

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE**



**ESTUDIO DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES EN LOS DISTRITOS DE LABERINTO E INAMBARI  
DEL DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS**

**TESIS PRESENTADO POR:**

**Bachiller: CCOYCCA LEON, Segundo  
Lorenzo**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO  
AMBIENTE**

**ASESOR: Ing. MSc. PEÑA  
VALDEIGLESIAS, Joel**

**PUERTO MALDONADO, 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE**



**ESTUDIO DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES EN LOS DISTRITOS DE LABERINTO E INAMBARI  
DEL DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS**

**TESIS PRESENTADO POR:**

**Bachiller: CCOYCCA LEON, Segundo  
Lorenzo**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO  
AMBIENTE**

**ASESOR: Ing. MSc. PEÑA  
VALDEIGLESIAS, Joel**

**PUERTO MALDONADO, 2018**

## **DEDICATORIA**

A mi padre Lorenzo Santiago Ccoycca Perez, por brindarme las mejores enseñanzas, sus consejos y apoyo y la gran oportunidad de poder realizar y continuar mis estudios. A mi madre Livia Leon Zegarra por su paciencia y apoyo brindado durante toda mi formación académica.

A mis hermanos Alexander y Ricardo, y Jeancarlos que en paz descansen y que desde cielo me brinda su cuidado. Por brindarme ellos su apoyo y motivación. A mis maestros Y también a todas las personas que hicieron posible que se cumplan mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, a mis padres, en especial a mi madre; que con su apoyo ha sabido guiarme por el camino del bien, y así poder culminar una etapa más de mi vida, además de ser pilar fundamentales para este logro.

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, que cumple con su misión principal, Formar profesionales competentes, a todos y cada uno de los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, que compartieron sus conocimientos y experiencias en nuestra formación universitaria y que nos han ilustrado e inculcaron en nosotros la formación de la ética profesional.

Al Ing. Joel Peña Valdeiglesias con su apoyo en calidad de Asesor de la presente tesis, que con sus acertadas observaciones y recomendaciones me ayudaron a encaminar el trabajo de investigación.

## **PRESENTACIÓN**

El presente Informe de Tesis, desarrollado como parte de los requisitos para la obtención del título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, tiene como propósito ampliar el conocimiento del estado de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales. La deforestación y degradación de bosques generados por la agricultura migratoria, minería aurífera y extracción forestal, vienen causando la pérdida de biodiversidad de los ecosistemas, con severa alteración de los suelos. No obstante, desde hace 2 décadas, actividades menos impactantes y más sostenibles como la agroforestería, están siendo establecidos extensamente en la región de Madre de Dios. Por otro lado, es conocido que la macrofauna del suelo está estrechamente relacionada con la fertilidad de los suelos. En este contexto, se verifica que estudios relacionados al impacto de la agroforestería en la macrofauna del suelo, son escasos en la literatura científica. Por tanto, la presente investigación pretende cubrir parte de este vacío de información, siguiendo el método científico. Los resultados ofrecen una descripción detallada de la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo, así como relaciones con las características del suelo y composición de los sistemas agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari.

