UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGIA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN SISTEMAS DE CULTIVO CON CACAO Y EN BOSQUE EN COMUNIDADES PERTENECIENTES AL CANTÓN CARLOS JULIO AROSEMENA TOLA, PROVINCIA DE NAPO, AMAZONÍA ECUATORIANA.

AUTOR:

Luz Margoth Huera Lucero

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Carlos Bravo Medina, PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGIA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN SISTEMAS DE CULTIVO CON CACAO Y EN BOSQUE EN COMUNIDADES PERTENECIENTES AL CANTÓN CARLOS JULIO AROSEMENA TOLA, PROVINCIA DE NAPO, AMAZONÍA ECUATORIANA.

AUTOR:

Luz Margoth Huera Lucero

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Carlos Bravo Medina, PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO **"Actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque en comunidades pertenecientes al Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana"**		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	De acuerdo.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	De acuerdo.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	De acuerdo.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	De acuerdo.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	14/15	Cumple en parte

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	Cumple en parte
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	De acuerdo.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	De acuerdo.
VALORACIÓN TOTAL	100	98/100

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	98/100

Atentamente,

Firmado digitalmente porJESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA
Fecha:2023-03-09 19:51+19:00

JESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA

Dado en la ciudad de Puyo, a los 09 días del mes de marzo de 2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	3/5	Hay detalles en los conectores
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	12/15	Cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	20/25	Cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple
VALORACIÓN TOTAL	90/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	90 noventa

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
EDGAR RUBEN CHICAIZA REISANCHO

Edgar Chicaiza R. Msc
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 09 días del mes de marzo de 2023.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE BIOLOGÍA

Puyo, 03 de marzo de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a la estudiante: Luz Margoth Huera Lucero, con C.I. 0402000467, con el Tema: "Actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque en comunidades pertenecientes al Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana", de la carrera de Biología, Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Dr Carlos Alfredo Bravo Medina PhD, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio OURIGINAL, reportando una similitud del 0 %. Informe generado con fecha 3 de marzo de 2023 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes
Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA

_____
Carlos Alfredo Bravo Medina
1757015373
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Document Information

Analyzed document	V2.Actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque en comunidades pertenecientes_Ouriginal.docx (D159952169)
Submitted	3/3/2023 3:34:00 AM
Submitted by	
Submitter email	cbravo@uea.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	cbravo.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **Tesis de Kevin 8 octubre de 2020(1).docx**
Document Tesis de Kevin 8 octubre de 2020(1).docx (D81047979) 1

Entire Document

Actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque en comunidades pertenecientes al Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología

Resumen

El recurso suelo es reconocido como el ecosistema que posee la mayor diversidad de organismos del planeta, sobre el cual prolifera la vida, sin embargo, a pesar de su importancia, los procesos de degradación provocados por la deforestación y el cambio de uso de la tierra continúan. El presente trabajo tuvo como objetivo, evaluar la actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque, en las comunidades: Bajo lla Capricho, Tzwata bajo, Tzawata alto y San Clemente del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola. Para ello se analizó la composición, abundancia y diversidad de la macro y meso fauna edáfica, así como, la determinación de parámetros como materia orgánica, carbono orgánico, respiración basal y biomasa en los diferentes usos de la tierra. A fin de analizar la fauna edáfica, se estimaron parámetros ecológicos como el índice de diversidad Shannon y de dominancia Simpson. Para determinar la macrofauna se procedió con el método TSBF, mientras que para meso fauna se empleó el método Embudo Berlese-Tullgren, los parámetros como materia orgánica y carbón orgánico se determinaron mediante calcinación, la respiración basal por el método de incubación y biomasa mediante simple secado. Los resultados muestran un total de 544 individuos pertenecientes a 21 especies para macrofauna y 1600 individuos pertenecientes a 17 especies de meso fauna, con mayor abundancia en el uso con bosque. Los índices de biodiversidad, así como la respiración basal fue superior en el uso con bosque en comparación con los usos con cacao agroforestal, lo cual está asociado a una mayor cantidad de biomasa y de materia orgánica en el suelo. Los parámetros evaluados demostraron que la actividad biológica del suelo se encuentra en constante cambio debido a diversos factores naturales, pero en mayor medida se ven afectados por actividades antropogénicas.

Palabras Clave: Recurso suelo, fauna edáfica, indicadores biológicos, uso de la tierra. Abstract

Actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque en comunidades pertenecientes al Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana

Luz Huera Lucero[1]
lm.hueral@uea.edu.ec

Dr. Carlos Bravo Medina, PhD[2]
cbravo@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología

Resumen

El recurso suelo es reconocido como el ecosistema que posee la mayor diversidad de organismos del planeta, sobre el cual prolifera la vida, sin embargo, a pesar de su importancia, los procesos de degradación provocados por la deforestación y el cambio de uso de la tierra continúan. El presente trabajo tuvo como objetivo, evaluar la actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque, en las comunidades: Bajo Ila Capricho, Tzwata bajo, Tzawata alto y San Clemente del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola. Para ello se analizó la composición, abundancia y diversidad de la macro y meso fauna edáfica, así como, la determinación de parámetros como materia orgánica, carbono orgánico, respiración basal y biomasa en los diferentes usos de la tierra. A fin de analizar la fauna edáfica, se estimaron parámetros ecológicos como el índice de diversidad Shannon y de dominancia Simpson. Para determinar la macrofauna se procedió con el método TSBF, mientras que para meso fauna se empleó el método Embudo Berlese-Tullgren, los parámetros como materia orgánica y carbón orgánico se determinaron mediante calcinación, la respiración basal por el método de incubación y biomasa mediante simple secado. Los resultados muestran un total de 544 individuos pertenecientes a 21 especies para macrofauna y 1600 individuos pertenecientes a 17 especies de meso fauna, con mayor abundancia en el uso con bosque. Los índices de biodiversidad, así como la respiración basal fue superior en el uso con bosque en comparación con los usos con cacao agroforestal, lo cual está asociado a una mayor cantidad de biomasa y de materia orgánica en el suelo. Los parámetros evaluados demostraron que la actividad biológica del suelo se encuentra en constante cambio debido a diversos factores naturales, pero en mayor medida se ven afectados por actividades antropogénicas.

Palabras Clave: Recurso suelo, fauna edáfica, indicadores biológicos, uso de la tierra.

Abstract

The soil resource is recognized as the ecosystem that has the greatest diversity of organisms on the planet, on which life proliferates, however, despite its importance, the degradation processes caused by deforestation and land use change continue. The present work had as objective, to evaluate the biological activity in cultivation systems with cocoa and in forest, in the communities: Bajo Ila Capricho, Tzwata bajo, Tzawata alto and San Clemente of the Canton Carlos Julio Arosemena Tola. For this, the composition, abundance and diversity of the edaphic macro and mesofauna were analyzed, as well as the determination of parameters such as organic matter, organic carbon, basal respiration and biomass in the different land uses. In order to analyze the edaphic fauna, ecological parameters such as the Shannon diversity index and Simpson dominance index were estimated. To determine the macrofauna, the TSBF method was used, while for mesofauna the Berlese-Tullgren Funnel method was used, parameters such as organic matter and organic carbon were determined by calcination, basal respiration by the incubation method, and biomass by simple drying. The results show a total of 544 individuals belonging to 21 species for macrofauna and 1600 individuals belonging to 17 species of mesofauna, with greater abundance in the use with forest. Biodiversity indices, as well as basal respiration, were higher in the use with forest compared to the uses with agroforestry cocoa, which is associated with a greater amount of biomass and organic matter in the soil. The parameters evaluated showed that the biological activity of the soil is constantly changing due to various natural factors, but to a greater extent they are affected by anthropogenic activities.

Keywords*:* Soil resource, edaphic fauna, biological indicators, land use.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca Amazónica considerada como el pulmón del planeta, cumple importantes funciones ecológicas como regulador del clima y sumidero de los gases de efecto invernadero, sin dejar de lado la gran biodiversidad que alberga tanto en la superficie como en el medio terrestre (Veyrunes, 2008; Huera-Lucero et al., 2020).

El recurso suelo es reconocido como un sistema dinámico y complejo (Cruz et al., 2004), por ello su estudio ha tomado mayor importancia en los últimos tiempos, debido a las funciones ambientales que provee, como: fuente de nutrientes para plantas, almacén de materia orgánica (MO), sustento para el desarrollo de todos los ecosistemas, entre otros (Silva & Correa, 2009), en tal sentido, Moreira et al., (2012) reconoce al suelo como el hábitat de una gran variedad de organismos y los clasifica de acuerdo al ancho del cuerpo: macrofauna > 2.0 mm; meso fauna 0.1 – 2.0 mm; y microfauna < 0,1 mm, así como lo manifiestan (Huera-Lucero et al., 2020), estos pueblan todos los horizontes del suelo, iniciando por la capa superficial o lecho de hojarasca, donde encontramos restos vegetales (ramas, semilla, hojas, etc.) y animales (excremento, cadáveres, etc.) que pueden ser identificados a simple

vista; el horizonte humífero o capa de humus, contiene los restos orgánicos del lecho de hojarasca, totalmente troceados y en estado de descomposición; y el horizonte mineral, conformado por grava, arcilla y/o limo (Hernando et al., 2006).

Generalmente los estudios para la biota edáfica se abordan desde tres categorías o grupos: La macrofauna, son los organismos situados en las capas superficiales, conocidos como ingenieros del suelo o consumidores de MO (Brown et al., 2001), entre ellos están las lombrices de tierra, termitas, hormigas, escarabajos, milpiés, cochinillas, etc., su principal función es de triturar y contribuir al proceso de descomposición de la MO (G. Cabrera et al., 2011). Por otra parte, la meso fauna, compuesta por pequeños organismos como colémbolos, ácaros, proturos, etc (Moreira et al., 2012), contribuyen en procesos orgánicos de trituración a pequeña escala, su importancia radica en la abundancia, diversidad, especiación y los ciclos de vida corto, considerándolos como un indicador biológico (H. Cabrera et al., 2019). Mientras que, la microfauna, la componen organismos que no pueden observase a simple vista, como protozoos, bacterias, hongos, algas, nemátodos y protistas (Moreira et al., 2012), involucrados en procesos de descomposición, mineralización y estos son los principales conductores de los ciclos biogeoquímicos (Huera-Lucero, 2020; Venegas et al., 2020).

