación y los microorganismos del suelo. Estos impactos dependen de la intensidad, recurrencia y duración del fuego. Las altas temperaturas pueden destruir comunidades microbianas sensibles, reduciendo su diversidad y capacidad para funciones esenciales como la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. La pérdida de cobertura vegetal agrava el problema, dejando el suelo expuesto a condiciones extremas como radiación solar y pérdida de humedad, lo que dificulta la supervivencia de los microorganismos. (Ulibarry, 2017)

En contraste con los impactos negativos que generan las prácticas inadecuadas en el uso del suelo, este estudio se enfocará en analizar suelos que no han sido intervenidos por actividades humanas. El objetivo es identificar los niveles naturales de respiración basal que presentan estos suelos en equilibrio ecológico. Al no estar alterados, ofrecen condiciones ideales para observar la actividad microbiana en su estado más puro. Esta información permitirá establecer una línea base confiable para futuros estudios comparativos. De esta forma, se podrá evaluar con mayor precisión el grado de alteración que provocan las malas prácticas de manejo. (Ulibarry, 2017)

3.9 Indicador de la calidad del suelo

Los indicadores son herramientas que miden una condición, un proceso, una reacción o comportamiento, y permiten la adquisición de información acerca de una situación dada. Los impactos productivos y ambientales pueden ser evaluados a través de índices de calidad del suelo. Por lo tanto, se puede tener una herramienta importante en el control de los parámetros productivos asociados. La calidad del suelo se puede cuantificar a través de algunas de sus características físicas, químicas y biológicas, que permiten el seguimiento de los cambios en el estado del suelo en el mediano y largo plazo. (Sánchez, 2013)

La utilización de indicadores de calidad del suelo es esencial para evaluar de manera sistemática las propiedades, procesos y características que determinan su funcionamiento. Estos indicadores permiten monitorear los efectos de las prácticas de manejo a lo largo del tiempo, proporcionando información clave para diagnosticar el estado del suelo y anticipar posibles procesos de degradación. Contar con herramientas de medición confiables es fundamental para tomar decisiones orientadas a la sostenibilidad, garantizando tanto la productividad del suelo como la preservación de sus funciones ecológicas en el mediano y largo plazo. (Ramírez & Sánchez, 2012)

3.10 Respiración basal del suelo.

La respiración es el proceso de oxidación de sustratos orgánicos a dióxido de carbono (CO_2) por los microorganismos del suelo, en otras palabras, la respiración del suelo (R_s) o flujo del CO_2 , es un importante componente del ciclo del carbono y es considerado el segundo mayor flujo de carbono entre la tierra y la atmósfera. La producción de CO_2 del suelo es resultado de procesos biológicos, tales como la respiración de raíces y de los organismos edáficos, así como de, la descomposición de la materia orgánica, y en menor medida, de la oxidación química de los compuestos de carbono (María Inés Yáñez et al, 2017)

3.10.1 Factores bióticos y abióticos de la respiración del suelo

La Respiración del suelo en sistemas naturales se debe principalmente a la acción conjunta de factores bióticos y abióticos como son: tipo y edad de la vegetación, tipo de suelo y variaciones climáticas. En lo que se refiere a temperatura y humedad mencionan que varían significativamente con la profundidad y las características del sitio, por ejemplo, la exposición a la luz, la sombra y el viento. (Yadihra Cruz et al, 2021)

3.10.2 Microorganismos

Según Vega (2009) expresa que: Los microorganismos del suelo son entidades que influyen en varios aspectos del suelo y cada uno desempeña diferentes actividades. De particular interés son aquellos microorganismos involucrados en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Así, en muchos casos, los microorganismos del suelo pueden determinar la disponibilidad de nutrientes y por eso se consideran herramientas para el manejo del suelo y la nutrición de la planta.

3.11 Factores que influyen en la tasa de respiración basal

La tasa de respiración basal del suelo está influenciada por una variedad de factores que afectan la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Los principales factores que influyen en la respiración basal:

3.11.1 Materia Orgánica del suelo.

La materia orgánica del suelo (MO) es un importante componente de la biosfera vinculado a funciones ecológicas esenciales. Entre ellas, la provisión de nutrientes para los cultivos, el mantenimiento de la calidad del agua, el almacenamiento de carbono (C) y la mitigación de las emisiones de gases efecto invernadero. Sin duda, la MO resulta de vital importancia para definir la calidad del suelo. El aporte que hace a las diferentes funciones en las que participa depende de su cantidad y estructura. (Quiroga & Galatine, 2017)

Según la Fao (2002) La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica, la materia orgánica no solo nutre el suelo, sino que activa la respiración microbiana, ya que los microorganismos la utilizan como sustrato energético. Cuanto mayor es la cantidad y calidad de la materia orgánica, más intensa será la respiración basal. Esta relación permite usar la respiración como una medida indirecta de la disponibilidad y descomposición de la materia orgánica, lo cual es clave para entender la dinámica del carbono en el suelo.

3.11.2 Descomposición de la materia orgánica

La descomposición es un proceso complejo regulado por las interacciones entre los organismos (fauna y microorganismos), factores físicos medioambientales (principalmente temperatura y humedad) y la calidad del recurso orgánico (concentración de lignina, nitrógeno y polifenoles condensados y solubles). La descomposición de la MO en los ecosistemas terrestres juega un papel importante en el ciclo global del carbono a través de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. El cambio climático global puede afectar la descomposición de la MO y, en consecuencia, alterar el flujo de CO₂ del suelo, tanto física como microbiológicamente. (Correa, 2020).

3.11.3 Actividad microbiana

Podemos medir la actividad metabólica de microorganismos heterotróficos del suelo estudiando la mineralización de sustratos orgánicos. Definimos mineralización como la degradación completa de un compuesto a sus constituyentes minerales, en donde el carbono orgánico es oxidado hasta CO₂. Dado que la descomposición de un sustrato orgánico por medio del proceso de respiración aeróbica tiene como productos principales CO₂ y H₂O, la evolución de CO₂ puede utilizarse como un indicador bastante preciso de la actividad respiratoria de comunidades en agua y suelo. (Morales & Gutiérrez, 2011).

3.11.4 Presencia de Raíces de Plantas.

Las plantas tienen la capacidad de captar el CO₂ atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital. En general, se puede concluir que, las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO₂) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO₂ (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa. (Carvajal, 2010)

3.12 Factores que Afectan la Respiración del Suelo.

Los principales factores que regulan la respiración del suelo son su temperatura y su humedad; el pH, textura del suelo y, estos son de interés, debido a su efecto en los incrementos de la respiración del suelo por el incierto escenario de cambio climático global. (María Inés Yáñez et al, 2017).

3.12.1 Temperatura y humedad

La temperatura y la humedad del suelo son factores importantes que afectan la descomposición de la materia orgánica del suelo, el ciclo hidrológico y el crecimiento de las plantas. La descomposición de la materia orgánica se acelera al aumentar la temperatura del suelo si es que hay humedad disponible, por lo que pueden transferirse cantidades significativas del Carbono del suelo a la atmosfera, causando una retroalimentación que aumentará el calentamiento global. (Diaz, 2015)

Las bajas temperaturas favorecen la supervivencia de las bacterias en un suelo. A medida que la temperatura aumenta, el grado de supervivencia de las bacterias en el suelo tiende a disminuir. (I.B. Estrada et al, 2003)

3.12.2 pH del suelo

El pH en el suelo 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. (Jesus Martínez et al, 2017)

3.13 Valores de referencia en suelos y su importancia

Los valores de referencia en el análisis de suelos son esenciales para comprender la calidad y fertilidad del suelo, ya que actúan como indicadores precisos de la presencia y disponibilidad de nutrientes y otros elementos importantes para las plantas. Estos valores no solo permiten identificar deficiencias o excesos en el suelo, sino también evaluar su capacidad para sostener el crecimiento vegetal de manera óptima. Al interpretar correctamente esta información, se pueden diseñar estrategias de fertilización y manejo adaptadas a las necesidades específicas del suelo, lo que contribuye a mejorar la productividad agrícola. (FAO, 2021)

La interpretación de los valores de referencia se fundamenta en el análisis de diversos componentes presentes en el suelo, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, entre otros. Cada uno de estos elementos tiene un rango óptimo de concentración, y una correcta interpretación de estos valores es crucial para evaluar la fertilidad del suelo, en función de la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Cuando los valores están por debajo o por encima de los rangos ideales, se indica la necesidad de ajustar las prácticas de fertilización y manejo del suelo para mejorar su calidad. (EGC, 2023).

Los valores de referencia se obtienen mediante análisis estadísticos en suelos que representan condiciones ideales o naturales. En el caso de la respiración basal, se mide en múltiples sitios no intervenidos, y se determinan promedios, rangos y desviaciones estándar. Estos valores sirven como punto de comparación para otras áreas, ayudando a identificar suelos degradados o en riesgo. Esta metodología permite establecer límites críticos y orientar decisiones en planes de conservación, monitoreo ambiental y manejo sostenible del recurso suelo (FAO, 2021)

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Descripción de la Zona de Estudio

La microcuenca del río Talgua, que abarca 8,531 hectáreas, se localiza en el municipio de Catacamas, al este de Honduras, y forma parte de la cuenca del río Patuca. Esta microcuenca representa una fuente potencial de agua para el abastecimiento del municipio. Está compuesta por tres afluentes principales: Quebrada de Agua, Río Seco y Quebrada El Pinabetal, que en conjunto suministran agua potable a 16 comunidades. De estas, seis están ubicadas en la parte alta, dentro de la microcuenca, mientras que las otras diez se encuentran fuera de su área, aunque también dependen de ella para su suministro hídrico. (Sosa & Zamora, 2006)

La investigación se realizó en áreas de la microcuenca que presentan suelos con mínima o nula intervención humana reciente. La selección de estos sitios buscaba garantizar que los valores de respiración basal obtenidos reflejen condiciones naturales y en equilibrio del suelo, fueron seleccionados por su relevancia para evaluar la respiración basal del suelo y otros parámetros edáficos. La región se encuentra a una altitud promedio de 500 msnm, con un clima tropical húmedo, una precipitación anual promedio de 1,200 mm y temperaturas promedio de 25 °C. (Sosa & Zamora, 2006)

Para llevar a cabo esta delimitación, se utilizó herramientas tecnológicas, como un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para registrar los límites geográficos, y la utilización del software QGIS® versión 3.26 (“Quantum Geographic Information System”) para elaborar el mapa detallado de las áreas seleccionadas.

4.2 Determinación del área de muestreo

Una vez definida el área de estudio, se procedió a un muestreo en áreas conservadas, dirigido exclusivamente a seleccionar e identificar suelos no intervenidos. Las áreas fueron numeradas y, a partir de ellas, se eligieron sitios representativos para la recolección de muestras. Se recolectaron un total de 65 muestras representativas en distintos puntos de la microcuenca del Río Talgua, específicamente en las comunidades de Flor de Café, Buena Vista, Pinabetal y Quebrada de Agua. Estas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos Agrícola PhD. Elio Durón Andino de la Universidad Nacional de Agricultura. Cabe destacar que todas las muestras provienen de suelos no intervenidos, lo que garantiza una caracterización precisa de las condiciones naturales y equilibradas del suelo en la zona de estudio.

4.3 Protocolo para Determinar la Respiración Basal de Suelos en Recipientes Herméticos

Para evaluar la respiración basal de los suelos de la microcuenca del río Talgua, Olancho, Honduras, se empleó un protocolo adaptado de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2023). A continuación, se describen los pasos que se llevaron a cabo en el laboratorio para garantizar resultados precisos:

4.3.1 Recolección y almacenamiento previo al transporte

En cada sitio seleccionado, se obtuvo una muestra compuesta a una profundidad de 0 a 20 cm, formada mediante un muestreo aleatorio que incluyó la toma de 5 submuestras al azar. Las muestras se colocaron en recipientes limpios, preferiblemente de plástico o vidrio, que eviten la contaminación cruzada. Se etiquetaron correctamente cada recipiente con información como el lugar (georreferencia), la profundidad de muestreo, y la fecha de recolección.

4.3.2 Transporte adecuado

Las muestras se transportaron en condiciones que mantuvieran su humedad natural y composición química. Para ello, se utilizaron bolsas herméticas. Asimismo, se procuró que no estuvieran expuestas al sol para no afectar su composición. El tiempo entre la recolección y el análisis se procuró que fuera lo más mínimo posible. Para muestras destinadas a estudios biológicos, un retraso prolongado puede provocar cambios en los niveles de actividad microbiana o alteraciones químicas, lo que afecta la calidad del análisis.

4.3.3 Condiciones de limpieza y seguridad

Se aseguró que el equipo utilizado para recolectar, almacenar y transportar las muestras estuviera completamente limpio. Además, fue esencial manejar las muestras con guantes para evitar contaminaciones accidentales.