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la macrofauna del suelo de los sistemas agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari, departamento de Madre de Dios, se muestrearon 25 predios agroforestales, en los cuales se ubicaron aleatoriamente 6 monolitos de 25 cm x 25 cm x 30 cm en transectos de 25 a 50 m de largo. De estos, se extrajeron la hojarasca y suelo, para el conteo, identificación y almacenamiento en alcohol de los macroinvertebrados. Posteriormente, en laboratorio, la masa fresca de los individuos fue pesado, obteniéndose la biomasa de la macrofauna por cada predio agroforestal. Asimismo, muestras de suelo de cada predio, fueron colectados y analizadas para determinación de sus características físicas y químicas. Paralelamente, inventario de los cultivos fue realizado en cada predio agroforestal, para determinar la abundancia y composición de especies de plantas. Las características del suelo, y abundancia de especies de plantas fueron correlacionadas con la macrofauna del suelo. Los resultados mostraron una densidad de 163,09 ind. m<sup>-2</sup> distribuidos en 20 órdenes, y biomasa de 17,09 g m<sup>-2</sup>. Los órdenes de mayor densidad fueron Haplotaxida (69,97 ind. m<sup>-2</sup>, 42,90%), Hymenóptera (27,52 ind. m<sup>-2</sup>, 16,88%), Isoptera (26,88 ind. m<sup>-2</sup>, 16,48%), y Coleoptera (12,59 ind. m<sup>-2</sup>, 7,72%). Sin embargo, en cuanto a la biomasa, sólo Haplotaxida (12,71 g m<sup>-2</sup>, 74,41%) y Coleoptera (1,5 g m<sup>-2</sup>, 8,87%) fueron los órdenes más importantes. La diversidad de la macrofauna, en general, fue bajo con valores de 0,09; 2,60 y 0,68 respectivamente para los índices de Simpson, Shannon y Evenness. Tanto la densidad como la biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna tuvieron alta variación entre los predios evaluados. En general, la variación de las características del suelo, no influenciaron en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna; sin embargo, la alta abundancia de cacao y especies maderables (Achihua y Tornillo), influenciaron positivamente en la macrofauna, incrementando su biomasa y diversidad.

**Palabras clave:** Diversidad de la macrofauna del suelo; fertilidad del suelo; Cacao.

## ABSTRACT

With the objective of evaluating the soil macrofauna in agroforestry systems of Laberinto and Inambari districts, Madre de Dios Department, 25 agroforestry farms were sampled, in which 6 monoliths of 25 cm x 25 cm x 30 cm were randomly located in transects of 25 to 50 m long. Litter and soil were extracted from monoliths, for counting, identification, and storage in alcohol of the macroinvertebrates. Subsequently, in the laboratory, individual fresh mass was measured, obtaining the macrofauna biomass for each agroforestry farm. In addition, soil samples from each farm were collected and analyzed to determine their physical and chemical characteristics. In parallel, crop inventory was carried out, to determine the abundance and composition of plant species. Soil characteristics and abundance of plant species were correlated with the soil macrofauna. The results showed a density of 163,09 ind. m<sup>-2</sup> distributed in 20 orders and biomass of 17, 09 g m<sup>-2</sup>. The highest density orders were Haplotaxida (69,97 ind. m<sup>-2</sup>, 42,90%), Hymenoptera (27,52 ind. m<sup>-2</sup>, 16,88%), Isoptera (26,88 ind. m<sup>-2</sup>, 16,48%), and Coleoptera (12,59 ind. m<sup>-2</sup>, 7,72%). However, in terms of biomass, only Haplotaxida (12,71 g m<sup>-2</sup>, 74,41%) and Coleoptera (1,5 g m<sup>-2</sup>, 8,87%) were the most important orders. The macrofauna diversity, in general, had low values of 0,09; 2,60 and 0,68 respectively for the Simpson, Shannon and Evenness indices. Macrofauna density, biomass, richness and diversity had high variation among farms. Soil characteristics variations did not influence on macrofauna density, biomass, richness, and diversity; however, the high abundance of cocoa and timber species (Achihua and Tornillo), positively influenced the macrofauna, increasing its biomass and diversity.