Burbano (2016) considera al suelo como un recurso no renovable y una importante reserva de biodiversidad, por otra parte Venegas et al., (2020) describe a los suelos amazónicos como evolucionados, con alta acidez y baja fertilidad, sin embargo, las complejas interacciones de los organismos que alberga, son quienes dan paso al desarrollo de importantes procesos como: ciclaje de nutrientes, fertilidad, estructura y servicios ecosistémicos (Ríos Guayasamín et al., 2019; Venegas et al., 2020). Las altas tasas de deforestación, el cambio del uso del suelo y el incremento de la frontera agrícola y ganadera, han causado daños irreparables al suelo, y han afectado el desarrollo de las complejas interacciones de los organismos que lo habitan (Bravo et al., 2017). En tal sentido, Ríos Guayasamín, (2021), en su trabajo *"Abundancia de invertebrados edáficos y propiedades tradicionales de suelo: buscando nuevos bioindicadores para la Región Amazónica Ecuatoriana"*, menciona que la macro y meso fauna edáfica se ha estudiado con gran potencial para evaluar los suelos degradados por actividades antrópicas, algunos invertebrados usados como indicadores son los isópodos, hormigas, opiliones, milpies, arañas, moluscos y escarabajos, al evaluar las variaciones de diversidad y abundancia en función de parámetros físicos y biológicos.

La MO cumple un rol clave en la fertilidad de suelos, actuando como fuente de nutrientes para plantas y de energía para microorganismos, participa en todos los procesos del medio y permite la correcta funcionalidad del mismo (Sales, 2006). Mientras que, Quiroga et al., (2017) la define como la mezcla de residuos de animales y plantas en un estado de descomposición, proceso a través del cual, el carbono (C) es reciclado en forma de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera y otros elementos asociados (nitrógeno, fósforo, azufre y microelementos) son aprovechados por plantas y otras formas de vida presentes en el suelo;

Arguello, (1991) menciona que las variaciones en la cantidad de MO, depende de factores como: relieve, clima, vegetación, material parietal, temperatura, evapotranspiración y precipitación (Sánchez et al., 2005). Por otra parte, (Julca et al., 2006; Moreira et al., 2012) asumen que la descomposición de MO, ocurre principalmente por actividad enzimática de bacterias y hongos, y en gran medida por actividad de los organismos del suelo, llamados "descomponedores" o "transformadores de hojarasca".

A pesar de la creciente preocupación que existe actualmente, por el deterioro y degradación del recurso suelo, la gran problemática ambiental y humanitaria que surge a partir de este (Cruz et al., 2004), no se cuenta o son muy escasos los estudios que dan a conocer criterios que permitan evaluar el estado y los constantes cambios del mismo, como indicadores biológicos que integran factores determinantes en la calidad y salud del medio terrestre, así como parámetros que permiten evidenciar la actividad biológica, haciendo referencia a las complejas interacciones de los organismos, a partir de las cuales permiten proliferar la vida sobre el planeta.

Bajo este marco referencial y la problemática ambiental que enfrenta el suelo debido a su avanzado deterioro, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la actividad biológica en sistemas de cultivo con cacao y en bosque, en comunidades del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Provincia de Napo, a través del estudio de la composición, abundancia y diversidad de la macro y meso fauna edáfica, así como, la determinación de parámetros como MO, carbono orgánico (CO), respiración basal (RB) y biomasa en los diferentes usos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio:

El presente trabajo se realizó en cuatro fincas del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo (Tabla 1, Figura 1), a una altura de 540-590 msnm, la precipitación media es de 700 mm y la temperatura varía entre 23 y 25 º C. Presenta un clima cálido - húmedo, clasificado como tropical lluvioso y con una humedad relativa del 90% (GADMAT, 2014).

Tabla 1. Datos de referencia y ubicación geográfica de las fincas objeto de estudio

Punto de Muestreo	Comunidad	Coordenadas UTM		Sistema de uso de suelo
		X	Y	
Finca 1 (F1)	Bajo Ila Capricho	177092	9870995	Cacao Agroforestal
Finca 2 (F2)	Tzwata bajo	179392	9868848	Cacao Agroforestal
Finca 3 (F3)	Tzawata alto	178774	9868293	Cacao Agroforestal
Bosque (F4)	San Clemente	179225	9872986	Bosque

Fuente: Elaboración propia.

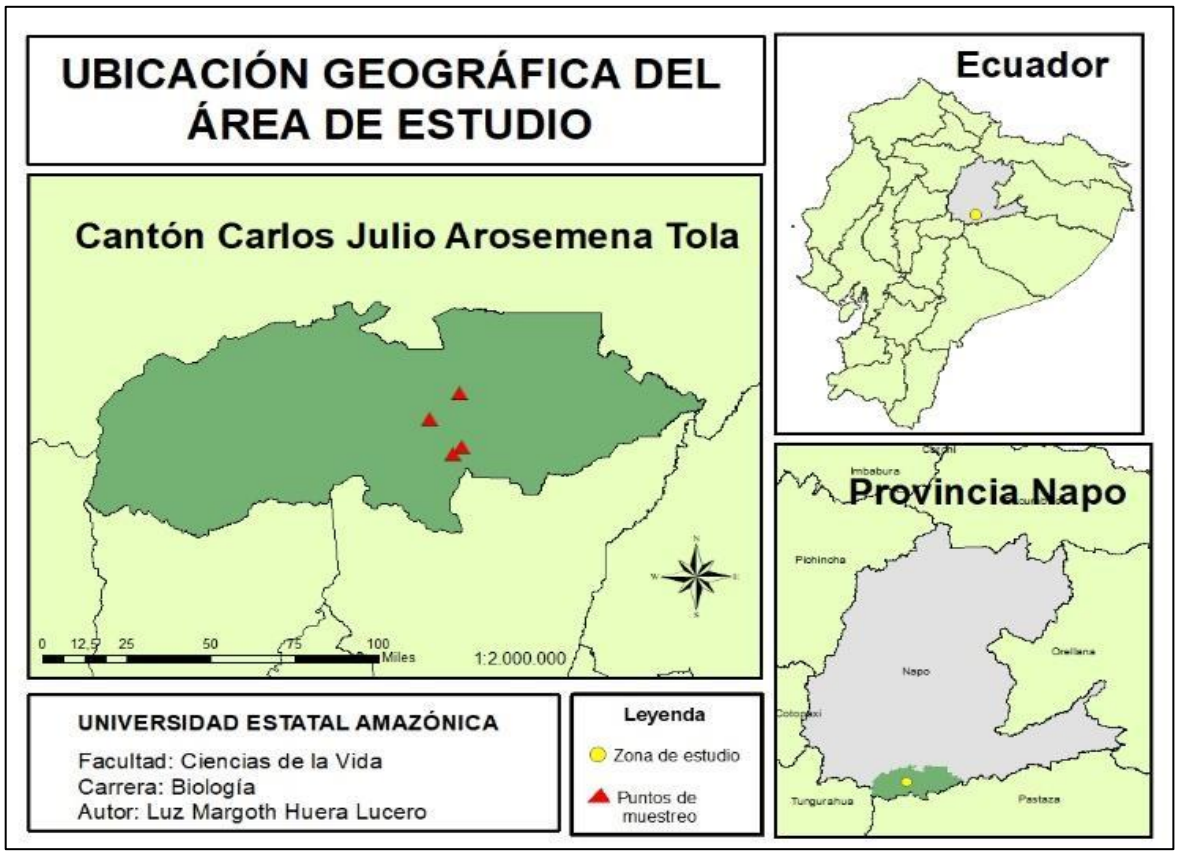


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. **Fuente:** Elaboración propia.

2.2 Tipo de investigación

De acuerdo a las líneas base de la Universidad Estatal Amazónica, el presente trabajo se enmarcó dentro del apartado Ecosistemas, Biodiversidad y Conservación de Especies. Con una investigación de tipo experimental, debido a que se tomaron datos de campo en distintos sistemas de uso para ser analizados en laboratorio, así como la determinación de parámetros biológicos. También tuvo carácter descriptivo y analítico debido a que se describieron los valores obtenidos de las propiedades e indicadores biológicos en el suelo en distintos usos de la tierra con cacao y el ecosistema natural, lo que facilitó describir, analizar e interpretar el impacto del cambio de usos en la actividad biológica del suelo.

2.3 Procedimiento experimental

2.3.1 Muestreo de suelo y hojarasca

Para la obtención de las muestras se establecieron en cada finca tres subparcelas de 20 x20m lo cual representó un área de 400m^2 por punto de muestreo (figura 2, Bravo et al., 2017).

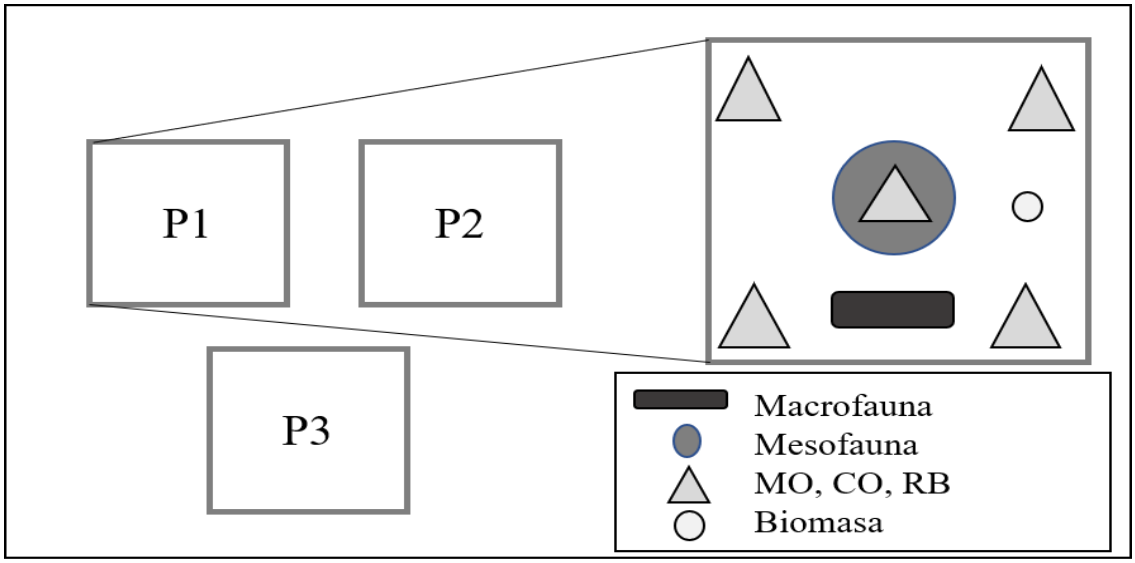


Figura 2. Esquema de la toma de muestras. **Fuente:** Elaboración propia.