4.3.4 Preparación de las Muestras de Suelo

Se pesaron 25 gramos de suelo fresco previamente tamizado con un tamaño de partícula de 4 mm. Las muestras fueron colocadas en recipientes herméticos.

4.3.5 Preparación de la Solución de NaOH

Se preparo una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 1 M, de la cual se tomaron 25 mL para depositarlos en un recipiente pequeño que fueron colocados dentro del frasco hermético junto con la muestra de suelo. Inmediatamente, el frasco fue sellado para evitar pérdida de gases.

4.3.6 Incubación de las Muestras

Los frascos con las muestras fueron incubados (figura 1.) en un lugar oscuro o sin exposición directa a la luz, a una temperatura constante durante un periodo de 72 horas.

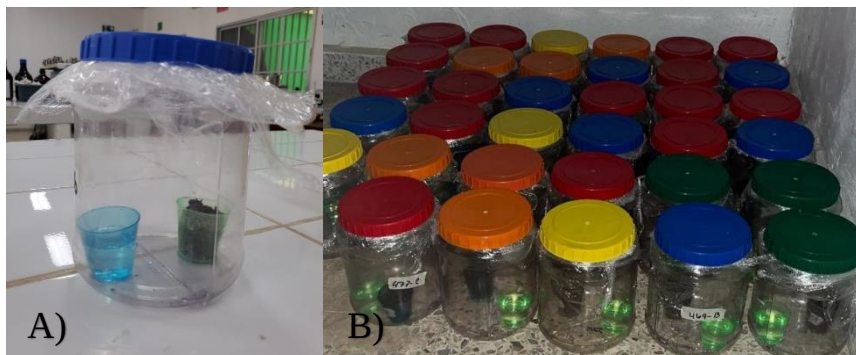


Figura 1. Sistema de incubación para medir la respiración basal del suelo: A) montaje de la muestra y solución de NaOH; B) frascos en reposo en un lugar oscuro y a temperatura constante.

4.3.7 Precipitación del Carbonato

Después del tiempo de incubación, se retiró el recipiente con NaOH y se añadió a un Erlenmeyer más pequeño junto con 1 mL de cloruro de bario 50% (BaCl_2) para precipitar el carbonato presente en la solución.

4.3.8 Titulación de la Solución

Se añadieron 4 gotas de fenolftaleína como indicador para proceder a la titulación con ácido clorhídrico (HCl) al 0.5 M, agregando gota a gota hasta que la solución cambió de color rosa magenta a incolora, indicando el punto final de la reacción ácido-base.

4.4 Determinación del pH del Suelo relación 1:2.5

El procedimiento para la medición de pH en el suelo, según lo descrito por la Soil Science Society of America (1996), se inició con la calibración del pH-metro, utilizando soluciones tampón con valores de pH 7.0, 4.0 y 10.0 asegurando así la precisión en las mediciones. A

continuación, se pesaron 10 gramos de suelo previamente secado al aire y tamizado con una malla de 2 mm, los cuales se colocaron en vasos plásticos de 50 mL. Por cada 10 muestras analizadas, se incluyó una muestra control para garantizar la validez del proceso.

Posteriormente, se añadió 25 mL de agua desionizada al recipiente que contenía el suelo y se mezcló cuidadosamente, utilizando una varilla de plástico. Durante este paso, es fundamental evitar cualquier tipo de contaminación externa. La mezcla se dejó en reposo y se tomaron lecturas pasada una y dos horas.

4.5 Determinar materia orgánica del suelo

De acuerdo con los principios establecidos por Walkley y Black (1934), el procedimiento para determinar el carbono orgánico en muestras de suelo comenzó con la pesada de 1.00 g de suelo tamizado a 2 mm en un matraz Erlenmeyer de 300 mL. Se añaden 10 mL de una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a 0.167 M (1 N) y se agita suavemente para integrar completamente el suelo en la solución, seguido, se incorporó 20 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado directamente en la suspensión. Inmediatamente, se agita durante un minuto, comenzando con movimientos suaves para mezclar el suelo y el reactivo, y luego de manera enérgica. La solución se dejó reposando dentro de una campana de extracción de gases durante 30 minutos, lo que permitió estabilizar la reacción.

Pasado este tiempo, se agregó 200 mL de agua al matraz Erlenmeyer para diluir la solución. Posteriormente, se añadieron de 3 a 4 gotas de indicador de ferroína y se procedió a titular la solución con sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) a una concentración de 0.5 M (0.5 N). Durante la titulación, el punto final se identificó por el cambio de color de la solución: primero adquirió un tinte verdoso, luego pasa a verde oscuro, y finalmente, gota a gota, el color cambia de azul a marrón. En este punto, si se observa la muestra a contraluz sobre un fondo blanco, puede percibirse un tono rojo característico.

Para estandarizar la solución de $K_2Cr_2O_7$, se realizó la misma titulación con un blanco, es decir, siguiendo el mismo procedimiento, pero sin incluir la muestra de suelo. Si durante el análisis inicial la solución adquiere un color azul intenso tras agregar el dicromato y el ácido sulfúrico, esto indica que más del 75 % del dicromato ha sido reducido. En tal caso, fue necesario repetir el análisis utilizando una menor cantidad de muestra para garantizar resultados precisos.

4.6 Determinación de textura del suelo método Bouyoucus

Según Klute (1986), el procedimiento comenzó con el secado de la muestra, seguida de su molienda y tamizado utilizando una malla de 2 mm. Posteriormente, se pesaron 60 gramos de la muestra y se colocaron en un horno durante al menos 6 horas a una temperatura de entre 75 y 80 °C. Una vez completado el secado, se dejó enfriar la muestra, tras lo cual se pesaron 50 gramos y se colocaron en un beaker de 250 mL. A continuación, se procedió a la dispersión química, para la cual, se agregó 100 mL de agua desionizada y 10 mL de una solución dispersante de Hexametáfosfato de sodio, dejando la mezcla reposar en un frasco durante al menos 12 horas.

Transcurrido este tiempo, se procedió a la dispersión física, para la cual, la mezcla se vertió en vasos agitadores para batir y desintegrar los agregados del suelo durante 10 minutos. Luego, se pasó la mezcla a un cilindro de vidrio aforado a 1000 mL. Posteriormente, fue agitado el cilindro vigorosamente durante un minuto y, si se genera espuma, se utilizó alcohol etílico para eliminarla.

El cilindro se coloca sobre una mesa, se introduce cuidadosamente el hidrómetro de Bouyucus, y se registra la lectura a los 40 segundos. Después, se retiró el hidrómetro de la suspensión. A continuación, fue medido y se anotó la temperatura utilizando un termómetro adecuado. Finalmente, dos horas después de los 40 segundos, se realizó una segunda lectura y se registró nuevamente la temperatura.

4.7 Variables evaluadas

4.7.1 Respiración Basal

A cada una de las muestras recolectadas se les determinó la cantidad de CO₂ emitido por el suelo, producto de la actividad microbiana durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Para calcular dicha emisión de dióxido de carbono, se utilizó la siguiente fórmula.

CALCULO:

$$\text{RBS (mg de C} - \text{CO}_2\text{kg}^{-1} \text{ Suelo dia}^{-1}) = \frac{(\text{Vb} - \text{Vm}) \cdot \text{M} \cdot 6.1000}{\text{Psg}}$$

Donde:

RBS = Respiración basal del suelo

Vb= Volumen de HCl consumidos para titular el blanco

Vm= Volumen de NaOH gastado en la muestra con suelo

M= Molaridad del NaOH

Psg= Peso del suelo seco en gramos.

4.7.2 Materia Orgánica

Cada una de las muestras fue sometida al procedimiento descrito en la metodología para la determinación de la materia orgánica. Para obtener los resultados, fue necesario registrar los mililitros de solución consumidos al titular el blanco. Posteriormente, el cálculo del porcentaje de materia orgánica se realizó utilizando las siguientes fórmulas:

CALCULO:

$$CO\% = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{Muestra}}) \times M_{Fe^{2+}} \times 0.003 \times 100 \times f}{w}$$

Donde:

CO% = porcentaje de carbono orgánico

V_{blanco} = volumen de titulante utilizado en el blanco, mL

V_{muestra} = volumen de titulante utilizado en la muestra, mL

$M_{Fe^{2+}}$ = concentración de solución estandarizada de $FeSO_4$, molaridad

f = Factor de corrección, 1.3

W: Peso del suelo seco en gramos.

4.7.3 pH

A cada una de las muestras se le realizó la medición de pH utilizando un pH-metro, previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10. La lectura se registró una vez que el equipo estabilizó el valor, con el electrodo completamente sumergido en la muestra.

4.7.4 Textura

A cada muestra se le aplicó la metodología establecida para la determinación de la textura del suelo (ver ítem 5.7). Para obtener los resultados, se tomaron lecturas del hidrómetro y del termómetro a los 40 segundos y a las dos horas, respectivamente. De acuerdo con el método, las lecturas del hidrómetro fueron corregidas utilizando la temperatura registrada, aplicando un ajuste de ± 0.2 unidades por cada grado Fahrenheit por encima o por debajo de los 67 °F. Es decir, se sumó 0.2 si la temperatura era superior y se restó si era inferior. Finalmente, para calcular el porcentaje de cada fracción del suelo (arena, limo y arcilla), se emplearon las siguientes fórmulas:

CALCULOS:

$$\% \text{ Arena} = 100 - \left[\left(\frac{1^{\text{era}} \text{ lectura corregida}}{\text{peso de la muestra}} \right) \times 100 \right]$$

$$\% \text{ Arcilla} = \left[\frac{2^{\text{da}} \text{ lectura corregida}}{\text{peso de la muestra}} \right] \times 100$$

$$\% \text{ limo} = 100 - [\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}]$$

4.8 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos durante el estudio fueron analizados de forma inferencial. Inicialmente, se sometieron a una prueba de normalidad, para determinar si las variables estudiadas seguían una distribución normal. Dependiendo de la distribución de los datos se emplearon métodos paramétricos o no paramétricos para establecer los valores de referencia de respiración basal del suelo.

Se calcularon medidas de tendencia central (media y mediana) y dispersión (desviación estándar e intervalo intercuartílico) para describir los datos y establecer los rangos normales de la tasa de respiración basal. Posteriormente, se evaluaron la relación entre la respiración basal, el pH, la materia orgánica y la textura de los suelos, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r). Este análisis se realizó con el programa Microsoft Excel® versión 2023 y R studio.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Mapa de la delimitación del área de estudio.

La presente investigación se desarrolló en la microcuenca del Río Talgua, ubicada en el departamento de Olancho, Honduras. El área de estudio fue delimitada utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El área seleccionada en la Figura 2 comprende un total de 1,496.886 hectáreas dentro de la microcuenca delimitadas para incluir únicamente suelos que no han no intervenidos. Esta selección se basó en criterios de integridad ecológica considerando zonas sin evidencia de uso agrícola, ganadero o forestal, y fue evidencio mediante observación directa en campo. A continuación, se presenta el mapa de delimitación del área de estudio donde se observa en color verde el polígono correspondiente a la zona evaluada en esta investigación.