**Keywords:** Soil macrofauna diversity; soil fertility; Cocoa.



## INTRODUCCIÓN

Amazonía Peruana, durante las 2 últimas décadas, viene sufriendo procesos de deforestación y degradación de los bosques primarios; al año 2000 alrededor de 7 172 553,97 ha fueron deforestadas (Ministerio del Ambiente 2009) , y sólo entre el 2014-2015 se deforestaron 107 067,81 ha (Ministerio del Ambiente 2016). Una fuente importante que contribuye a la deforestación y degradación es la agricultura migratoria con sus practicas tradicionales de roce y quema. En Madre de Dios, además otras fuentes importantes son la minería aurífera (Alvarez-Berríos y Mitchell Aide 2015; Joshi et al. 2015) y la extracción forestal. Consecuentemente la biodiversidad de los bosques ha sido severamente afectada en estas zonas, además de la pérdida de fertilidad de suelos. En el Departamento de Madre de Dios, como en gran parte de la Amazonía Peruana, la agroforestería se perfila como una actividad económica alternativa de la agricultura tradicional, más amigable con el medio ambiente, debido a que al integrar especies de árboles, se reduce la erosión de los suelos y pérdida de materia orgánica y nutrientes, manteniendo o incrementando la fertilidad de los suelos, además de ser más autosostenibles que la agricultura tradicional (Murthy et al. 2016). La degradación y pérdida de fertilidad de los suelos, esta relacionada directamente a cambios en la abundancia y diversidad de la macro y meso fauna del suelo (Lavelle et al. 1992). Estos organismos cumplen un rol central en varias funciones ecosistémicas que sostienen la calidad de suelo y el crecimiento de las plantas, como una fuerza controladora en el ciclo de nutrientes e interacción con los microorganismos que descomponen y mineralizan los residuos vegetales (Yang, Warren y Zou 2007). Por tanto, prácticas que impactan severamente en la comunidad de macrofauna del suelo, llevan a importantes cambios en el funcionamiento del suelo; además, la fauna del suelo, también varía con el tipo de cobertura vegetal, cantidad y calidad de hojarasca (Sileshi y Mafongoya 2006). En este contexto, estudios de composición, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales, son necesarios para conocer su estado y la relación con las características del suelo, así como con la composición y abundancia de diversos cultivos de los sistemas agroforestales.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	9
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. Descripción del problema .....	15
1.2. Formulación del problema .....	16
1.3. Objetivos .....	17
1.4. Variables .....	17
1.5. Operacionalización de variables .....	19
1.6. Hipótesis: .....	20
1.7. Justificación .....	20
1.8. Consideraciones éticas .....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes de estudios .....	22
2.2. Marco teórico .....	24
2.2.1. Macrofauna del suelo .....	24
2.2.2. Sistemas Agroforestales (SAF): Concepto, Características y Clasificación	
25	
2.2.3. Diversidad biológica .....	26
2.3. Definición de términos .....	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	30
3.1. Tipo de estudio .....	30
3.2. Diseño del estudio .....	30
3.3. Población y Muestra .....	30
3.3.1. Población .....	30
3.3.2. Muestra .....	30
3.4. Métodos y técnicas .....	31
3.4.1. Lugar de estudio. ....	31
3.4.2. Técnica de muestreo de macrofauna en suelo .....	33
3.4.3. Determinación de la densidad y biomasa de la macrofauna del suelo.	

3.4.4.	Determinación de las características físicas y químicas del suelo ....	35
3.4.5.	Determinación de los índices de diversidad .....	36
3.5.	Tratamiento de los datos .....	37
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		38
4.1.	Densidad y Biomasa de la macrofauna del suelo.....	38
4.2.	Riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo.....	43
4.3.	Influencia de las características físicas y químicas del suelo en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo .....	49
4.4.	Influencia de la abundancia de plantas de los sistemas agroforestales, en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo .....	55
CONCLUSIONES.....		62
SUGERENCIAS .....		64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		65
ANEXOS.....		73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de los predios agroforestales evaluados en los distritos de Laberinto e Inambari. ....	32
Figura 2: Esquema de los pasos a seguir en el muestreo manual de macroinvertebrados del suelo y hojarasca, según el manual de Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales (TSBF) Fuente: Anderson & Ingram, 1993 .....	33
Figura 3: Fotografía de la profundidad de suelo para la muestra de los monolitos de 25 cm x 25 cm x 30 cm. ....	34
Figura 4: Fotografía de la colecta de los macro invertebrados de la hojarasca de forma visual. ....	34
Figura 5: Fotografía del peso de los macroinvertebrados del orden Coleóptera en la Comunidad de Santa Rosa, distrito de Inambari. ....	35
Figura 6: Densidad (ind. m <sup>-2</sup> ) de los órdenes de macrofauna del suelo, en sistemas agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. ....	39
Figura 7: Biomasa (g m <sup>-2</sup> ) de los órdenes de macrofauna del suelo, en sistemas agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. ....	39
Figura 8: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de la densidad de la macrofauna en los predios agroforestales de Laberinto e Inambari. ....	40
Figura 9: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de la biomasa de la macrofauna en los predios agroforestales de Laberinto e Inambari. ....	41
Figura 10: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de la riqueza, en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. ....	44
Figura 11: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de los índices de diversidad, en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. ....	44
Figura 12: Riqueza de órdenes por cada predio agroforestal.....	46
Figura 13: Índice de dominancia de Simpson por cada predio agroforestal. ....	46
Figura 14: Índice de diversidad de Shannon por cada predio agroforestal. ....	47