Para determinar parámetros biológicos como: macrofauna se procedió con la metodología planteada por el Programa de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF sus siglas en inglés) (G. Cabrera, 2019; Arias, 2021), la cual consistió en establecer un punto al azar dentro del área marcada y se extrajo un monolito de 25x25cm y 20 de profundidad. La muestra se separó a dos profundidades 0-10 cm y 10-20 cm.

Para determinar la meso fauna se procedió con el método Embudo de Berlese – Tullgren (Karyanto et al., 2010), y luego se ubicó un punto cercano al centro del área de estudio y se extrajo muestras de hojarasca y suelo, determinando un cuadrante de 25x25cm y 5cm de profundidad. Para la evaluación de parámetros como MO, Carbono Orgánico (CO) y RB, se tomaron cinco muestras al azar a una profundidad de 0-10 cm, se homogenizaron, y se tomó una submuestra de 500 g aproximadamente. Finalmente, para determinar la biomasa se tomaron muestras de hojarasca dentro de un cuadrante de 50x50cm, como se observa en la figura 2.

2.3.2 Caracterización de la fauna en el suelo

2.3.2.1 Macrofauna

Para determinar la macrofauna, las muestras de suelo obtenidas a dos profundidades (0-10;10-20 cm) se colocaron sobre bandejas plásticas y se separó manualmente todos los individuos encontrados. Posteriormente, se preservaron en recipientes con alcohol al 75%, y con la ayuda del microscopio se identificó las características morfológicas de cada individuo y se clasificó taxonómicamente hasta el nivel más bajo, con ayuda de claves taxonómicas encontradas en los trabajos de Triplehorn & Johnson, (2005); Moreira et al., (2012); Peña, (2021).

2.3.2.2 Meso fauna

Para determinar la meso fauna, de acuerdo al método Embudo de Berlese – Tullgren, las muestras de hojarasca y suelo previamente pesadas, se colocaron sobre tamices con un diámetro de malla de 3mm que reposaron sobre embudos y estos a su vez, sobre frascos con alcohol al 75% y se les aplicó una fuente de luz durante 10 días (Sandler et al., 2010). Luego con el estereoscopio se procedió a identificar las características morfológicas de los individuos colectados y con ayuda de referencias taxonómicas propuestas por Triplehorn & Johnson, (2005); Moreira et al., (2012); Socarrás, (2013); MMA & A (2020), se procedió a clasificar taxonómicamente hasta el nivel más bajo.

2.3.3 Análisis de materia orgánica, carbono orgánico, respiración basal y biomasa.

2.3.3.1 Materia Orgánica y Carbono Orgánico

La MO se determinó mediante el método de calcinación propuesto por Izquierdo Bautista & Arévalo Hernández, (2021), se procedió a pesar 5 gramos(g) de suelo, se colocó en crisoles y se metió a la estufa a 105 ºC por 24 horas, se enfriaron en un desecador de vidrio y se procedió a pesar, luego se introdujeron a la mufla a 300 °C por 2 horas para calcinación, nuevamente se procedió a enfriar en el desecador de vidrio y se pesaron. Se calculó el porcentaje de MO (%MO) presente en las muestras de acuerdo a la ecuación 1.

$$\%\mathbf{MO} = \frac{(peso\ 105^{o}C - peso\ 300^{o}C) * 100}{peso\ 105^{o}C} \quad (1)$$

Para estimar el CO se procedió a multiplicar el %MO por 0,58 o factor de Van Benmelen, que resulta en base al planteamiento de que la MO del suelo contine un 58% de C (Vela et al., 2012), el cálculo se realizó de acuerdo a la ecuación 2.

$$\%\mathbf{CO} = \%\ MO * 0{,}58 \quad (2)$$

2.3.3.2 Respiración Basal

La respiración basal (RB) se midió de acuerdo al método descrito por (Bravo et al., 2016), fundamentado en CO_2 liberado durante la incubación de una muestra de suelo de 50g dentro de un sistema cerrado durante 24 horas, el CO_2 se capturó en una trampa de 20 ml de solución de hidróxido de sodio 0.5 molar (NaOH 0.5M), para frenar la reacción se añade 2ml de cloruro de bario ($BaCl_2$) y se titula con ácido clorhídrico 0.5 molar (HCl 0,5M), para lo cual se añaden de 2 a 4 gotas del indicador fenolftaleína. Para realizar el cálculo se procedió a aplicar la fórmula 3 y 4.

mg CO_2.kg^{-1} suelo. d^{-1} = (Volumen blanco (ml) - Volumen muestra (ml)) * 22 * Molaridad acido / Peso muestra (g) * 0,001 (factor para llevar g a kg) * Nº días (si la incubación es más de 1 día) (3)

mg C-CO_2.kg^{-1} suelo. d^{-1} = (Volumen blanco (ml) -Volumen muestra (ml)) * 6 * Molaridad acido / Peso muestra (g) * 0,001 (factor para llevar g a kg) * Nº días (si la incubación es más de 1 día). (4)

Nota: 22 y 6 son los pesos equivalentes del CO_2 y C, respectivamente. Se multiplica por 4/3 porque de ese modo consigue una absorción del 75% de CO_2 desprendido del suelo, independientemente de la tasa de producción.

2.3.3.3 Biomasa

Para determinar biomasa, las muestras de hojarasca obtenidas en campo se pesaron previamente (peso húmedo) y se colocaron en la estufa a 150 ºC por 24 horas (peso seco). El cálculo se realizó de acuerdo a la ecuación 5.

$$\text{Biomasa} = \text{peso seco 105 °C (kg)} * \text{área (ha)} \quad (5)$$

2.3.4 Procesamiento estadístico de datos

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de las muestras de suelo y de biomasa se usó como factor de comparación los diferentes usos del suelo y las profundidades consideradas. Como primer paso se obtuvo la estadística descriptiva que incluyó la media, la desviación estándar, valores mínimos y máximos. Posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey a un nivel de probabilidad de $P \leq 0,05$. Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa IBM SPSS Statistics, versión 21.

Con los datos de macro y meso fauna obtenidos se estimó la diversidad de especies, en base a los índices ecológicos de Shannon (H´) y Simpson (Ds). El índice de diversidad Shannon nos da a conocer la uniformidad de los valores de importancia a través de las especies presentes en cada sitio de muestreo (Escobar et al., 2017); asume que todas las especies son colectadas al azar y representan la muestra, su valor se encuentra entre 1,5 y 3,5, los valores más altos representan las comunidades más diversas (Melo, 2010), se calculó aplicando la ecuación 6.

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} pi * \ln pi \quad (6)$$

En donde:

H´= Índice de diversidad Shannon

S = número de especies

Pi = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i)

ln = logaritmo natural

Por su parte, el índice de Simpson conocido como el índice de diversidad o dominancia, es una medida de concentración que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente de una población pertenezcan a la misma especie (Hernández et al., 2020), nos permite medir la riqueza de organismos, debido a su dependencia en el número de especies y su distribución, sus valores varían entre 0 y 1 en donde los valores más cercanos a la unidad representan una mayor diversidad (Saquicela, 2010), el cálculo se realizó de acuerdo a la ecuación 7.

$$Ds = 1 - \sum_{i=1}^{s} pi^2 \quad (7)$$

En donde:

Ds = Índice de diversidad Simpson

S = número de especies

Pi = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i)

La abundancia absoluta se obtuvo a partir del número total de individuos por unidad muestreada, a través de la cual pudimos conocer la riqueza taxonómica de macro y meso fauna presente en las diferentes unidades muestreadas (Escobar et al., 2017).

2.4 Materiales

A continuación, se presenta la tabla 2 que muestra los materiales, equipos y reactivos utilizados en campo y laboratorio, durante el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos usados en campo y laboratorio.

Lugar	Fauna Edáfica	Parámetros: MO, CO, RB, Biomasa
En campo	**Materiales:**	**Materiales:**
	GPS	GPS
	Pala	Pala
	Machete	Machete
	Fundas Pláticas	Balde plástico
	Rotuladores	Fundas Pláticas
	Embaces plásticos	Rotuladores
	Reactivos:	

	Alcohol al 75%	
En laboratorio	**Materiales y equipos**: Balanza analítica Microscopio Estereoscopio Lámpara Cedazo Embudo Embaces plásticos Cajas Petri Pinzas entomológicas Pipetas desechables Material de escritorio **Reactivos:** Alcohol al 75%	**Materiales y equipos:** Balanza analítica Estufa Mufla Bandejas Crisoles Frascos plásticos y de vidrio Probeta Bureta **Reactivos:** NaOH 0.5M HCl 0.5M $BaCl_2$ fenolftaleína

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Abundancia y diversidad de macrofauna edáfica

Tras el análisis taxonómico de macrofauna encontrada, se obtuvo como resultado la clasificación de 544 individuos, repartidos entre la clase insecta con 450 individuos pertenecientes a 11 ordenes, seguida de la clase oligochaeta con 80 individuos, y entre las clases malacostraca, gastropoda, chilopoda y arácnida se encuentra los 14 individuos restantes, en el caso de las hormigas del orden hymenoptera se llegó a identificar la taxonomía hasta el nivel de subfamilia como se muestra en la tabla 3.

Entre los grupos con mayor abundancia de individuos está el orden hymenoptera con la familia formicidae (hormigas) que representa el 55%, seguida del orden blattodea con la familia termitidae (termitas) con el 23%, y el orden oligochaeta con la familia crassiclitellata (lombriz de tierra) que representa el 15%. Estos se encuentran dentro del grupo funcional considerados como los ingenieros del suelo, son consumidores de diversos sustratos como madera seca, material vegetal y humus del suelo. También, su actividad cumple un rol importante dentro del medio terrestre, como la creación de galerías y nidos subterráneos, formación de agregados, descomposición de MO, contribuyendo en el movimiento y retención del agua e intercambio gaseoso (G. Cabrera et al., 2011; Moreira et al., 2012; Peña, 2021).

Por otra parte, están los órdenes: isópoda con la familia armadillidae (cochinilla), ellobiida con la familia ellobiidae (caracoles) y la orden coleóptera (larvas), forman parte del grupo

funcional de los detritívoros, se encargan principalmente de triturar restos animales y vegetales que forman parte de la hojarasca, aportando en gran medida con los procesos de descomposición de MO y el reciclaje de nutrientes en el suelo (G. Cabrera, 2019).

Tabla 3. Clasificación taxonómica y abundancia (número de individuos) de la macrofauna encontrada en los sitios de estudio (F1, F2, F3, F4).