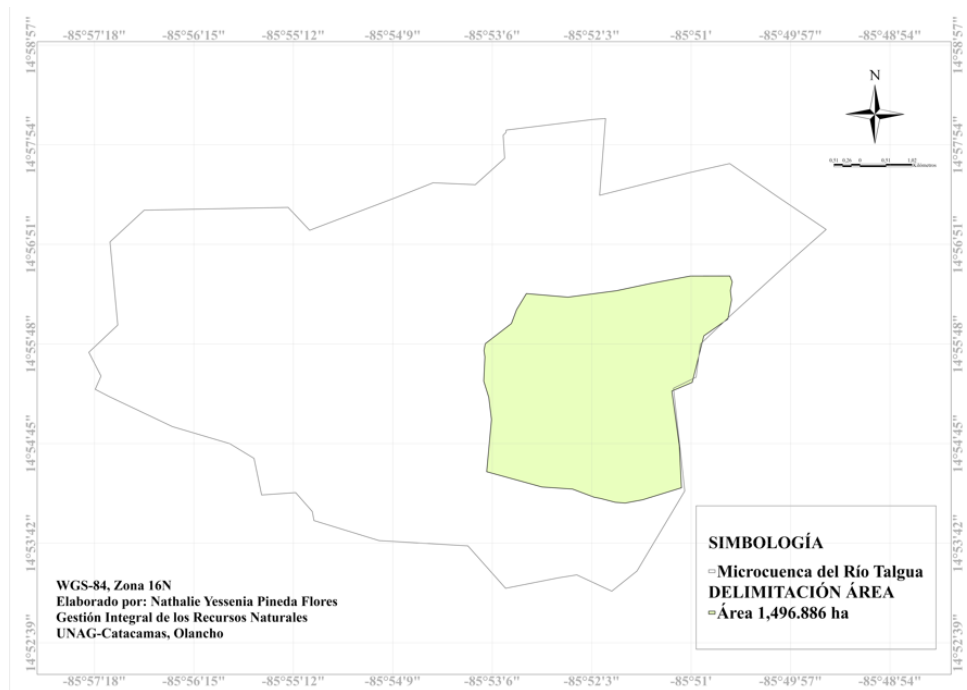


Figura 2. Mapa de delimitación del área de estudio de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia (2025)

5.2 Respiración Basal de los Suelos de la Microcuenca del Río Talgua.

Los niveles de respiración basal del suelo en la microcuenca del río Talgua (Figura 3) se muestra una distribución espacial heterogénea de la respiración basal del suelo, expresada en mg de C-CO₂/kg de suelo/día. Se observaron cinco rangos de respiración basal, los cuales varían desde valores bajos 63.64 de C-CO₂/kg de suelo/día hasta valores altos 891.78 de C-CO₂/kg de suelo/día. La zona con mayor actividad biológica se encuentra ubicada en Quebrada de agua y Pinabetal, donde los valores superan los 726.20 mg de C-CO₂/kg de suelo/día. Esta alta actividad puede estar relacionada con un mayor contenido de materia orgánica, buena cobertura vegetal y menor intervención antrópica (Reyes, 2011):

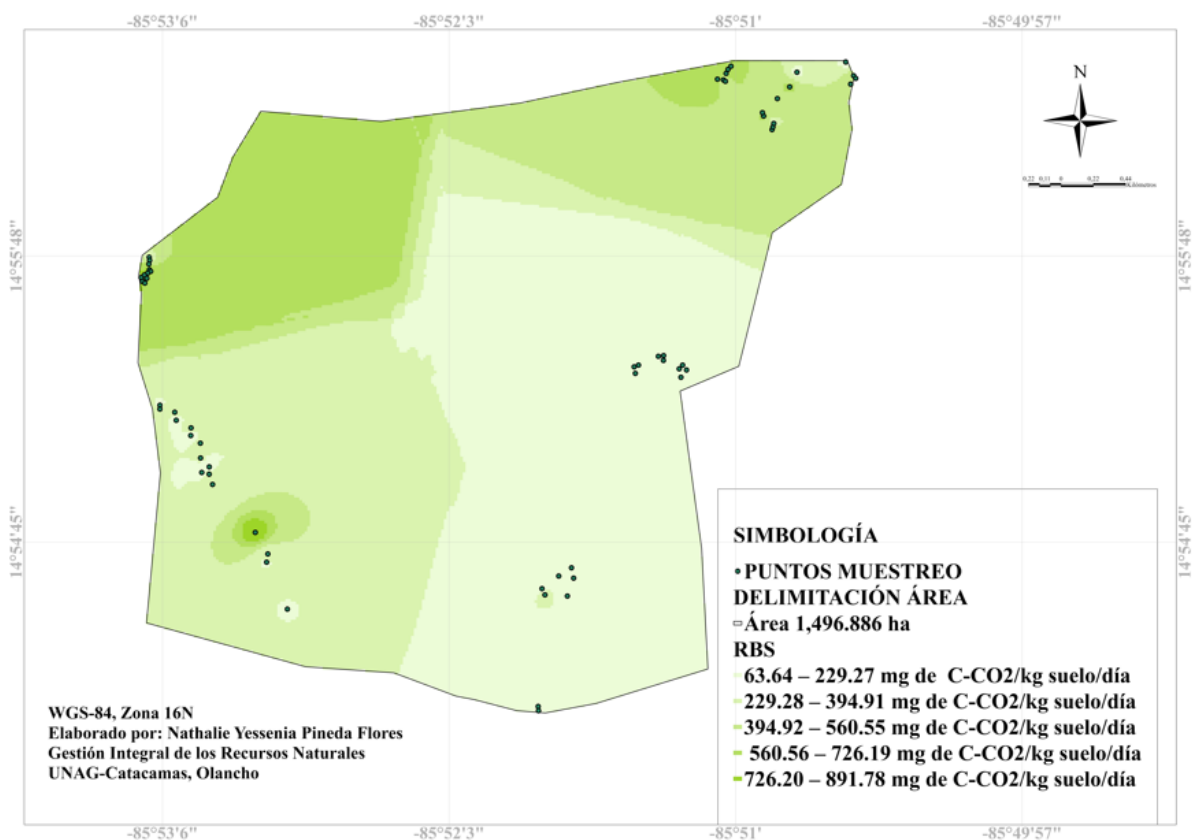


Figura 3. Mapa de respiración basal de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras, elaborado a partir de 65 muestras de suelo (n = 65). Fuente: Elaboración propia. (2025)

Por el contrario, las zonas con menor respiración basal se localizan en Buena vista y Flor del café, presentando valores inferiores a los 229.27 mg de C-CO₂/kg de suelo/día, lo cual podría reflejar suelos con menor actividad biológica, esta variación podría estar relacionada con factores edáficos como el pH, la materia orgánica, la textura del suelo, o bien con condiciones climáticas y características geográficas propias del sitio (Ortigoza, 2019).

5.3 pH de los suelos de la microcuenca del río Talgua

La distribución del pH en los suelos de la microcuenca del río Talgua (Figura 4) evidencia una variación natural en los niveles de acidez del suelo, con valores que oscilan entre 4.65 y 8.09. Las zonas con pH más alto 7.26–8.09, ubicadas principalmente en Quebrada de agua y flor del café, reflejan condiciones edáficas neutras a ligeramente alcalinas, favorables para la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Alberto Otiniano et al, 2006). En contraste, las áreas de Pinabetal y Buena vista presentan suelos moderadamente ácidos 5.52–6.38 y en algunos puntos fuertemente ácidos 4.65–5.51. Esta condición podría estar asociada a procesos propios de la formación y dinámica del suelo en dichas zonas lo que genera ambientes menos propicios para la vida microbiana. (Martínez, 2015)

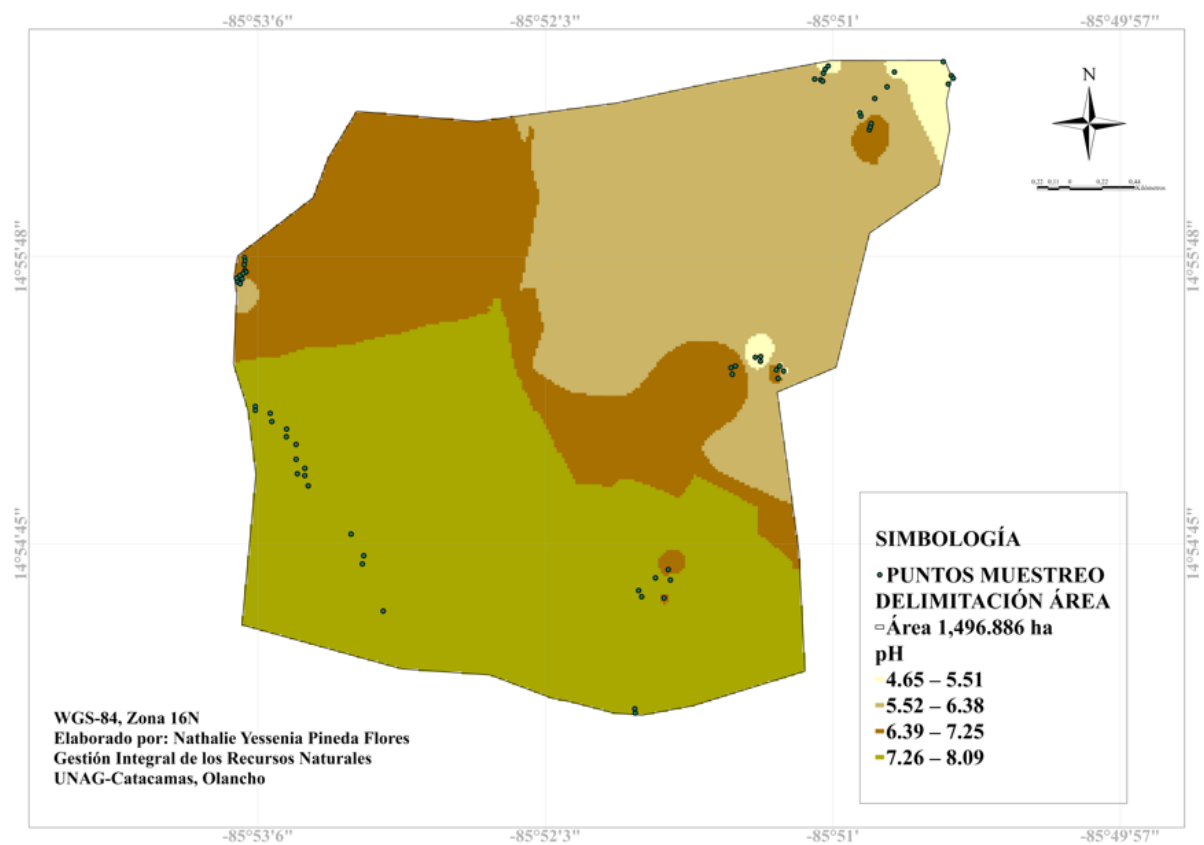


Figura 4. Mapa de pH de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente. Elaboración propia. (2025) (n = 65).

5.4 Contenido de materia orgánica en los suelos de la microcuenca del Río Talgua

En la figura 5, observamos el mapa de calor de los niveles de materia orgánica en los suelos de la microcuenca del Río Talgua, se observa que existe una variabilidad considerable en dichos niveles, con valores que oscilan desde el 2.08 % hasta más del 27 %. De acuerdo con los rangos ecológicos propuestos por FAO (2015), un suelo con menos del 3 % de MO es considerado con contenido bajo, entre 3 % y 5 % se clasifica como un rango óptimo, y por encima de 5 % como alto, la mayoría de los sitios presentan niveles medios a altos, lo que indica una buena condición biológica natural y un adecuado desarrollo del horizonte orgánico, propio de suelos poco perturbados.

La mayor parte del área muestra contenidos altos de materia orgánica, entre 7.09 % y 17.10 %, lo cual es característico de suelos bien conservados en zonas de bosque. (Ibañez, 2006). Sin embargo, también se identifican zonas con niveles más bajos 2.08 % a 7.08 %, lo cual se relaciona con características edáficas propias del suelo particularmente con una menor acumulación de materia orgánica. (Pardo, 2019)

En contraste, destacan algunas áreas con concentraciones elevadas, incluso superiores al 22 %, localizadas principalmente en la zona alta de Quebrada de agua. Esta zona representa ecosistemas especialmente ricos en materia orgánica. Esto se debe posiblemente a una combinación de factores, como una mayor acumulación de biomasa y la presencia de condiciones de humedad más estables, que favorecen la formación y preservación de materia orgánica en el suelo. (FAO, 2015)

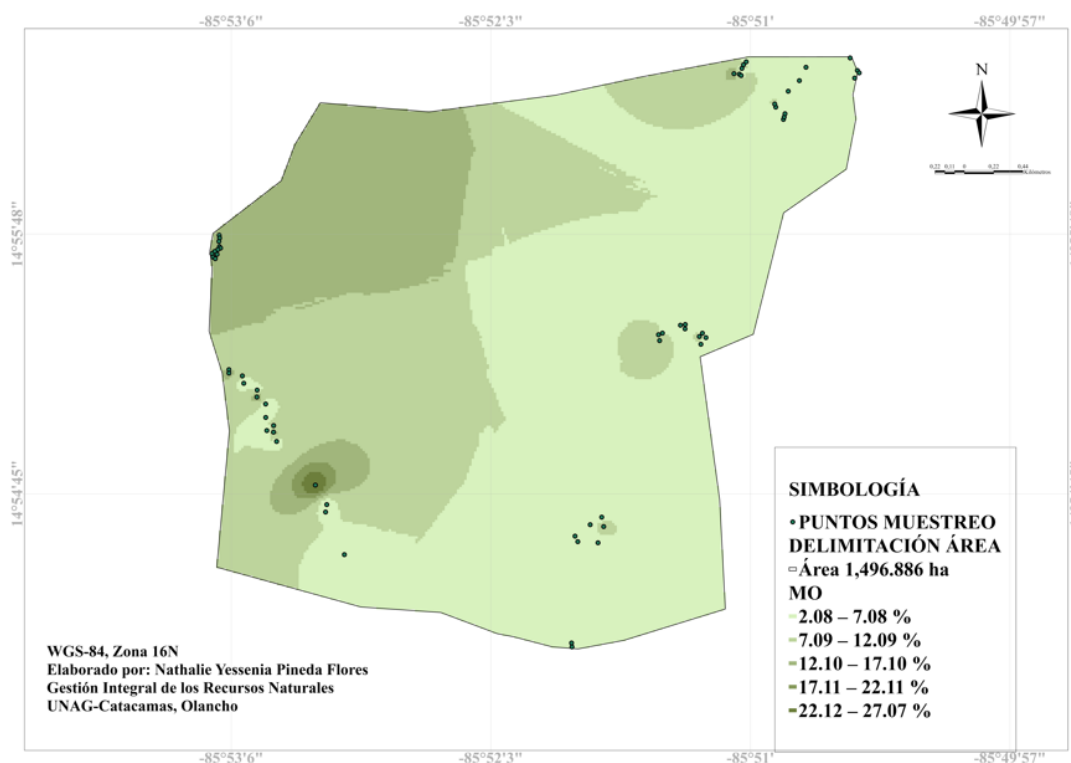


Figura 5. Mapa contenido de materia orgánica de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025). (n=65).