Figura 15: Índice de diversidad de Evennes por cada predio agroforestal. ..48	48
Figura 16: Coeficientes de correlación entre la densidad de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....51	51
Figura 17: Coeficientes de correlación entre la biomasa de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....52	52
Figura 18: Coeficientes de correlación entre la riqueza de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....52	52
Figura 19: Coeficientes de correlación entre el índice de dominancia de Simpson de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....53	53
Figura 20: Coeficientes de correlación entre el índice de diversidad de Shannon de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....54	54
Figura 21: Coeficientes de correlación entre el índice de diversidad de Evenness de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las	

barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....	54
Figura 22: Diagrama de Proyección Solar, representando proporcionalmente la abundancia de las especies por cada predio agroforestal, de los distritos de Laberinto e Inambari. ....	56
Figura 23: Abundancia de especies cultivadas en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. ....	57
Figura 24: Frecuencia (%) de las especies en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari .....	57
Figura 25: Coeficientes de correlación entre la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna vs. la abundancia de plantas de los predios agroforestales, clasificadas según hábito. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....	59
Figura 26: Coeficientes de correlación entre la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna vs. la abundancia de plantas más cultivadas en los predios agroforestales. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco * significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables .....	19
Tabla 2: Densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo, en los 25 predios agroforestales evaluados de los Distritos de Laberinto e Inambari. “S” representa a la desviación estándar entre los predios. El porcentaje (%) es expresado en relación a la sumatoria total de todos los órdenes. ....	38
Tabla 3: Diversidad alfa global de la macrofauna del suelo .....	43
Tabla 4: Parámetros de la riqueza y diversidad Alfa por cada predio agroforestal.....	45
Tabla 5: Características físicas y químicas de los suelos, por cada predio agroforestales evaluado, en los Distritos de Laberinto e Inambari. ....	50

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción del problema**

Los sistemas agroforestales sostienen la macrofauna del suelo airado por los cambios de temperatura y estrés por sequía (Lavelle et al. 2003); por ende, el buen manejo contribuye al equilibrio de las poblaciones de macrofauna (Barros et al. 2003) y en beneficio a la calidad del suelo (Velasquez, Lavelle y Andrade 2007).

Según Brown et al. (2004) “existe mayor riqueza y abundancia de macroinvertebrados en sistemas agroforestales en comparación con suelos en pastos, esto se debe al gran aporte de hojarasca de los arboles forestales”. Lo que conlleva al mejoramiento de microclimas y que esto genera una fuente de nutrientes y energía en el suelo (Lavelle, Senapati y Barros 2003; Velasquez 2004; Huerta y van der Wal 2012).

En la zona de estudio en el distrito de Inambari y Laberinto presenta un periodo lluvioso de mayores niveles entre diciembre y marzo (GOREMAD y IIAP 2009). En este periodo aumenta la densidad de la macrofauna del suelo, ya que esto presenta una alta correlación con la humedad del suelo y se reduce drásticamente con el periodo de menor precipitación (Gamboa, Suárez y Chaves 2011).