Clase	Orden	Familia	F1	F2	F3	F4
Insecta	Blattodea	Termitidae	0	24	19	83
		Blattidae	2	0	2	0
	Hymenoptera	Formicidae *Subfamilia				
		Amblyoponinae	0	63	14	0
		Dolichodeninae	2	0	0	13
		Dorilynae	0	0	7	14
		Ectatomminae	1	0	0	0
		Formicinae	27	0	0	0
		Myrmicinae	36	10	81	11
		Paranoperinae	0	0	1	0
		Ponerinae	1	10	0	7
	Coleóptera(larva)	-	1	4	7	3
	Orthoptera	Gryllotalpidae	1	0	0	0
	Hemíptera	Pentatomidae	0	0	0	1
		Cicadellidae	0	0	0	3
		Cicadidae	0	1	0	0
	Dermaptera	Carcinophoridae	1	0	0	0
Oligochaeta	Crassiclitellata	Lumbricidae	28	21	14	17
Malacostraca	Isopoda	Armadillidae	0	2	2	0
Gatropoda	Ellobiida	Ellobiidae *Subfamilia				
		Pedipedinae	3	1	0	0
Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae	1	0	0	1
Arachnida	Araneae	-	0	0	0	4
		Total	**104**	**136**	**147**	**157**
		Abundancia total		**544**		

Fuente: Elaboración propia

Dentro del grupo de los herbívoros o fitófagos se encontraron los órdenes: orthoptera con la familia gryllotalpidae (grillos topo) y hemíptera con las familias pentatomidae (chinches), cicadellidae (saltahojas), cicadidae (cigarras), los cuales se alimentan principalmente de materia vegetal viva y consumen partes aéreas como subterráneas. También está el grupo de los omnívoros con los órdenes: blattodea con la familia blattidae (cucarachas) y dermáptera con la familia carcinophoridae (tijeretas), no se especializan en un tipo de alimento y comen de cualquier materia de origen animal o vegetal ayudando en el proceso de descomposición de MO (Brown et al., 2001; Peña, 2021).

Por último, están los órdenes araneae (arañas) y geophilomorpha con la familia geophilidae (ciempiés), se encuentran dentro del grupo de los depredadores, su alimentación se basa en consumir otros organismos del medio, como larvas, pupas, huevos o insectos adultos, se los considera controladores biológicos de otros organismos edáficos, de forma que modifican el equilibrio de sus poblaciones y los recursos del ecosistema (G. Cabrera, 2019; Arias, 2021).

La abundancia de la macrofauna para los distintos tratamientos a dos profundidades se muestra en la figura 3.

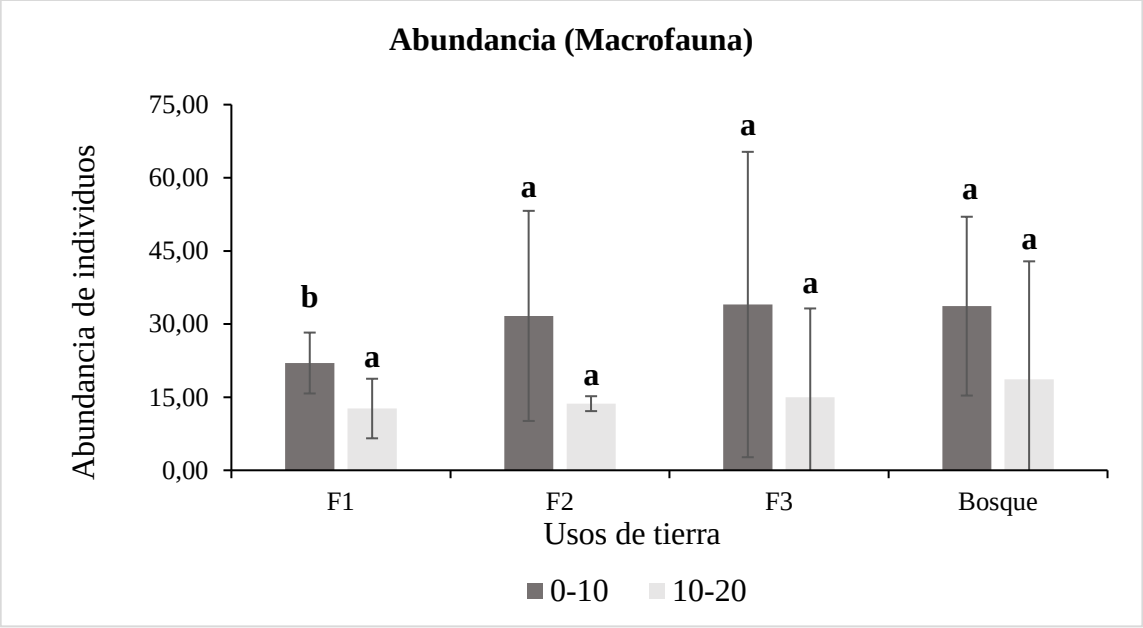


Figura 3. Abundancia de macrofauna bajo distintos usos de tierra a dos profundidades.
Fuente: Elaboración propia.

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas solo para la primera profundidad, evidenciando dos grupos F2, F3 y Bosque que obtuvieron los mayores valores de abundancia de macrofauna con respecto a la F1, mientras que en la segunda profundidad los valores estadísticos fueron similares. Independientemente de los usos de la tierra la mayor población de macrofauna se obtuvo en el horizonte superficial disminuyendo con la profundidad. Los resultados obtenidos probablemente están relacionados a que en el horizonte superficial se encuentra mayor cantidad de materia orgánica y residuos que sirven de hábitat, refugio y sustento alimenticio para los organismos (Moran & Alfaro, 2015). Estos resultados coinciden con el trabajo de Moran & Alfaro, (2015) donde también obtuvieron mayor abundancia significativa en el estrato superficial. Por otra parte Melo, (2010) encontró una mayor proporción de individuos en el estrato inferior atribuyendo tal resultado a la buena capacidad de aireación y retención del agua en el suelo, lo cual permite el desarrollo de

especies vegetales que sirven de alimento para los organismos edáficos en especial para las larvas.

3.2 Índices de diversidad de macrofauna.

La diversidad de macrofauna en los distintos usos a dos profundidades, se obtuvo a partir del índice de diversidad Shannon y los resultados se muestran en la figura 4.

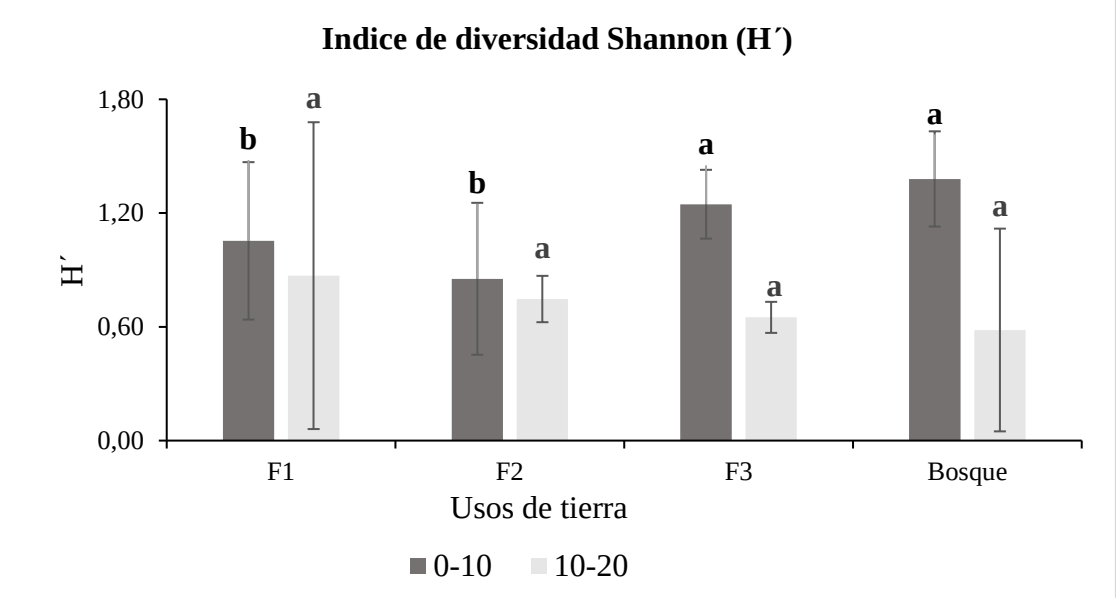


Figura 4. Índice de diversidad de Shannon bajo distintos usos de tierra a dos profundidades.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados estadísticos presentaron diferencias significativas únicamente en la primera profundidad, mostrando que F3 y Bosque obtuvieron mayores valores de diversidad con respecto a F1 y F2, mientras que en la segunda profundidad los valores obtenidos fueron muy similares. Sin tomar en cuenta los usos de suelo, es importante destacar que el estrato superior es más diverso en comparación con el estrato inferior. Esto posiblemente se debe a que se cuenta con la presencia de especies de invertebrados que por lo general se encuentran en el horizonte superficial, debido a su actividad funcional como ingenieros del suelo, tal es el caso del orden crassiclitellata (lombriz de tierra), hymenoptora (hormigas), blattodea (termitas) ellobiida (caracoles), entre otros. Tal como lo menciona Arias, (2021) quien considera que los macroinvertebrados se encuentran en mayor medida en el estrato donde se deposita mayor cantidad de materia orgánica ya que su rol funcional parte de esta.

La dominancia de especies en cada uso de tierra a dos profundidades, se obtuvo a partir del Índice de Simpson y los resultados obtenidos se muestran en la figura 5. De acuerdo a los datos obtenidos se encontró diferencias significativas únicamente en el estrato superior en donde los tratamientos F1, F3 y Bosque presentan un mayor índice de dominancia con

respecto a F2, mientras que el en estrato inferior los resultados obtenidos fueron similares.

Cabe mencionar, que independientemente de los usos de suelo, el estrato superior presentó una mayor dominancia de especies, lo que probablemente se debe a que se encuentran los órdenes hymenoptera que representa el 55% del total de abundancia de individuos, seguida el orden blattodea con el 23% y oligochaeta con el 15%. Estos resultados coinciden con Hernández et al., (2020) quien menciona que estos organismos prefieren el estrato superior debido a las óptimas condiciones de temperatura y humedad para su desarrollo.