5.5 Porcentaje de arcilla en los suelos de la microcuenca del Río Talgua

La figura 6, presenta el mapa de calor del porcentaje de arcilla en los suelos de la microcuenca del Río Talgua, dado que el contenido de arcilla incide en la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua, influye en su fertilidad. Considerando que la cantidad de arcilla en un suelo influye directamente en su fertilidad (Thompson, 1982), se evidencia una notable variabilidad en los contenidos de arcilla, con valores que van desde 4.4 % hasta el 30 %. Las zonas con menor porcentaje se encuentran en la zona alta de Quebrada de agua. Estos suelos con baja cantidad de arcilla tienden a tener una textura más arenosa o franca, lo que implica una mayor capacidad de drenaje, pero también una menor retención de nutrientes y agua. (Zapata, 2018)

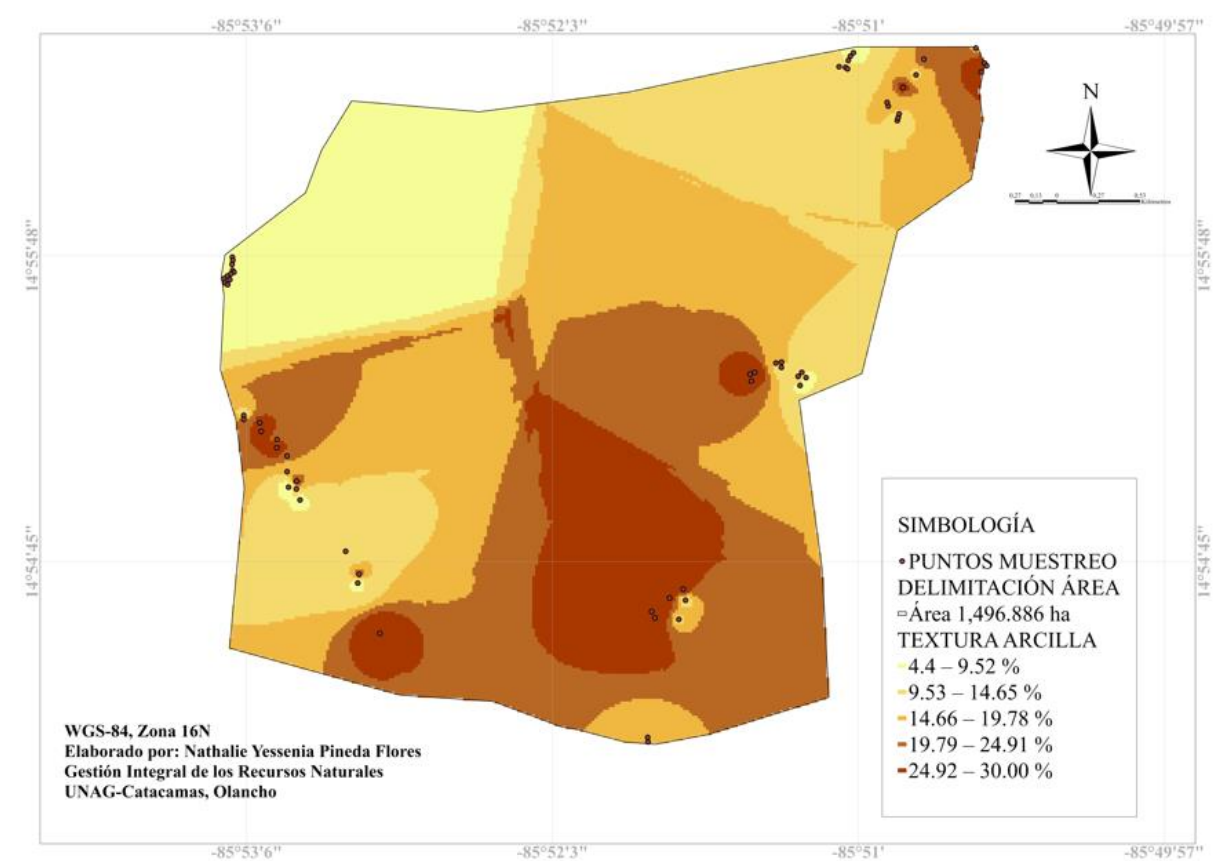


Figura 6. Mapa de porcentaje de arcilla de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Elaboración propia (2025) (n=65)

Asimismo, las áreas con altos contenidos de arcilla entre el 24.92 % y el 30 %, se ubican en Flor del café en algunas zonas de Quebrada de agua y Pinabetal. Este tipo de suelos, debido a su textura fina, presenta una mayor capacidad de retención de agua y nutrientes también suelen mostrar limitaciones en la infiltración y aireación, lo que puede afectar la dinámica microbiana y la disponibilidad de oxígeno en el perfil del suelo. (Zapata, 2018)

5.6 Porcentaje de Arena de los Suelos de la Microcuenca del Río Talgua

En la microcuenca del río Talgua, el contenido de arena en los suelos presenta una distribución marcada de texturas ligeras en diversas zonas del territorio (Figura 7). Los valores de arena oscilan entre un 56 % y un 84 %, lo que indica una clara dominancia de suelos con texturas arenosas a franco arenosas en la mayor parte. Las zonas con mayor contenido de arena se ubican principalmente en la parte de Buena Vista y en la zona alta de Quebrada de agua. Estos suelos se caracterizan por ser más sueltos y con buena capacidad de drenaje, lo que favorece la aireación de las raíces. (Rucks, 2004).

Por otro lado, las zonas con menor proporción de arena alrededor del 56%, se ubican en Flor del café y algunas zonas de Pinabetal. Además, tienden a coincidir con áreas donde los contenidos de arcilla son más altos, lo cual sugiere una textura más equilibrada o incluso más pesada. (Rucks, 2004)

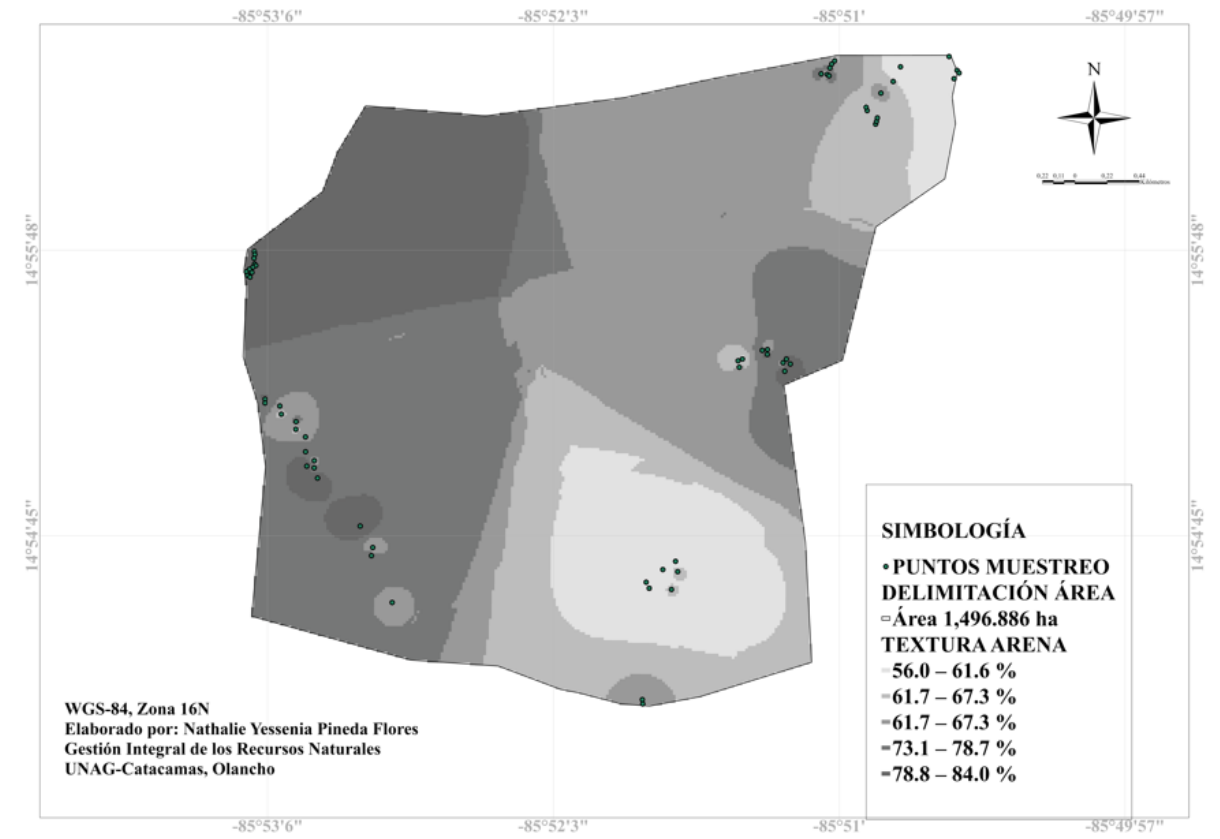


Figura 7. Mapa de porcentaje de arena de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025) (n=65).

5.7 Porcentaje de Limo de los Suelos de la Microcuenca del Río Talgua

Dentro de la microcuenca del río Talgua, el porcentaje de limo en los suelos presenta una variabilidad considerable en su distribución espacial (Figura 8), los valores registrados oscilan entre 6.80 % y 27.20 %. Se observa que las zonas con mayor concentración de limo 23.13 % a 27.20 % se localizan de Flor del café y cierta parte de Pinabetal, estos suelos presentan una textura más equilibrada, ya que el limo actúa como un intermediario entre la retención de agua característica de la arcilla y el buen drenaje propio de la arena. (María Alcalá de Jesús et al, 2019)

Por otro lado, en la parte de Quebrada de agua se observan los menores porcentajes de limo, con valores entre 6.80 % y 10.88 %. Estas áreas tienden a tener una textura más arenosa, lo que puede implicar una menor capacidad de retención de humedad y nutrientes y, por ende, una mayor vulnerabilidad a la erosión si no se implementan prácticas de conservación del suelo. (Zapata, Rodrigo, 2018)

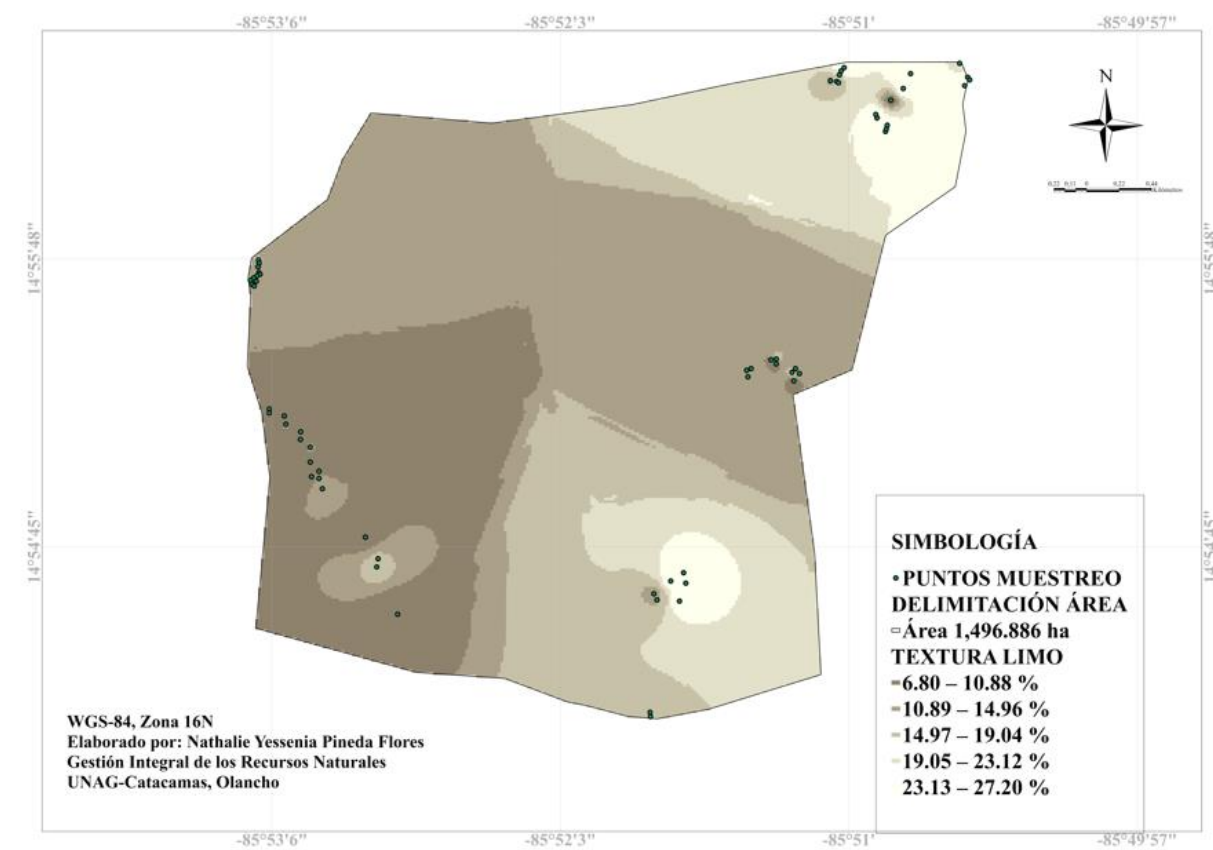


Figura 8. Mapa de porcentaje de limo de los suelos de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025) (n=65).