Los cambios brusco en la abundancia y la diversidad de la macro y meso fauna del suelo influyen directamente a la degradación y que esto genera una pérdida de fertilidad en el suelo (Lavelle et al. 1992), por ende estos organismos cumplen muchas funciones ecosistémicas que mantienen la calidad de suelo y el desarrollo de las plantas, y que actúa como una fuerza controladora en el ciclo de nutrientes e interacción con los microorganismos que descomponen y mineralizan los residuos vegetales (Yang, Warren y Zou 2007).



Por tanto, las prácticas que impactan severamente en la comunidad de macrofauna del suelo, llevan a importantes cambios en el funcionamiento del suelo; además, la fauna del suelo, también varía con el tipo de cobertura vegetal, cantidad y calidad de hojarasca (Sileshi y Mafongoya 2006).

Debido a la escasa información que se maneja con respecto a los factores que influyen y determinan las poblaciones de macrofauna en los sistemas agroforestales en la Amazonía peruana, el objetivo de este estudio fue determinar la densidad y biomasa de poblaciones de macrofauna asociada a diferentes sistemas agroforestales existentes en los distritos de Laberinto y Inambari en el departamento de Madre de Dios.

## **1.2. Formulación del problema**

En el contexto del problema planteado, nos formulamos las siguientes interrogantes:

Problema General:

PG: ¿En qué estado se encuentra la macrofauna del suelo en los sistemas agroforestales de Laberinto e Inambari?

Problemas específicos:

- P1: ¿Cuánto es la densidad y biomasa de la macrofauna en los sistemas agroforestales de Laberinto e Inambari?
- P2: ¿Cómo es la diversidad y riqueza de la macrofauna en los sistemas agroforestales de Laberinto e Inambari?
- P3: ¿Existe influencia significativa de las características físicas y químicas del suelo, en la macrofauna en los sistemas agroforestales de Laberinto e Inambari?
- P4: ¿Existe influencia significativa de la abundancia de plantas, en la macrofauna en los sistemas agroforestales de Laberinto e Inambari?

### 1.3. Objetivos

#### Objetivo General

Evaluar la macrofauna del suelo de los sistemas agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari del departamento de Madre de Dios.

#### Objetivos Específicos

- OE1: Determinar la densidad y biomasa de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales.
- OE2: Determinar la riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales.
- OE3: Evaluar la influencia de las características físicas y químicas del suelo en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo.
- OE4: Evaluar la influencia de la abundancia de plantas de los sistemas agroforestales, en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo.

### 1.4. Variables

#### Variables independientes:

- **Tipo de sistema agroforestal:** Está definido por la especie o especies cultivadas más importantes en los predios agroforestales Es una variable cualitativa.
- **Taxon:** Es el orden de los individuos de macrofauna del suelo. Es una variable cualitativa.
- **Características físicas y químicas del suelo:** Se dividen en Sub-variables, y son:
  - Contenido de materia orgánica
  - Contenido de arcilla
  - Contenido de limo
  - Contenido de arena
  - Contenido de carbonato de calcio (%)
  - Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C. (dS/m)
  - pH (1/1)

- Fosforo (P) (ppm)
- Potasio (K) (ppm)
- Materia orgánica (M.O) (%)
- Cationes cambiables (mEq/100g)
  - Calcio (Ca)
  - Magnesio (Mg)
  - Sodio (Na)
  - Potasio (K)
  - Aluminio (Al) + Hidrógeno (H)
  - Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- **Peso:** Es la masa (kg) de los individuos de un determinado taxón o de una parcela

**Variables dependientes:**

- **Densidad:** Es el número de individuos por unidad de área (ind. m<sup>-2</sup>) de un determinado taxón (orden) o de una parcela.
- **Biomasa:** Es el peso total de los individuos por unidad de área (g m<sup>-2</sup>).
- **Dominancia:** Es la sumatoria de las áreas basales de la abundancia de una especie sobre un área especificada y que esto es expresada en metros cuadrados por hectarea (m<sup>2</sup>/ha).
- **Diversidad:** Se subdivide en: índice de diversidad de Shannon (H'), índice de Evenness, e índice de dominancia de Simpson (Magurran 1988).
- **Riqueza:** Hace referencia al número total de taxones (especies, familias u órdenes) en una comunidad.