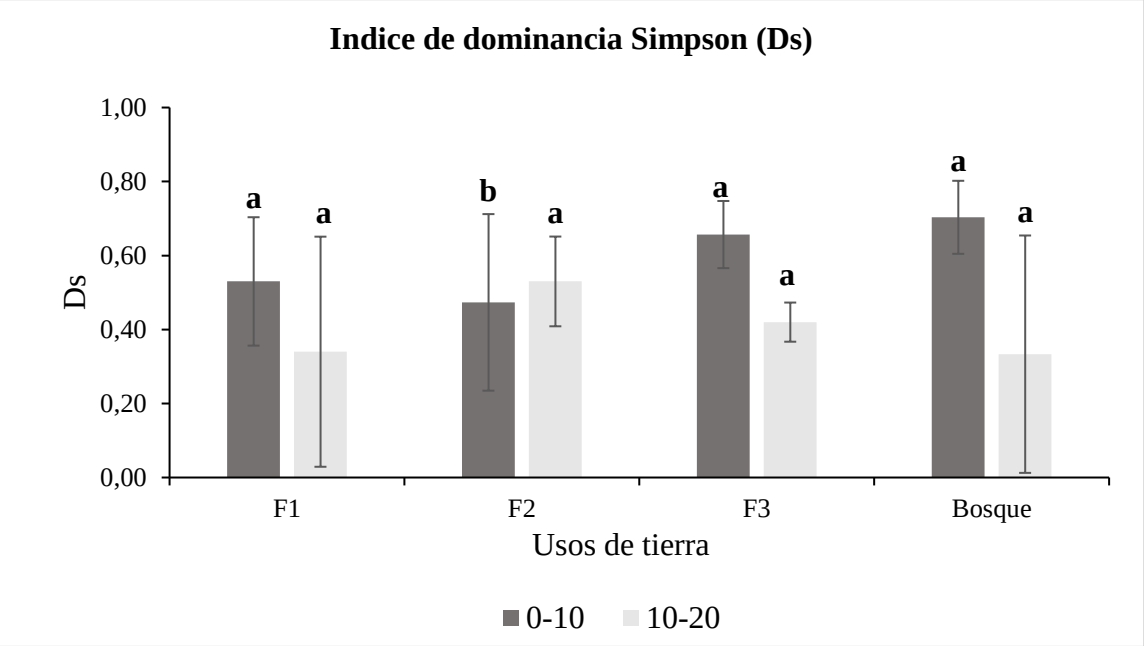


Figura 5. Índice de dominancia Simpson bajo distintos usos de tierra a dos profundidades.
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Abundancia y diversidad de meso fauna edáfica

Al realizar el respectivo análisis taxonómico de la meso fauna encontrada en los sitios de estudio, se obtuvo como resultado una abundancia de 1600 individuos, repartidos entre la clase collembola con 813 individuos pertenecientes a 2 ordenes, seguida de la clase arachnida con 494 individuos repartidos en 3 ordenes, la clase insecta con 270 individuos y entre las clases simphyla, endognatha, elliplura y malacostraca se encuentran los 23 individuos restantes, como se muestra en la tabla 4. Los grupos que representaron mayor abundancia fueron el orden acari (ácaros) con el 29%, estos organismos se encuentran dentro del grupo funcional de los saprófagos así como el orden simphyla, diplura y protura, su actividad los caracteriza como facilitadores de la descomposición de MO, su presencia en diversos ecosistemas es sorprendente ya que se encuentran en condiciones favorables tales como los

bosques conservados, así como en circunstancias adversas como en sistemas intervenidos por el hombre, esto debido a su gran resistencia y capacidad de adaptación (Socarrás, 2013).

Por otra parte, están los órdenes entomobryomorpha con el 28% y poduromorpha 23% (colémbolos) estos se encuentran dentro del grupo de los detritívoros, así como el orden isópoda y coleóptera, cumplen un papel crucial en el reciclaje de restos orgánicos, aumentando la implantación de microflora y ayudando en la formación de humus, los colémbolos son considerados indicadores del pH y humedad del suelo, son sensibles a las perturbaciones del medio edáfico principalmente cuando se aplica productos químicos (Socarrás, 2013; Huera-Lucero, 2020).

Tabla 4. Clasificación taxonómica y abundancia (número de individuos) de la meso fauna encontrada en los sitios de estudio (F1, F2, F3, F4).

Clase	Orden	Familia	F1	F2	F3	F4
Collembola	Entomobryomorpha	-	71	139	85	150
	Poduromorpha	-	101	114	68	85
Arachnida	Araneae	-	1	1	0	12
	Acari	-	132	161	82	93
	Pseudoescorpion	-	0	0	0	12
Insecta	Hymenoptera	Formicidae *Subfamilia *Amblyoponinae*	15	11	12	18
		Dolichodeninae	2	0	3	0
		Dorilynae	0	6	0	14
		Formicinae	17	0	0	26
		Myrmicinae	55	2	14	28
	Coleóptera (larva)	-	15	3	4	17
	Dermaptera	Carcinophoridae	0	0	2	5
	Thysanoptera	Aeolothripidae	0	0	1	0
Simphyla	Simphyla	Scolopendrellidae	0	2	4	7
Endognatha	Diplura	-	3	0	0	0
Elliplura	Protura	Eosentomidae	0	0	0	6
Malacostraca	Isopoda	Armadillidae	1	0	0	0
		Total	**413**	**439**	**275**	**473**
Abundancia total			**1600**			

Fuente: Elaboración propia

También se encontró organismos del orden hymenoptera catalogado dentro del grupo ingenieros del suelo, ayudan a la formación de túneles y galerías; por otra parte, la presencia de los ordenes dermaptera y thysanoptera, su rol funcional como herbívoros se basa en la trituración y maceración de hojarasca principalmente; por último, tenemos los depredadores

con los órdenes araneae y pseudoescorpion, por lo general se consideran controladores biológicos ya que se alimentan de otros organismos del suelo (Moreira et al., 2012; Arias, 2021).

La abundancia de meso fauna para los distintos tratamientos en hojarasca y suelo se muestra en la figura 6. Se pudo apreciar diferencias significativas tanto en el sustrato hojarasca como suelo, de acuerdo a la media de hojarasca existe mayor abundancia en los sistemas F1, F2 y Bosque con respecto a F3, mientras que la media del suelo nos indica que Bosque presenta mayor diversidad con respecto a F1, F2 y F3. Indistintamente del sustrato se puede observar que el ecosistema natural presenta mayor estabilidad en la concentración de abundancia de individuos, lo cual posiblemente se deba a que los sistemas de cacao presentan un cierto grado de actividad o intervención antropogénica y por lo general la meso fauna la componen organismos que se adaptan a distintos medios también son sensibles a las perturbaciones del medio (Socarrás, 2013).

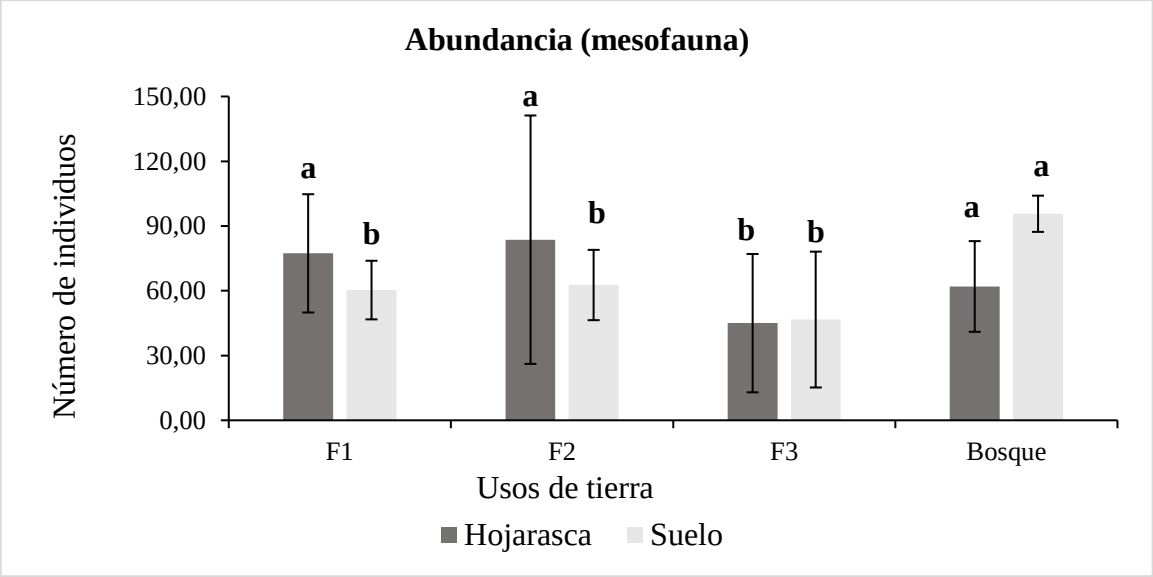


Figura 6. Abundancia de meso fauna bajo distintos usos de tierra en hojarasca y suelo.
Fuente: Elaboración propia

3.4 Índices de diversidad de meso fauna

La diversidad de meso fauna en distintos usos en hojarasca y suelo se obtuvo mediante el índice de Shannon y los resultados se muestran en la figura 7.

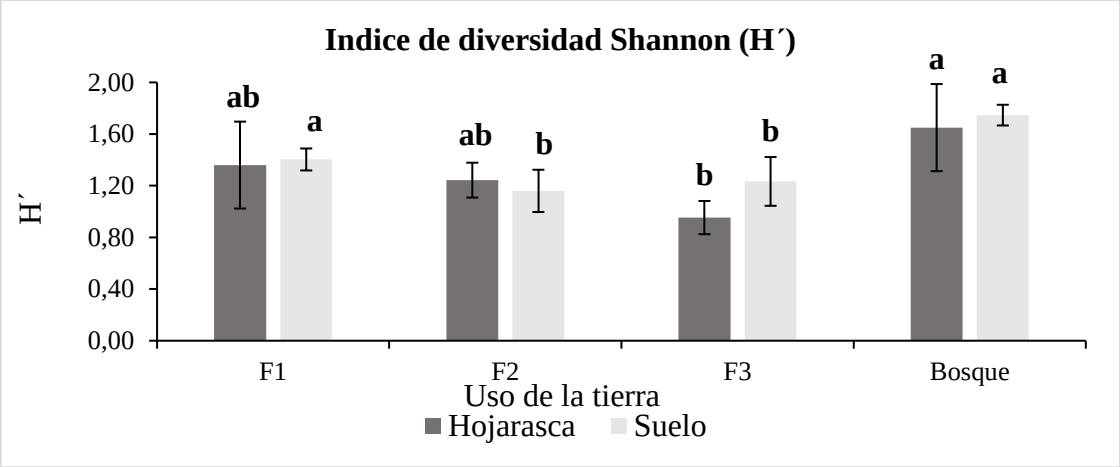


Figura 7. Diversidad de meso fauna bajo distintos usos de tierra en hojarasca y suelo.
Fuente: Elaboración propia

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas en los dos sustratos, de acuerdo a la media de hojarasca existe mayor diversidad de especies en los sistemas F1, F2 y Bosque con respecto a F3, mientras que la media del suelo nos indica que F1 y Bosque presenta mayor diversidad con respecto a F2 y F3. Indistintamente del sustrato se pudo observar que el sistema bosque presenta una mayor diversidad tanto en hojarasca como suelo, esto posiblemente se debe al cambio de uso, ya que por lo general los suelos con vegetación nativa presentan un ecosistema más estable para la biota del medio terrestre (H. Cabrera et al., 2019).