5.8 Textura de Suelos de la Microcuenca del Río Talgua

La figura 9 nos muestra la distribución de las texturas en la microcuenca del Río Talgua, el cual evidencia una notable heterogeneidad, donde predominan los suelos de textura franco arenosa y franco arcilloso arenoso, mientras que en sectores específicos como la zona de Quebrada de Agua presenta texturas más livianas como arenosa francosa. Las diferencias encontradas reflejan el origen del suelo y la forma del terreno influyen en su habilidad para retener humedad

y fertilidad (PSE, 2023). Los suelos francos ofrecen un balance favorable entre aireación y fertilidad, lo cual promueve condiciones adecuadas para la actividad biológica, mientras que los suelos más arenosos tienden a drenar con rapidez, limitando la disponibilidad de humedad, aunque favoreciendo la aireación de los poros (Aruani, 2006)

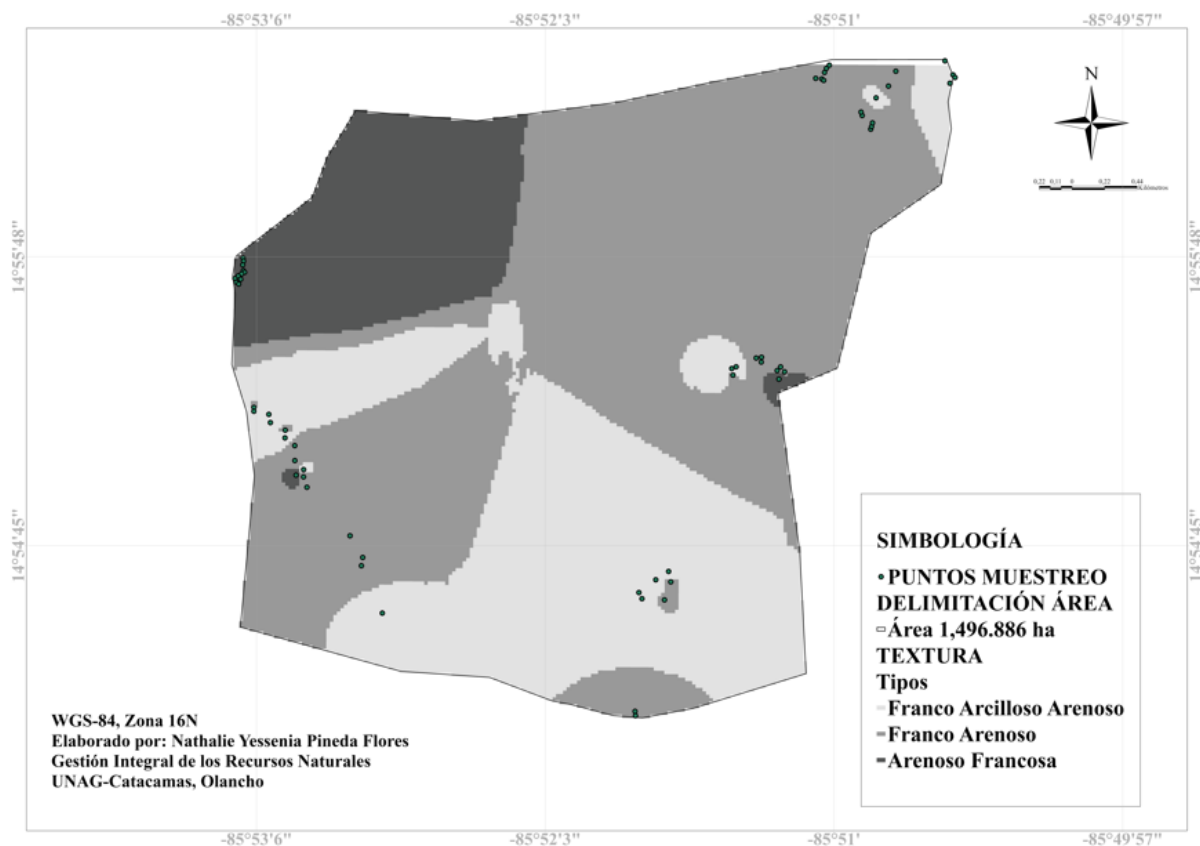


Figura 9. Mapa de textura de los suelos de la Microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Fuente: Elaboración propia. (2025) (n=65).

5.9 Análisis descriptivo de las diferentes variables de los suelos obtenidas de la Microcuenca del Río Talgua

El análisis estadístico de las variables del suelo evaluadas en la microcuenca del Río Talgua (Tabla 1), revela una variedad en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. La textura muestra un predominio de la fracción arenosa 69.75 %, Lo que indica la presencia de suelos franco arenosos con buena aireación, pero menor capacidad de retención de agua y nutrientes. (Margareth Jaurixje et al, 2013). Las fracciones de arcilla y limo, con medias que

son similares 15 %, presentan una variabilidad moderada, indicando diferencias naturales en la formación y composición de los suelos. (Vásquez, 2010). El contenido de humedad y materia orgánica también muestran una amplia dispersión entre sitios, reflejando condiciones edáficas diversas dentro de la microcuenca, posiblemente asociadas a variaciones en altitud o cobertura vegetal. (Jose Mogollón et al, 2015).

En cuanto a los indicadores químicos y biológicos, el pH se mantiene en un rango levemente ácido media de 6.67, adecuado para la actividad microbiana. (Cesar Ciocco et al, 2014) La respiración basal del suelo, principal indicador biológico del estudio, mostró una media de 302.41 mg C-CO₂/kg/día con un coeficiente de varianza alto CV = 0.72, evidenciando diferencias marcadas en la actividad microbiana. Estas diferencias pueden estar influenciadas por la materia orgánica disponible, la humedad y las condiciones texturales, lo que respalda su uso como indicador sensible de la salud del suelo en ecosistemas naturales no intervenidos. (Cesar Ciocco et al, 2014).

Tabla 1. Análisis descriptivo de las diferentes variables del suelo obtenidas de la Microcuenca del Río Talgua (n=65). Elaboración propia (2025).

Variable	Media	DS	CV	min	max	rango	ES	LI	LS
Arcilla	15.09	5.18	0.34	40.40	30.00	25.60	0.64	13.80	16.37
Arena	69.75	6.64	0.10	56.00	84.00	28.00	0.82	68.10	71.39
CO	4.97	2.60	0.52	1.21	15.70	14.49	0.32	4.33	5.61
Humedad	41.52	18.28	0.44	3.92	72.90	68.98	2.27	36.99	46.05
Limo	15.12	4.48	0.30	6.80	27.20	20.40	0.56	14.01	16.23
MO	8.47	4.53	0.54	2.08	27.02	24.94	0.56	7.34	9.59
N	0.43	0.23	0.52	0.10	1.35	1.25	0.03	0.37	0.49
pH	6.67	0.85	0.13	4.65	8.09	3.44	0.11	6.46	6.88
RB	302.4	216.88	0.72	63.64	891.78	828.14	26.90	248.6	356.1

DS: desviación estándar; **CV:** coeficiente de variación; **ES:** error estándar; **LI:** Límite inferior; **LS:** Límite superior; **CO:** Carbono Orgánico; **MO:** Materia Orgánica; **N:** Nitrógeno, **RB:** Respiración Basal.

5.10 Correlación entre las variables edáficas en los suelos de la microcuenca del Río Talgua

La matriz de correlación de Pearson (Figura 10) permite identificar la relación entre las variables edáficas evaluadas en los suelos de la microcuenca del Río Talgua. La respiración basal mostró correlaciones positivas con la humedad ($r = 0.54$; $p = 2.87 \times 10^{-6}$), el carbono orgánico ($r = 0.56$; $p = 1.56 \times 10^{-6}$) y con el contenido de Arena ($r = 0.40$; $p = 0.014$) lo que podría asegurar que a mayor contenido de estos elementos, mayor respiración basal del suelo. Estos resultados están en armonía con la literatura, ya que estos factores favorecen la descomposición de la materia orgánica y por tanto la liberación de CO_2 . (Correa, 2020)

En contraste, la arcilla y el limo no presentaron correlaciones significativas con la respiración basal ($r = -0.06$; $p = 0.661$ y $r = -0.04$; $p = 0.737$) lo que indica que no existe evidencia estadística suficiente para considerar que estas fracciones afectan directamente la actividad microbiana (FAO, 2006). El pH no presentó una correlación significativa con ninguna variable, lo que sugiere que dentro del rango evaluado el pH es un factor que no afecta directamente la actividad microbiana en estos suelos, estos resultados reafirman que la respiración basal es un buen indicador de la salud del suelo, y que dependen en gran medida del contenido de materia orgánica y la humedad. (Correa, 2020)

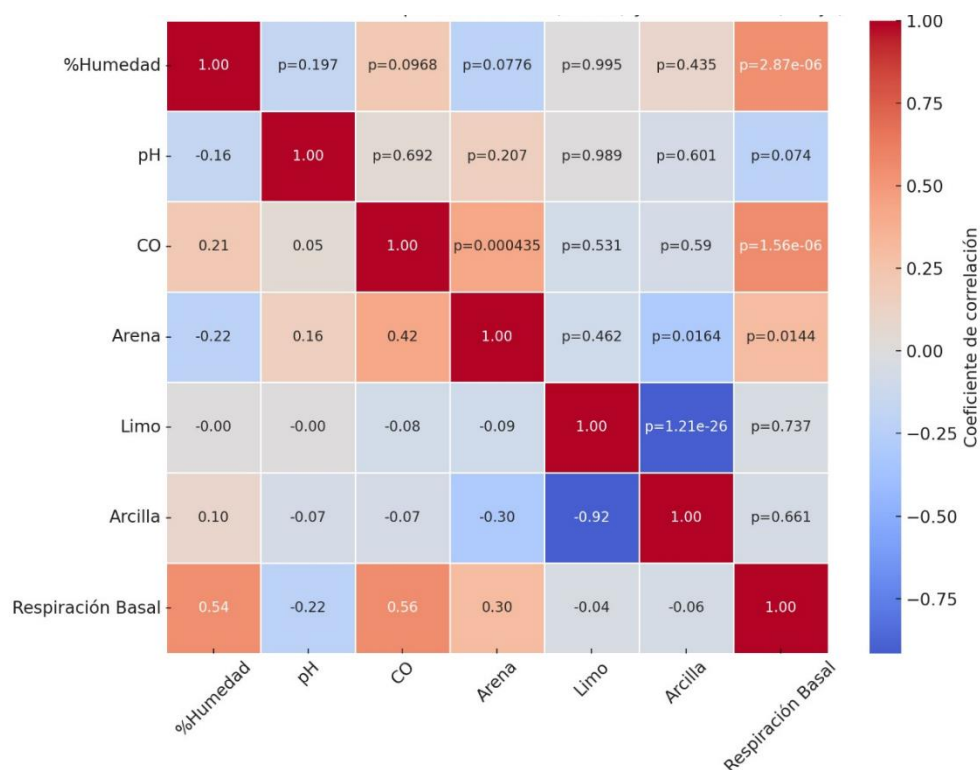


Figura 10. Análisis de Correlación de Pearson para las variables de suelo obtenida en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras (n= 65). Elaboración propia (2025).

5.11 Análisis de agrupamiento jerárquico de las muestras de suelo según variables edáficas

El dendrograma mostrado en la Figura 11, permitió clasificar las muestras de los suelos de la microcuenca del Río Talgua en función de su similitud edáfica. El análisis reveló la formación de dos grupos bien definidos representados en colores verde y azul, lo que indica la presencia de dos tipos de suelos claramente diferenciados dentro del área de estudio. Esta agrupación facilitó la identificación de patrones de similitud entre las muestras considerando variables como la respiración basal, la humedad, el contenido de materia orgánica, el pH y la textura, esto muestra que, aunque el ecosistema no haya sido intervenido sí existen diferencias en cómo está compuesto el suelo y en cómo funciona.

Cada agrupación contiene muestras con características similares entre sí, pero distintas a las del otro grupo. Este tipo de análisis ofrece una visión más integral del comportamiento del suelo en su estado natural y resalta la importancia de reconocer la presencia de zonas diferenciadas. Al analizar el dendrograma (Figura 11), el grupo verde está conformado principalmente por suelos con mayor contenido de arena, mayor porcentaje de materia orgánica y una humedad adecuada, por otro lado, el grupo azul agrupa suelos con mayor proporción de arcilla y niveles más altos de materia orgánica. Esto demuestra que en la microcuenca no todos los suelos se comportan igual pues algunos destacan por su ligereza y aireación, mientras que otros lo hacen por su capacidad de retener humedad y nutrientes, una diversidad que resulta fundamental para planificar acciones de manejo sostenible. (Lozano, 2020)

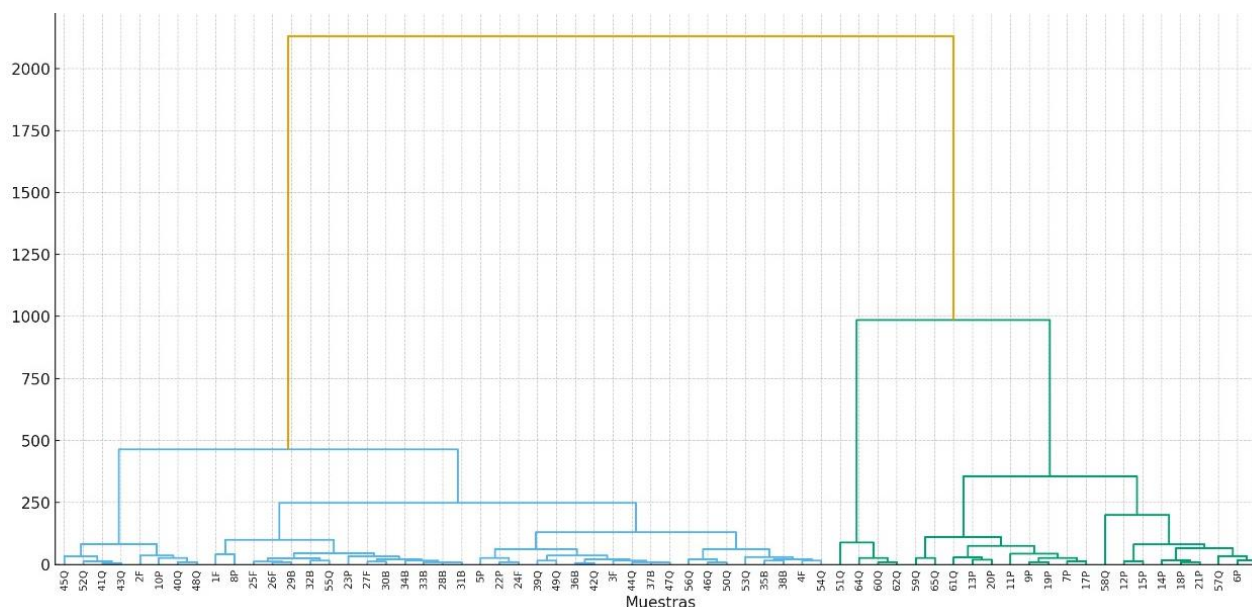


Figura 11. Dendrograma resultante del análisis de clúster jerárquico de las muestras de suelo según sus variables edáficas de la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Cada letra indica la comunidad de procedencia: Q = Quebrada de Agua, P = Pinabetal, F = Flor del Café y B = Buena Vista. (n=65). Elaboración propia (2025).

5.12 Análisis multivariado de las propiedades edáficas del suelo mediante componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) representado en la figura 12, permitió resumir y visualizar cómo las propiedades físicas y químicas del suelo explican la variabilidad entre las muestras de la microcuenca del Río Talgua. El Panel A muestra un biplot donde las muestras están distribuidas según sus valores en los dos primeros componentes principales CP1 y CP2, los cuales explican juntos el 62.6 % de la variación total. El Panel B confirma que los tres primeros componentes explican la mayor parte de la variación del sistema (35.3 % CP1, 27.3 % CP2 y 15.3 % CP3), sumando un total de 79.9 %, lo cual valida el enfoque del análisis (Conforto, 2012). Finalmente, el Panel C muestra qué variables aportan más información a cada componente

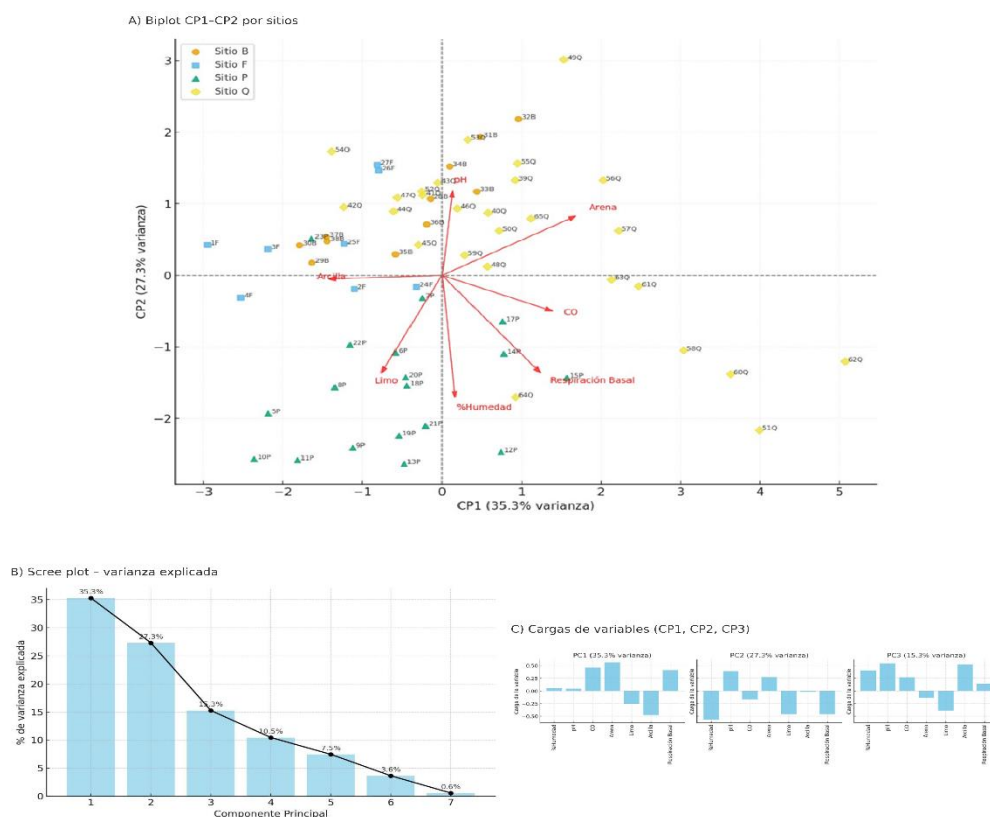


Figura 12. ACP de propiedades edáficas en la microcuenca del Río Talgua. A) Muestras en CP1 vs. CP2. B) Varianza explicada. C) Carga de variables en los tres primeros componentes. Cada letra indica la comunidad de procedencia: Q = Quebrada de Agua, P = Pinabetal, F = Flor del Café y B = Buena Vista. (n=65). Elaboración propia (2025).

5.12.1 Relación entre propiedades físico-químicas del suelo mediante análisis de componentes principales CP1 vs CP2

En la Figura 13 se presenta el gráfico de componentes principales CP1 vs. CP2, que explica el 62.6 % de la variabilidad total de los datos 35.3 % en CP1 y 27.3 % en CP2, permite identificar los patrones de asociación entre las propiedades físicoquímicas del suelo en la microcuenca del Río Talgua. Las variables relacionadas con la actividad biológica del suelo, como la respiración basal, el contenido de carbono y humedad, se agrupan en el cuadrante superior derecho, mostrando una fuerte asociación positiva con el CP1. Esta concentración indica que dichas propiedades están estrechamente vinculadas y pueden estar actuando de forma conjunta para promover la actividad microbiana (Doran, 2000).

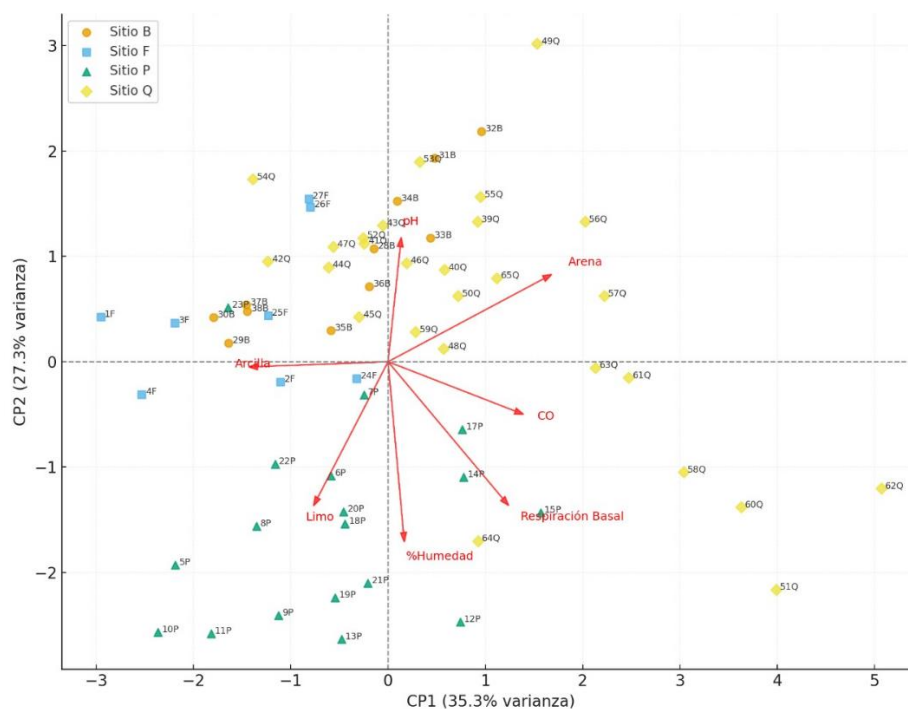


Figura 13. Biplot del análisis de componentes principales (ACP) entre CP1 y CP2, mostrando la asociación entre muestras y propiedades físico-químicas del suelo en la microcuenca del Río Talgua. Cada letra indica la comunidad de procedencia: Q = Quebrada de Agua, P = Pinabetal, F = Flor del Café y B = Buena Vista. Elaboración propia (2025).

En comparación con las variables como la arcilla y el limo se proyectan hacia la izquierda del gráfico lo que sugiere una relación contraria con los indicadores de calidad biológica del suelo. Esta oposición podría deberse a que suelos con mayor contenido de arcilla o mayor acidez limitan la disponibilidad de oxígeno o nutrientes esenciales, afectando negativamente los procesos biológicos (Geisseler, 2022). Además, la distribución de las muestras señala que la mayoría se concentra en los dos cuadrantes inferiores, indicando condiciones edáficas similares entre sitios mientras que algunas muestras como la 51, 58, 60 y 62 que están ubicadas en la parte de Quebrada de agua y se alejan del núcleo, reflejando características particulares que podrían estar relacionadas con un mayor contenido orgánico o una textura más arenosa. Esta variación edáfica sugiere que la calidad del suelo en la microcuenca está determinada por la interacción entre la textura, la disponibilidad de humedad y los contenidos orgánicos. (Luo, 2021)

5.12.2 Contribución de las variables edáficas a los tres primeros componentes principales CP1, CP2 y CP3

Como se observa en la Figura 14, las distintas propiedades edáficas contribuyen a los tres primeros componentes principales del análisis multivariado. En CP1 en donde sus variables con mayor peso son el carbono orgánico, arena, respiración basal, indicando que este componente representa procesos ligados a la fertilidad biológica del suelo, especialmente aquellos asociados a la actividad microbiana (Díaz, 2015).