Por otra parte, la dominancia de especies en los diferentes usos en hojarasca y suelo se obtuvo a partir del índice de Simpson y sus resultados se muestran en la figura 8.

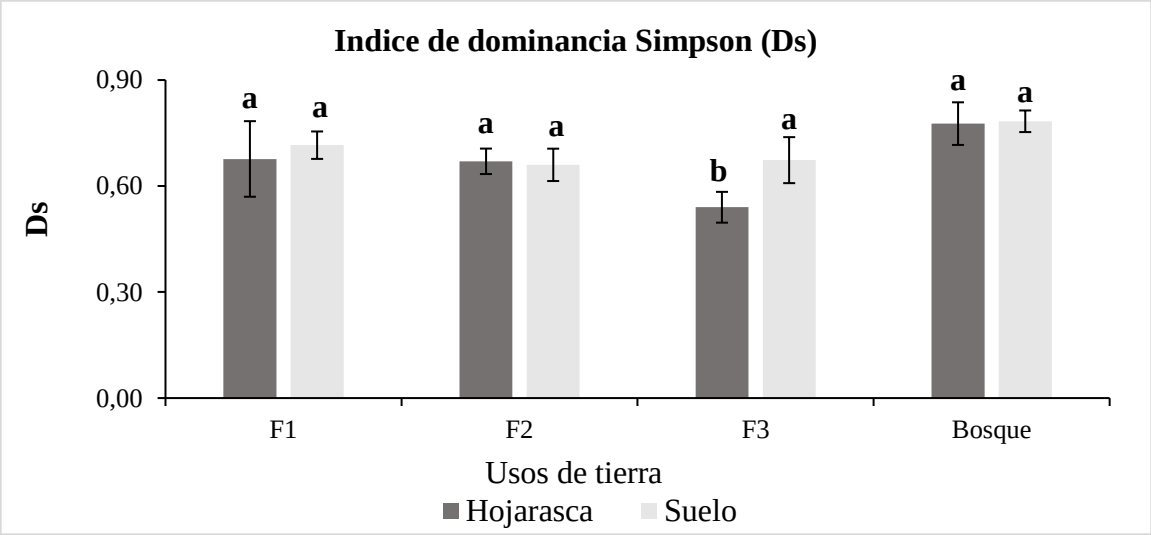


Figura 8. Índice de dominancia Simpson bajo distintos usos de tierra en hojarasca y suelo.
Fuente: Elaboración propia.

Se pudo estimar diferencias significativas únicamente en el sustrato hojarasca, en donde F1, F2 y Bosque presentan mayor dominancia de especies con respecto a F3, mientras que en el sustrato suelo los valores estadísticos fueron similares. Se puede apreciar que existe una estabilidad continua en los diferentes usos y en los dos sustratos, probablemente se debe a que hay la presencia de grupos de invertebrados que alcanzan una composición muy grande de individuos, como es el caso del orden acari que representa 29% del total de individuos, seguido del orden entomobryomorpha con el 28% y poduromorpha con el 23%, la mayoría de estos organismos tienden a adaptarse a condiciones adversas es por ello que se los encuentra en distintos sistemas de uso, pero su variabilidad en abundancia puede ser indicador de perturbaciones y cambios en el medio terrestre (Socarrás, 2013).

3.5 Contenido de biomasa, % de materia orgánica y carbono orgánico total del suelo y respiración basal

El contenido de biomasa en los diferentes usos de suelo se presenta en la figura 9. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas, con mayores valores de biomasa se encuentra en los sistemas Bosque y F1 con respecto a F2 y F3. Estos resultados, probablemente se debe a la presencia o ausencia de especies arbóreas que depositan parte de su estructura en el suelo, en el sistema natural Bosque por lo general se encuentra una gran diversidad de árboles y otras plantas vegetales, mientras que los sistemas con cacao se limitan a una sola especie y por lo general son sometidos a un proceso de limpieza de terreno y poda de los individuos cada cierto periodo de tiempo (Veyrunes, 2008).

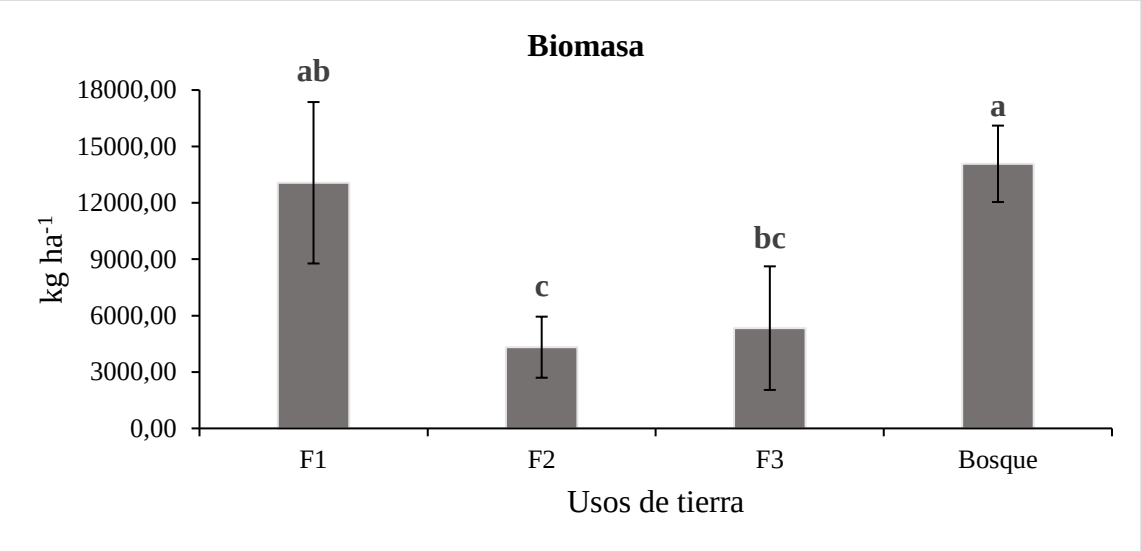


Figura 9. Contenido de biomasa en los distintos usos de suelo.
Autor: Elaboración propia.

La presencia de cobertura vegetal muerta (hojarasca) es de gran importancia para los organismos del medio edáfico, cumple ciertas funciones: disminuye la intensidad de luz, regula la temperatura y humedad, reduce el impacto de gotas de lluvia y sirve como fuente de alimento, de modo que se convierte en un medio estable para la fauna edáfica (Moran & Alfaro, 2015).

El porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico en los diferentes usos de suelo se presenta en la figura 10.

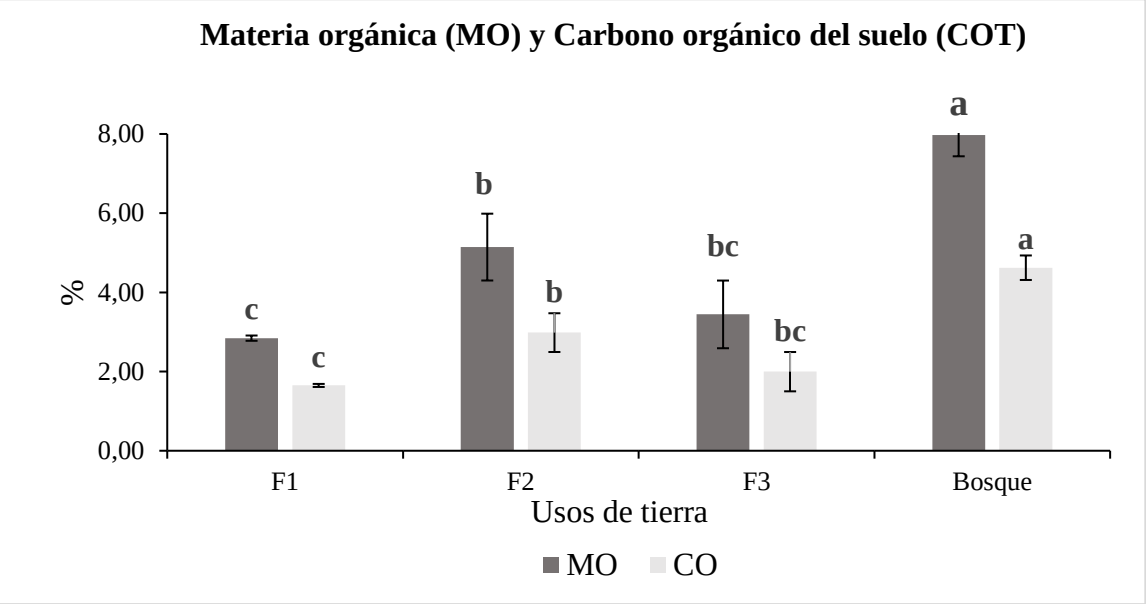


Figura 10. Porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico en los diferentes usos de suelo.
Autor: Elaboración propia.

En función de los análisis estadísticos se mostró que hay diferencias significativas, dando a conocer que el sistema Bosque presenta mayor %MO y %COT con respecto a F1, F2 y F3. El contenido de MO influye estrechamente en la fertilidad del suelo, así como el COT, causando efectos determinantes sobre la estructura, disponibilidad de nutrientes y la diversidad biológica del medio edáfico, estos parámetros varían de acuerdo al sistema de manejo y la cantidad de residuos presentes en el suelo, por lo general, el sistema natural bosque presenta altos valores debido a la estabilidad física, química y biológica que presenta el medio (Bravo et al., 2016).

Por otra parte, el análisis de respiración basal en los diferentes usos de suelo se presenta en la figura 10.