Para el CP2, destacan la humedad y el pH además de contribuciones de arena y limo, lo cual sugiere que este eje está fuertemente relacionado con las propiedades físicas del suelo, especialmente aquellas que afectan la retención de agua y la aireación del perfil, condiciones fundamentales para el desarrollo biológico del ecosistema edáfico (Geisseler, 2022). En el caso del CP3, destacan la arcilla y el pH como variables determinantes, lo que indica que este componente está influenciado por la textura fina y la reactividad química del suelo, especialmente por la capacidad de intercambio y retención de nutrientes. Este análisis reafirma que la variabilidad edáfica observada en la microcuenca del Río Talgua es producto de una interacción compleja entre factores físicos, químicos y biológicos (Conforto, 2012).

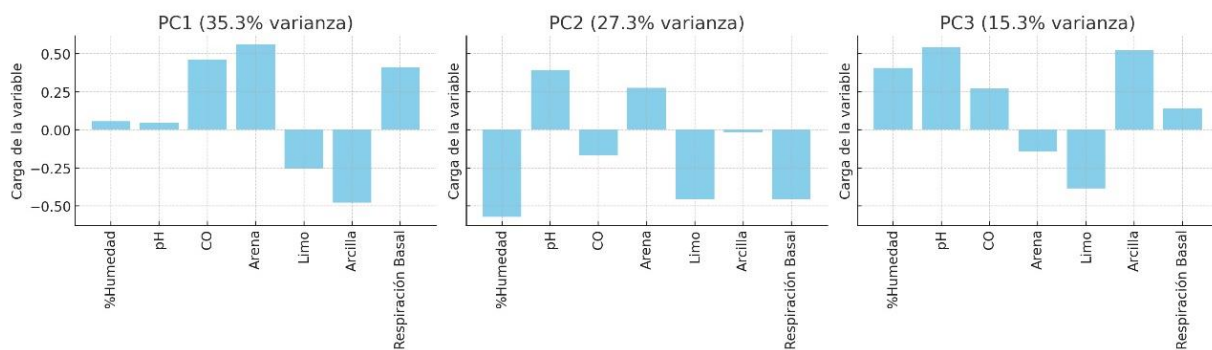


Figura 14. Contribución porcentual de las propiedades fisicoquímicas del suelo a los tres primeros componentes principales CP1, CP2 y CP3, según el análisis de componentes principales realizado en la microcuenca del Río Tagua. Elaboración propia (2025).

5.13 Análisis estadístico descriptivo de la respiración basal del suelo

Para establecer un punto de partida en la interpretación de la respiración basal del suelo en la microcuenca del Río Tagua, se realizó un análisis estadístico descriptivo a partir de 194 datos obtenidos mediante tres repeticiones por cada una de las 65 muestras, tomadas exclusivamente en áreas sin intervención humana. Esta estrategia buscó garantizar precisión y confiabilidad en la estimación de los valores reales de actividad microbiana del suelo.

Los valores registrados oscilaron entre un mínimo de 40.91 y un máximo de 968.91 mg CO₂-C/kg de suelo por día, con una media aritmética de 303.46 mg y una mediana de 207.22 mg (Tabla 2). La desviación estándar fue de 222.31, indicando una elevada dispersión entre los datos. La diferencia entre la media y la mediana revela una asimetría positiva, reforzada por la presencia de valores atípicos por encima de 800 mg CO₂-C/kg de suelo, que podrían corresponder a sitios con condiciones edáficas especialmente favorables para la actividad biológica. (López, 2010)

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la respiración basal del suelo (mg CO₂-C/kg/día) en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras (n = 194). Elaboración propia (2025).

Estadístico	Valor
N (muestras)	194
Mínimo	40,91
1er Cuartil (Q1)	128,11
Mediana (Q2)	207,22
3er Cuartil (Q3)	453,61
Máximo	968,91
Media	303,46
Desviación estándar	222,31

5.13.1 Distribución de frecuencias y comportamiento estadístico de los datos

El análisis de la distribución de los datos de respiración basal, representado mediante un histograma con curva de densidad (Figura 15), revela una tendencia claramente asimétrica hacia valores altos. Esto significa que la mayoría de los suelos evaluados presentan niveles bajos a moderados de actividad microbiana, mientras que solo un número reducido, muestra valores muy elevados. Esta forma asimétrica es típica en estudios de suelos naturales, donde la heterogeneidad ambiental influye en los procesos biológicos del suelo (Bastida, 2008).

La presencia de valores extremos por encima de los 800 mg CO₂-C/kg/día sugiere que ciertos sitios poseen condiciones particularmente favorables para la actividad microbiana, como acumulación de materia orgánica o microclimas húmedos. Dado que los datos no siguen una distribución normal, el uso de medidas como la mediana y los cuartiles resulta más apropiado para establecer rangos de referencia, tal como proponen enfoques en suelos no intervenidos. Esta aproximación permite interpretar con mayor precisión el comportamiento ecológico del suelo en la microcuenca. (Ruiz, 2017).

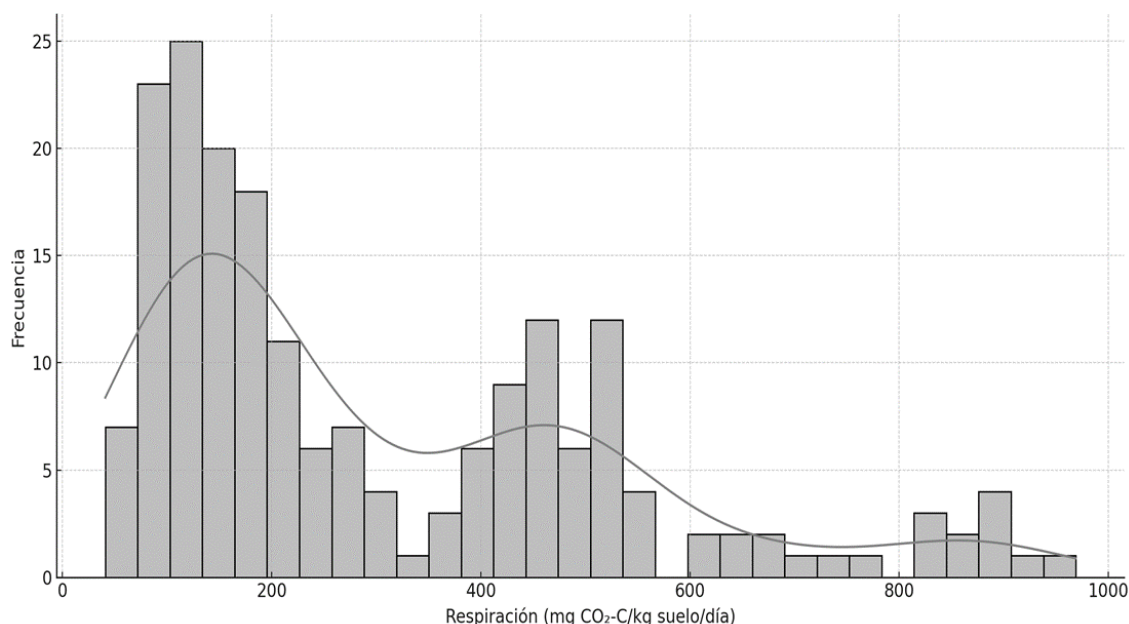


Figura 15. Histograma de frecuencias con curva de densidad para los valores de respiración basal del suelo ($n = 194$) en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Honduras. Elaboración propia (2025).

5.13.2 Determinación de valores de referencia mediante análisis por cuartiles

Para establecer valores de referencia de la respiración basal del suelo, se utilizó un enfoque basado en cuartiles, esta estrategia permitió clasificar los datos sin necesidad de asumir una distribución normal, lo cual es ideal para datos con alta variabilidad y presencia de valores extremos. Los rangos definidos fueron: Bajo < 128.11 mg $\text{CO}_2\text{-C/kg/día}$, Medio 128.11 a 453.61 mg $\text{CO}_2\text{-C/kg/día}$, y Alto > 453.61 mg $\text{CO}_2\text{-C/kg/día}$, en función del primer y tercer cuartil. Dividir los datos en rangos definidos por cuartiles permitió comprender de forma más sencilla cómo varía la respiración basal en la microcuenca. Aunque todos los suelos analizados son naturales, no todos tienen el mismo nivel de actividad biológica (Ruiz, 2017).

5.13.3 Interpretación ecológica de los rangos establecidos

Con base en los resultados obtenidos y el análisis por cuartiles, se definieron cinco rangos ecológicos para interpretar la respiración basal del suelo en términos de su funcionamiento biológico. Estos rangos son: muy baja < 100 mg CO₂-C/kg/día, baja 100–200 100 mg CO₂-C/kg/día, media 201–450 100 mg CO₂-C/kg/día, alta 451–700 100 mg CO₂-C/kg/día y muy alta > 700 100 mg CO₂-C/kg/día. Cada categoría tiene un significado ecológico que permite entender el nivel de actividad microbiana y, por tanto, la vitalidad del suelo.

Tabla 3. Rangos de respiración basal del suelo e interpretación ecológica en la microcuenca del Río Talgua, Olancho, Homduras, (n = 194). Elaboración propia (2025).

Clase ecológica	Rango de respiración (mg CO ₂ -C/kg/día)	Interpretación ecológica
Muy baja	< 100	Actividad microbiana extremadamente reducida; posible suelo degradado, pobre en MO.
Baja	100 – 200	Baja actividad microbiana; puede reflejar limitaciones por pH, humedad o MO escasa.
Media (óptima esperada)	201 – 450	Nivel típico en suelos bien estructurados, moderadamente fértiles y con equilibrio biológico.
Alta	451 – 700	Alta actividad biológica; buen contenido de materia orgánica y condiciones favorables.
Muy alta / Sobre activa	> 700	Suelo extremadamente activo, posiblemente enriquecido o en recuperación ecológica acelerada.

Estos niveles también sirven como guía para interpretar si un suelo está funcionando de manera saludable dentro de su contexto natural. En la microcuenca del Río Talgua, la mayoría de los datos se concentraron en los rangos medio y alto, lo cual es una señal positiva sobre el estado ecológico general de los suelos conservados. Sin embargo, también se observaron algunos valores extremos muy bajos o muy altos que podrían indicar condiciones particulares del sitio, Este tipo de clasificación, aunque sencilla, permite establecer referencias útiles para futuras comparaciones o para monitorear cambios en la calidad del suelo con el tiempo (Ruiz, 2017)

VI. CONCLUSIONES

- La respiración basal del suelo en la microcuenca del Río Talgua presentó valores que oscilaron entre 63.64 mg C-CO₂/kg/día, correspondiente al valor más bajo, y 891.78 mg C-CO₂/kg/día, que representa el valor más alto. Estos resultados confirman que incluso en suelos no intervenidos existen diferencias naturales en la actividad biológica.
- Se identificó que la materia orgánica, el carbono orgánico, el nitrógeno, la humedad del suelo y un mayor contenido de arena influyen positivamente en la respiración basal. Por el contrario, los suelos con mayor contenido de arcilla redujeron esta actividad, esto confirma que las propiedades físicas y químicas están estrechamente ligadas al funcionamiento biológico del suelo.
- Las comunidades de Quebrada de Agua y Pinabetal registraron los niveles más altos de respiración basal, resultado asociado a su alto contenido de materia orgánica y a un pH en rangos favorables para la actividad microbiana, mientras que en Buena Vista y Flor del Café presentaron menor actividad biológica, coincidiendo que son suelos más ácidos y con menor contenido de materia orgánica lo que limita el desarrollo de los microorganismos.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los valores obtenidos en este estudio se usen como referencia para comparar con suelos que sí han sido intervenidos o degradados. De esta forma, se puede saber qué tanto han cambiado y si necesitan acciones de recuperación.
- Es importante seguir protegiendo las áreas de la microcuenca que aún están bien conservadas. Estos suelos tienen un valor enorme porque están vivos, funcionan bien y todavía no han sido dañados.
- Para futuras investigaciones se recomienda que incluyan otras propiedades del suelo, como la compactación o la diversidad de microorganismos y la cobertura vegetal, para tener una visión más completa del funcionamiento del suelo en su estado natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agrotey. (24 de Mayo de 2024). Cómo afecta la compactación del suelo a la agricultura: causas, impactos y soluciones para productores mexicanos. Obtenido de <https://www.agrotey.com.mx/como-afecta-la-compactacion-del-suelo-a-la-agricultura/#:~:text=Uso%20de%20maquinaria%20pesada,superficie%20como%20capas%20m%C3%A1s%20profundas>.
- Alvarez, J. W., Gomez, E. J., & Rojas, D. A. (2020). Compactación del suelo y su efecto en el crecimiento vegetativo de soja, maíz y guandú. *Universidad Nacional de Asunción*, 22, 13-21. Obtenido de <http://scielo.iics.una.py/pdf/ia/v22n1/2305-0683-ia-22-01-13.pdf>
- America, Soil Science Society of. (1996). Methods of Soil Analysis: Part 3. *Chemical Methods*, 487-488. Obtenido de https://www.google.hn/books/edition/Methods_of_Soil_Analysis_Part_3/_oDWDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=%E2%80%A2+SSSA.+1996.+Methods+of+Soil+Analysis+Part+3+%E2%80%93+Chemical+Methods,+pag.+487-488&printsec=frontcover
- Aruani, M. (2006). CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DE UN SUELO FRANCO BAJO PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE MANZANO UTILIZANDO COBERTURAS VEGETALES. *Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias*. Obtenido de <https://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v24n2/v24n2a05.pdf>
- Asociación Costarricense de la ciencia del suelo. (2022). Importancia del suelo. *Asociación Costarricense de la ciencia del suelo*. Obtenido de <https://sueloscr.com/importancia-del-suelo/>
- Bastida, F. (31 de Octubre de 2008). Pasado, presente y futuro de los índices de calidad del suelo: una perspectiva biológica. *Geoderma*, 147(3 y 4), 159-171. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706108002310?via%3Dihub>
- Carvajal, M. (2010). INVESTIGACIÓN SOBRE LA ABSORCIÓN DE CO₂ POR LOS CULTIVOS MÁS REPRESENTATIVOS. *Consejo Superior de Investigaciones*

- Científicas* (CSIC). Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3596/1/219852.pdf>
- Cervantes Martínez, J., Orihuela Equihua, R., & Rutiaga Quiñones, J. G. (2017). Acerca del Desarrollo y Control de Microorganismos en la Fabricación de Papel. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/944/94454631001/html/#redalyc_94454631001_ref13
- Conforto, C. (2012). Influencia de la fertilización inorgánica sobre la actividad microbiana. *Convenio de Vinculación tecnológicas*. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F4A4F639EB835CEF85257AC5006D6E33/\\$FILE/18.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F4A4F639EB835CEF85257AC5006D6E33/$FILE/18.pdf)
- Corral, A. L., Flores, M. I., Téllez, R. M., Bustillos, C. C., & Hernández, R. B. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. En *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo* (Vol. 34, págs. 441-456). Mexico: Terra Latinoamericana. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57347465006.pdf>
- Correa, C. R. (2020). DINÁMICA DE LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS. *Sociedad Colombiana de las ciencias del suelo*. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-DINAMICADELADESCOMPOSICIONDERESIDUOSORGANICOS-7831540.pdf>
- Cotler. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*(83), 5-71. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53908302.pdf>
- Cruz Sánchez, Y., López-Teloxa, L. C., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, A. I. (2021). Respiración del suelo en un bosque templado de México y su relación con el carbono orgánico. *Madera y bosque*, 27(2).
- Di Ciocco, C. A., Sandler, R. V., Falco, L. B., & Coviella. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(1), 73-85. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837657006.pdf>
- Díaz, J. D. (2015). IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS REGÍMENES DE TEMPERATURA DEL SUELO EN MÉXICO. *Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México*. Obtenido de <https://aeclim.org/wp-content/uploads/2019/07/783-G%C3%93MEZ-D%C3%8DAZ.pdf>

- Díaz, M. I., Silva, I. C., Rodríguez, H. G., & Meza, M. V. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(42). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322017000400123&script=sci_arttext#aff2
- Doran, J. (Agosto de 2000). Salud y sostenibilidad del suelo: gestión del componente biótico de la calidad del suelo. *sciencedirect*, 15(1), 3-11. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139300000676?via%3Dihub>
- EGC. (20 de Diciembre de 2023). Tabla de interpretación de análisis de suelo para optimizar tu cultivo. *EGC consulting*. Obtenido de <https://egcconsulting.net/tabla-de-interpretacion-de-analisis-de-suelo-para-optimizar-tu-cultivo/>
- FAO. (2002). CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA. *ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d8b7252e-03c2-4116-8b6c-ebd5ca3c9662/content>
- FAO. (2006). TEXTURAS DE SUELO. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2015). Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/#:~:text=El%20suelo%20es%20un%20componente,y%20nutrientes%20a%20los%20árboles.
- FAO. (2015). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/706a2db1-277d-4221-b955-e0a9726575b7/content>
- FAO. (2017). CARBONO ORGANICO DEL SUELO. *ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e5e1fa9-ef55-4198-9160->

fa580483f991/content#:~:text=El%20suelo%20es%20una%20importante,de%20efecto%20invernadero%20(GEI).

- FAO. (2021). Mapeo de suelos afectados por salinidad - Manual tecnico. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bd007ae9-18ef-4f5e-abd3-6194eb8a8100/content>
- FAO. (2021). Recomendaciones para la solicitud e interpretación de análisis de suelos. *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/LAC_Webinar/Suelos-LAC_LATSOLAN_9_6_M_O.pdf
- FAO. (2023). *PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS*. Obtenido de https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/zh/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-701-45%252FFinal%252520Report%252520CAC45%252FREP22_CACs.pdf
- FAO. (2024). La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro. *La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/1127957/>
- Galloza, D. A., & Ponce, L. P. (2020). Prácticas insostenibles en la biota del suelo a partir del manejo y sistemas agrícolas. *Universidad Privada del Norte*. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27446/Galloza%20Romero%20Diego%20Alonso_Ponce%20Gamboa%20Lizbeth%20Paola.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garciglia, R. S. (2014). Deforestación. *U.M.S.N.H.* Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-Deforestacion-4761345.pdf>
- Geisseler, D. (2022). Salud de suelos. Características y descripción de indicadores. *UCDAVIS*. Obtenido de <https://www.plataformaextension.cl/archivos/2022/11/Salud-de-Suelos-Caracteristicas-e-Indicadores.pdf>
- Ibañez, J. J. (2006). Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo. *Biología y Ecología del Suelo, Componentes, Estructuras y Procesos en los Suelos, La*

- Calidad y Las Funciones del Suelo*. Obtenido de madrimasd.org/blogs/universo/2006/04/04/17409
- Intragi. (Junio de 2018). La Salud del Suelo. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-salud-del-suelo>
- Irazoque, A. A., & Galvarro, S. (2015). Lineamientos técnicos para una ley de conservación de suelos para la República de Honduras. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3eddd55d-006e-4ea8-aaa9-01d5939107d9/content>
- Jaurixje, M., Torres, D., & Mendoza, B. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25. Obtenido de ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000100006
- Jesús, M. A., Orosco, L. E., & Cortés, J. C. (Agosto de 2019). MANUAL DE CAMPO Y LABORATORIO DE EDAFOLOGÍA. *Universidad Michoacana de San Nicola de Higoaldo*. Obtenido de <https://www.studocu.com/es/document/universidad-politecnica-de-madrid/geologia-y-edafologia/manual-edafologia-2019/9231497>
- Jimenez, R. (2014). El suelo como recuso natural. *Punto Focal Costa Rica Alianza Mundial por el Suelos*. Obtenido de <http://mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/suelo-como-recurso-natural.pdf>
- Kantlen, D. (2021). Variaciones del flujo de CO2 en función de los usos del suelo: Comparación entre un pastizal naturalizado y una plantación de Pinus radiata en los alrededores de la ciudad de Tandil. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Trabajo%20Final%20-%20Kantlen.pdf>
- Klute. (1986). Methods of Soil Analysis. Number 9 parte 1 Physical and Mineralogical Methods Second Edition. *Madison, Wisconsin*, 404-408.
- López, A. J. (2010). Edafología: Conceptos básicos sobre los suelos y su manejo. *Instituto Nacional de Formación Docente*. Obtenido de https://ens9004-infnd.mendoza.edu.ar/sitio/geologia-goemorfologia/upload/04-_JORDAN_LOPEZ.pdf?utm_source=chatgpt.com

- Lozano, R. &. (2020). Estudio de la variabilidad espacial de suelos en ecosistemas tropicales. *Revista Latinoamericana de Suelos. Redalyc*, 45–59. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57365243004>
- Luis, I. E., Matellanes, M. G., Urdiales, A. A., & Palao, A. M. (2003). INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE AEROBIOS TOTALES. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Obtenido de https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p361-366.pdf
- Luo, Z. (2021). Importancia similar de los factores edáficos y climáticos para controlar las reservas de carbono orgánico del suelo del mundo. *18*(6), 2063–2073. Obtenido de <https://bg.copernicus.org/articles/18/2063/2021/>
- Martínez, K. A. (2015). Influencia de la fertilización en la actividad microbiana del suelo y su relación con la disponibilidad de nutrientes en un sistema de cultivo. *Universidad Autónoma Chapingo, México*. Obtenido de <https://repositorio.chapingo.edu.mx/bitstream/handle/20.500.12098/457/chapingo2015a7.pdf>
- Montatixe Sánchez, C. I., & Eche Enríquez, M. D. (2021). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Pillaro. *Siembra*, 8. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6538/653868374001/653868374001.pdf>
- Morales, C. N., & Gutiérrez, F. A. (2011). DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA COMO INDICADOR BIOLÓGICO EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL OCCIDENTE DE NICARAGUA. *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA - LEON*.
- Ortigoza, A. L. (2019). Características de la actividad enzimática y el humus en suelos de chinampa. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 339-349. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/573/57363023003/html/#:~:text=En%20las%20chinampas%2C%20deben%20existir,con%20los%20procesos%20de%20humificaci%C3%B3n>

- Osorio, M. (2022). Suelos Caracterizacion e importancia. La Plata, Buenos Aires, Argentina: Puerto madero. Obtenido de <http://cimogsys.espoch.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>
- Otiniano, A., Florián, L., & Sevillano, R. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Scielo*, 24(1), 41-61. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009
- Pardo, Y. J. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262019000100319
- Pastor Mogollón, J., Rivas, W., Martínez, A., Campos, Y., & Márquez, E. (Julio-Septiembre de 2015). Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias*, 15(3), 271-280. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/904/90444727005.pdf>
- PSE. (2023). Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos. *Penn State Extension* . Obtenido de <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>
- Quiroga, A., & Galatine, J. (2017). La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/333996668_La_materia_organica_como_indicador_de_cambios_en_la_calidad_de_los_suelos_influenciados_por_el_manejo?enrichId=rgreq-2b7fdeb15e9272e279ae8da5340c8101-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMzk5NjY2ODtBUzo3NzM2N
- Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Scielo*, 35(2).
- Raudes, M. (2009). Manual Conservación de Suelos. *Escuela Agrícola Panamericana*. Obtenido de https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conseervacion_de_Suelos..pdf

- Reyes, F. (2011). Efecto de la exposición y la toposecuencia sobre actividades biológicas del suelo en bosque relicto del centro-sur de Chile. *Universidad de La Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Departamento de Ciencias Forestales, Temuco, Chile*. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v32n3/art07.pdf>
- RodaleInstitute. (2024). Salud del suelo. *Rodale Institute*. Obtenido de <https://rodaleinstitute.org/es/why-organic/organic-farming-practices/soil-health/#:~:text=Suelo%20sano%20es%20aquel%20que,nematodos%20y%20otras%20criaturas%20diminutas>.
- Rucks, J. P. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. *Universidad de la Republica*. Obtenido de <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Ruiz, J. (2017). Establecimiento de rangos de referencia para propiedades biológicas del suelo en ecosistemas naturales. *Revista Centroamericana de Ciencias del Suelo*, 8–27. Obtenido de <https://revistas.unan.edu.ni/index.php/cienciassuelo/article/view/3914>
- Sánchez, G. C. (2013). Degradación de Suelos Agrícolas y el SIRSD-S. *ODEPA*. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>
- Sosa, S. I., & Zamora, F. U. (2006). Evaluación ecológico - hidrológica del plan de manejo de la Microcuenca del Río Talgua, Olancho. *Zamorano, Honduras*.
- Thompson. (1982). Los suelos y su fertilidad. *EDITORIAL REVERTÉ*. Obtenido de https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429190014_A41065802/preview-9788429190014_A41065802.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Ulibarry, P. G. (24 de Abril de 2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. *BIBLOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE*. Obtenido de <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186#:~:text=Los%20principales%20impactos%20de%20los,org%C3%A1nica%2C%20alteraci%C3%B3n%20de%20la%20vegetaci%C3%B3n>.
- USDA. (Agosto de 1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo. *Servicio de conservación de Recursos Naturales*.
- Vásquez, J. R. (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta*

- Agronómica*, 59(4), 449-456. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169920032009.pdf>
- Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo*, 43–71. Obtenido de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4203/1/cap3.pdf>
- Vega, R. C., Teloxa, L. C., Flores, J. V., Fleites, G. L., & Montalvo, A. C. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *Investigación en Ciencias Agrícolas*, 229-235. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n3/2395-8030-tl-35-03-00229.pdf>
- Walkley, A: Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*. 29-38. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1782155>
- Zapata, R. (2018). CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS. *Universidad Nacional de Rosario*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>
- Zapata, Rodrigo. (2018). CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS. *Universidad Nacional de Rosario*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>