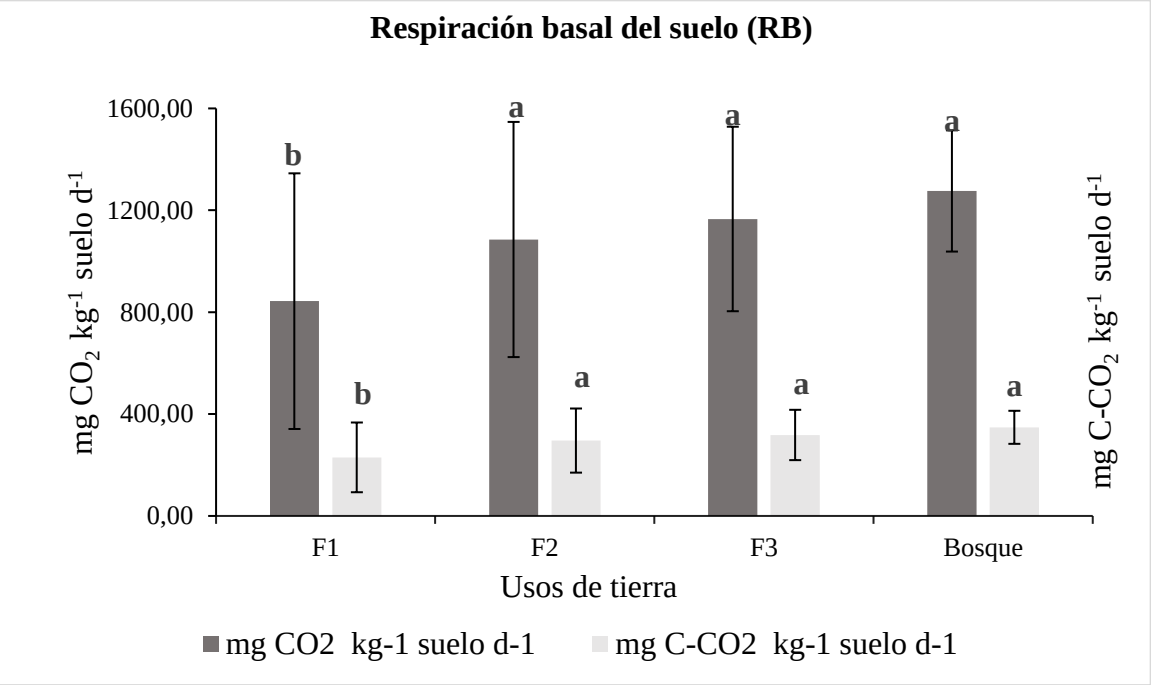


Figura 11. Respiración basal en los diferentes usos de suelo.
Autor: Elaboración propia.

Conforme a los resultados obtenidos se pudo observar que la actividad microbiana (respiración basal) presenta diferencias significativas tanto en el contenido de *mg CO_2 kg^{-1} suelo d^{-1}* como de *mg C-CO^2 kg^{-1} suelo d^{-1}*, estimando valores más altos en los sistemas F2, F3 y Bosque con respecto a F1. Los resultados obtenidos en estas variables, probablemente se deba a la variabilidad en la presencia de fauna edáfica ya que este componente es una medida directa de la actividad biológica del suelo y nos indica los cambios en la producción de CO_2 (Bravo et al., 2016), por lo general este parámetro es muy susceptible a cambios constantes ya que depende de diversos factores que controlan la mineralización del carbono, como: textura, pH, MO, salinidad, presencia de metales pesados, precipitación, temperatura y principalmente la forma de manejo del recurso suelo (Pardo et al., 2019).

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo brindó información de la macro y meso fauna edáfica presente en sistemas de manejo con cacao y bosque de cuatro comunidades de cantón Carlos Julio Arosemena Tola, revelando con mayor en abundancia en el uso con bosque con respecto a los usos con cacao agroforestal.

Los índices de biodiversidad, así como la respiración basal fue superior en el uso con bosque en comparación con los usos con cacao agroforestal, lo cual está asociado a una mayor cantidad de biomasa y de materia orgánica en el suelo.

Las variaciones en los índices de biodiversidad no son tan marcadas, a partir de los resultados obtenidos se reconoce la gran estabilidad cuando el recurso suelo se usó con sistemas análogos al bosque como los sistemas agroforestales.

Mediante el análisis de parámetros como biomasa, % de materia orgánica, % de carbón orgánico total y respiración basal, se demostró que la actividad biológica del suelo está en constante cambio, y depende en gran medida de las condiciones del medio, las cuales varían debido a diversos factores climáticos, cambios intrínsecos y el sistema de manejo de la tierra.

5. REFERENCIAS

Alba, A., Alcázar, M., Cermeño, F., & Barbero, F. (2011). *Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos*. *1*, 13–38.

Arguello, H. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, *8*(2), 384–388. https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/download/21129/22095

Arias, Á. (2021). *Evaluación de la macrofauna del suelo en cacao en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/25978/1/T-ESPESD-003157.pdf

Bravo, C., Marín, H., Marrero, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., Durazno, G., & Changoluisa, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro*, *29*(1), 23–36.

Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). *Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana*. *18, núm. 11*, 1–16. https://www.redalyc.org/pdf/636/63653574014.pdf

Bravo, C., Zenaida, L., Galo, D., & Henry, N. (2016). *Evaluación de la calidad de los suelos y salud de los cultivos*. 1–95.

Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., Moreno, A., Lavelle, P., Ordaz, V., & Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*, *1*, 79–110. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500006

Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *33*(2), 117. https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58

Cabrera, G. (2019). *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba* [Universidad de Alicante].

https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/88889

Cabrera, G., Robaina, N., & Ponce De León, D. (2011). Functional composition of soil macrofauna in four land uses of Artemisa and Mayabeque provinces, Cuba. *Pastos y Forrajes*, *34*(3), 331–346.

Cabrera, H., Murillo, F., Adame, J., & Fernández, J. (2019). Impacto del uso del suelo sobre la meso y macrofauna edáfica en caña de azúcar y pasto. *Tropical and Subtropical Agroecosistems*, 2–12. https://www.researchgate.net/publication/333117700

Cruz, B., Barra, E., Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004, May). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 1–8. http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149

Escobar, A., Bartolomé, J., & Gonzáles, N. (2017). A comparative study of soil macrofauna in agroforestry systems, traditional broadleaf forest and pasture in the dry tropical watershed, Tomabu; Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí.* , *22*, 39–49. https://rcientificaesteli.unan.edu.ni/index.php/RCientifica/article/view/1399

GADMAT. (2014). *"Plan de desarrollo y Ordenamiento territorial (PDyOT) del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola*. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/Senplades_15-11-2014.pdf

Goyas, L., Cabanes, I., & Zambrano, S. (2016). Análisis Jurídico del ordenamiento territorial y el uso del suelo como recurso natural insustituible. *Universidad y Sociedad*, *8*(2), 6–12. http://rus.ucf.edu.cu/

Hernández, M., Ramírez, W., Zurita, A., & Navarro, M. (2020). Biodiversidad y abundancia de la macrofauna edáfica en dos sistemas ganaderos en Sancti Spíritus, Cuba. *Pastos y Forrajes*, *43*(1), 18–25. http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v43n1/2078-8452-pyf-43-01-18.pdf

Hernando, C., Ribera, I., Pagola, S., Zabalegui, I., & Izquierdo, A. (2006). *Biodiversidad de coleópteros edáficos en la Comunidad Autónoma Vasca* [Gipuzkoako Entomologia Elkartea]. https://www.entomologia.net/L_Coleoptera/Cole%C3%B3pteros_edaficos_en_la_comunidad_Vasca.pdf

Huera-Lucero, T. (2020). *Indicadores de la Calidad Biológica de Suelos para Evaluar la Sustentabilidad de Territorios de la Amazonía Ecuatoriana*. Universidad de Extremadura.

Huera-Lucero, T., Labrador, J., Blanco, J., & Ruiz, T. (2020). A framework to incorporate biological soil quality indicators into assessing the sustainability of territories in the ecuadorian amazon. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(7). https://doi.org/10.3390/su12073007

Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, *26*, 20–28. https://doi.org/10.25054/22161325.2527

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*, *24*(1), 49–61. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292006000100009&script=sci_arttext

Karyanto, A., Rahmadi, C., Franklin, E., Susilo, F. X., & Wellington De Morais, J. (2010). Collembola, Acari e outros grupos da mesofauna do solo-O método de Berlese. *UFLA*, 2–17.

Melo, M. (2010). *Evaluación de la macrofauna edafica en parcelas experimentales enmendadas con biosolidos en diferente proporcion en el aula ambiental Soratama Loc. USA Quen Bogotá D.C*. Pontificia Universidad Javeriana.

MMA, & A. (2020). *Evaluación de la calidad biológica de suelos Mesofauna_Guía IV*. www.fao.org/publications

Moran, J., & Alfaro, F. (2015). *Diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa oleifera Lam. (Marango) en la finca Santa Rosa, UNA.* https://repositorio.una.edu.ni/3203/1/tnp34m829.pdf

Moreira, F., Huising, J., & Bignell, D. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*.

Pardo, Y., Paolini, J., & Cantero, M. (2019). Biomasa microbiana y respiración basal del suelo bajo sistemas agroforestales con cultivos de café. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científi Ca*, *22*(1), 1–8.

Peña, C. (2021). *Biología de los suelos amazónicos:vida que sostiene el bosque - Capítulo 4. Macrofauna edáfica*. 1–45. https://www.researchgate.net/publication/357406782

Quiroga, A., Galantini, J., & Studdert, G. (2017). La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. In *Manejo y Conservación de suelos: Vol. Cap. 5* (pp. 139–159).

Ríos Guayasamín, P. (2021). Abundancia de invertebrados edáficos y propiedades tradicionales de suelo: buscando nuevos bioindicadores para la RegiónAmazónica Ecuatoriana. In *Libro Memorias I Congreso de Gestión Ambiental y Conservación de laBiodiversidad : Vol. 1.3* (pp. 288–299).

Ríos Guayasamín, P., Muñoz Rengifo, J., & M. Smith, S. (2019). Soil invertebrates in the Tropics: a bibliographical revision. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, *2*(1), 74–92. https://doi.org/10.46380/rias.v2i1.42

Sales, B. (2006). *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas Amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y*

manejo en el secuestro de carbono. https://digital.csic.es/handle/10261/66313

Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. M. (2005). Materia orgánica y Actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *SciELO Analytics*, *55–4*, 1–28.

Sandler, R., Falco, L., Ciocco, C., de Luca, R., & Civiella, C. (2010). Berlese-Tullgreen funnel efficiency for soil arthropod extraction from typic argiudoll soils in Buenos Aires Province. *Suelo (Argentina)*, *28*(1), 1–7. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672010000100001

Saquicela, J. (2010). *Análisis preliminar de riqueza y diversidad de lepidópteros diurnos proisorios en dos unidades de vegetación andina de la cuenca alta y media del río Paute*. Universidad de Cuenca.

Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *SciELO Analytics*, *12*, 13–34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120-63462009000100002

Socarrás, A. (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo Soil mesofauna: biological indicator of soil quality. *Pastos y Forrajes*, *36*(1), 5–13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000100001

Triplehorn, C., & Johnson, N. (2005). *Borror and DeLong´s Introduction to the Study of Insects* (7th ed.). https://www.academia.edu/30669150/Borror_and_Delong_2005_Study_of_Insects

Trujillo, J., Mahecha, J., & Torres, M. (2018). El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *9*(2), 1–10. https://doi.org/10.22490/21456453.2095

Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, *77*, 18–30. https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n77/n77a3.pdf

Venegas, C., Castro, D., & León, D. (2020). *Riqueza y abundancia de organismos del suelo en el gradiente altitudinal Andino-Amazónico del Camino Andakí, Caquetá (Colombia).* 2–22. https://sinchi.org.co/files/publicaciones/revista/pdf/12/8%20Riqueza%20y%20abundancia%20de%20organismos%20Andak%C3%AD_ColAmaz12.pdf

Veyrunes, E. (2008). Las amenazas percibidas para la Amazonía: un estado del arte en términosde seguridad ambiental. *Universidad Del Rosario*, *28*, 3–38. https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/1236

6. ANEXOS

6.1 Marco Teórico

6.1.1 El suelo: un recurso natural no renovable

El medio terrestre es considerado como el soporte de la vida en el planeta, sus ecosistemas brindan bienes y servicios esenciales para satisfacer las necesidades humanas (Alba et al., 2011). Por su parte Goyas et al., (2016), describen al suelo como un bien inmueble por naturaleza que cumple funciones insustituibles, como fuente de materia prima, producción de energía y biomasa, reserva genética, medio de regulación hidrológica, hábitat de todo organismo vivo, factor de mitigación del cambio climático y como base principal en el desarrollo de la agricultura para la seguridad alimentaria. La calidad del suelo, es una medida que se le otorga a la capacidad para funcionar de manera efectiva con respecto a su uso, o a su vez, la capacidad de receptar, acumular y reciclar minerales, agua y energía (Cruz et al., 2004). Sin embargo, gran parte de este recurso se encuentra en un estado de degradación y perturbación irreparable, esto se debe principalmente a la gran taza de crecimiento poblacional en todo el mundo y a diversas actividades antropogénicas que por lo general se centran en el cambio del uso del suelo para expansión de la frontera agrícola y ganadera (Burbano, 2016; Bravo et al., 2017).

El mal manejo de este recurso conduce directamente a su degradación y a la ineficiente explotación de los recursos naturales, pero aún más preocupante, son las consecuencias que percibe el ser humano, como la pobreza, el hambre y muchos otros problemas sociales (Trujillo et al., 2018), es hora de tomar conciencia frente a esta gran problemática y de alguna forma tratar de cambiar el comportamiento de la sociedad, que lo único que busca cada día es una nueva fuente de lucro, sin tomar en cuenta el daño que se genera en los ecosistemas (Burbano, 2016).

6.1.2 Biología de los suelos Amazónicos

Huera-Lucero, (2020) califica al suelo como un sistemas vivo y dinámico, siendo el hábitat de una gran variedad de organismos que interactúan entre si para el desarrollo de importantes funciones ambientales desde el medio edáfico, así como complejos procesos que sustentan la vida sobre el medio terrestre, tales como el ciclaje de nutrientes, servir de base para los ciclos biogeoquímicos, fuente de alimento y energía. Sin embargo, Venegas et al., (2020) describe a los suelos Amazónicos como muy ácidos y con baja fertilidad natural. En tal sentido, Peña, (2021) menciona que la biota del suelo es la encargada de hacer que los ecosistemas funcionen adecuadamente y clasifica a los invertebrados de acuerdo a su actividad funcional: “ingenieros del suelo” su importancia radica en la creación de galerías,

nidos subterráneos, formación de agregados y descomposición de materia orgánica; mientras que los "detritívoros" se encargan de triturar los residuos que forman parte de la hojarasca, ayudando al proceso de descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el suelo; los "herbívoros" son considerados organismos que se alimentan principalmente de materia vegetal viva; y por último los "depredadores" que son considerados controladores biológicos, ya que se alimentan de otros invertebrados. Por otra parte, Moreira et al., (2012) clasifica a la fauna del suelo de acuerdo a su diámetro y la describe como macrofauna > 2mm, meso fauna 0,1 - 2 mm, y microfauna < 0,1 mm (Socarrás, 2013).

6.1.3 Macrofauna

Son considerados los organismos con mayor tamaño del medio edáfico (> 2mm), dentro de este gran grupo se encuentran algunos invertebrados como: las lombrices de tierra, que se encargan de cavar el suelo para formar túneles, produciendo excretas y formando agregados que permiten la retención y movimiento del agua e intercambio de gases (Moreira et al., 2012); también están los escarabajos, participan principalmente en la trituración de hojarasca ayudando en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica (G. Cabrera, 2019); las hormigas son considerados ingenieros del suelo, dado que contribuyen en la formación de agregados, permitiendo la aireación del suelo y la filtración de agua (Brown et al., 2001); las termitas por su parte, contribuyen en la trituración y maceración de restos animales y vegetales así como en la descomposición de material leñoso; también están los caracoles y babosas, que al movilizarse secretan mucosa que permite la formación de agregados que ayudan a mejorar la estructura y propiedades del medio edáfico haciéndolo mas estable para ser albergado (Peña, 2021); por último están las arañas, escorpiones, ciempiés y milpiés, estos habitan entre la hojarasca y juegan un papel crucial como depredadores, también aportan en la fragmentación de hojarasca, acelerando el proceso de degradación de materia orgánica (Huera-Lucero, 2020).

6.1.4 Meso fauna

Dentro de este grupo se encuentran pequeños invertebrados como: colémbolos, que participan en el reciclaje de residuos orgánicos, así como en los procesos de trituración a pequeña escala y se los considera depredadores de nemátodos y hongos (Socarrás, 2013); por su parte los ácaros son considerados depredadores de otros invertebrados, su función radica en el proceso de estabilidad y fertilidad del suelo, además de la descomposición de materia orgánica (Huera-Lucero, 2020); también encontramos proturos, dipluros y pauropodos, estos habitan estratos profundos y son muy sensibles a los cambios del medio (Karyanto et al., 2010). La diversidad, abundancia y rol funcional permiten estimar y evaluar el recurso suelo, ya que muchos de estos organismos son considerados bioindicadores de la fertilidad y estabilidad del medio que habitan (Moreira et al., 2012).

6.1.5 Microfauna

Se compone principalmente de hongos, algas, bacterias y protozoos, son organismos microscópicos, es decir, que no se pueden ver a simple vista, es por ello que su estudio se considera tedioso y con un cierto grado de dificultad, su actividad funcional se centra en procesos de descomposición y mineralización, formación de agregados y secreción de encimas para el control biológico de otros organismos (Huera-Lucero, 2020).

6.1.6 Indicadores biológicos (Bioindicadores)

Las comunidades de fauna edáfica del suelo son consideradas una de las mejores alternativas para determinar la salud y calidad del suelo, debido a su rol funcional en los ecosistemas y a la susceptibilidad que sufren los organismos cuando se somete a un cierto grado de perturbación o degradación el medio edáfico (Huera-Lucero et al., 2020), algunas características que los hacen aptos para ser considerados bioindicadores son sus hábitos alimenticios que principalmente se basa en la degradación de materia orgánica, su gran capacidad de especiación, sus ciclos de vida corto y su baja capacidad de dispersión (G. Cabrera, 2019). En tal sentido, Trujillo et al., (2018) sugiere que para determinar la calidad del suelo cualquier indicador debe estar estrechamente relacionado con el uso, la fauna edáfica se considera como indicador biológico, debido a su rápida respuesta en los cambios de uso de la tierra. Entre los organismos que mayormente se usan como bioindicadores están las lombrices de tierra, su composición y abundancia indica hábitats preservados debido a su sensibilidad frente a cambios en la cobertura del suelo; los escarabajos de acuerdo el nicho que ocupan, se consideran indicadores del estado de conservación; las termitas por lo general indican hábitats menos conservados o con un cierto grado de perturbación, ya que son organismos oportunistas y resistentes frente a los cambios en el medio, sin embargo, son de gran importancia ya que se encuentran en el centro ecológico de varios ecosistemas tropicales; los caracoles y babosas son muy sensibles a cambios bruscos de humedad y temperatura, por lo general indican cambios en la cobertura vegetal; los colémbolos son usados como bioindicadores de la contaminación del suelo, debido a su gran sensibilidad frente a productos químicos; los ácaros debidos a sus características morfológicas y bioecológicas, pueden considerarse como indicadores de la perturbación ya que sobreviven en ambientes desfavorables, es por ello que se convierten en un buen indicador, por su abundancia en suelos perturbados (Moreira et al., 2012; Socarrás, 2013; Huera-Lucero, 2020; MMA & A, 2020; Peña, 2021).

6.1.7 Materia orgánica del suelo

El contenido de materia orgánica total en el suelo es considerado un buen indicador de calidad y/o fertilidad, ya que es un importante componente vinculado a las funciones ecológicas, como la provisión de nutrientes en la agricultura, almacén de carbono, la

mitigación de gases efecto invernadero, entre muchas otras (Quiroga et al., 2017), Sánchez et al., (2005), la define como la mezcla heterogénea de residuos de animales y plantas en un estado de descomposición a través de un proceso biológico, en el que participan un sinnúmero de organismos que habitan en el medio edáfico, durante el proceso de descomposición de materia orgánica se recicla carbono a la atmósfera, y se liberan elementos que son aprovechados principalmente por las plantas, así como efectos beneficiosos en la fertilidad del suelo y en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Una de las grandes propiedades que presenta la materia orgánica del suelo es la gran capacidad de adsorción de sustancias como plaguicidas (Julca et al., 2006). Arguello, (1991) menciona que las variaciones en la cantidad de materia orgánica, depende de factores relacionados con relieve, clima, vegetación, temperatura, precipitación, humedad.