## 1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Objetivo	Variables	Indicadores	Unidad de medida
Determinar la densidad de la macrofauna en los sistemas agroforestales	Taxon	Orden de los individuos	Adimensional
	Densidad	Número de individuos por metro cuadrado	Ind. m <sup>-2</sup>
Determinar la biomasa de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales	Taxon	Orden de los individuos	Adimensional
	Biomasa	Peso de los individuos por metro cuadrado	g m <sup>-2</sup>
Determinar la riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo en sistemas agroforestales	Taxon	Orden de los individuos	Adimensional
	Riqueza	Número de órdenes	Órdenes
	Diversidad	Índice de diversidad de Shannon	Adimensional
		Índice de diversidad de Evenness	Adimensional
Índice de dominancia de Simpson		Adimensional	
Evaluar la influencia de las características físicas y químicas del suelo en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo	Características físicas y químicas del suelo	Características físicas: Contenido de arena, arcilla y limo, contenido de materia orgánica	%
		Características químicas: pH, K, P, cationes cambiabiles, capacidad de intercambio catiónico	ppm, mg kg <sup>-1</sup>
	Taxon	Orden de los individuos	Adimensional
	Densidad	Número de individuos por metro cuadrado	Ind. m <sup>-2</sup>
	Riqueza	Número de órdenes	Órdenes
	Diversidad	Índice de diversidad de Shannon	Adimensional
		Índice de diversidad de Evenness	Adimensional
		Índice de dominancia de Simpson	Adimensional
	Biomasa	Peso de los individuos por metro cuadrado	g m <sup>-2</sup>
	Evaluar la influencia del tipo de sistema agroforestal en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo.	Tipo de sistema agroforestal	Especies más cultivadas
Taxon		Orden de los individuos	Adimensional
Densidad		Número de individuos por metro cuadrado	Ind. m <sup>-2</sup>
Riqueza		Número de órdenes	Órdenes

	Diversidad	Índice de diversidad de Shannon	Adimensional
		Índice de diversidad de Evenness	Adimensional
		Índice de dominancia de Simpson	Adimensional
	Biomasa	Peso de los individuos por metro cuadrado	g m <sup>-2</sup>

## 1.6. Hipótesis:

Las hipótesis presentadas a continuación fueron formuladas para los objetivos OE3 y OE4, que son del tipo experimental; mientras que los objetivos OE1 y OE2 son del tipo descriptivo, por tanto, no es aplicable la formulación de hipótesis.

**H1:** Suelos con mejores características físicas y químicas incrementan significativamente la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna.

**H2:** La abundancia total de plantas de los predios agroforestales incrementan significativamente la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo.

## 1.7. Justificación

La fertilidad del suelo presentan asimilidades de componentes nutritivos que conlleven a las necesidades de las plantas (Gaucher 1971). En tal sentido, la fertilidad compone las características física, químicas y biológicas del suelo (Pieri 1989; Astier, Mass-Moreno y Etchevers 2002).

Cuan importante es estudiar la macrofauna en diferentes tipos de manejo en un sistema agroforestal y las relaciones que ocurren en el suelo, y que estos se relacionan directa o indirectamente en la estructura y fertilidad del suelo.

## 1.8. Consideraciones éticas

En general, en el aspecto ambiental, no se generaron impactos negativos durante la ejecución de de las actividades de campo, debido a la naturaleza mínimamente invasiva del muestro, además todos los trabajos fueron realizados dentro de predios agroforestales, sin contacto con los bosques y

cursos de agua. El muestreo de la macrofauna del suelo apenas se realizó en 6 pequeñas parcelas (monolitos) de 25 cm x 25 cm x 50 cm, en cada predio agroforestal, minimizando impactos negativos en el suelo. Por otro lado, en el aspecto social, los muestreos realizados fueron autorizados por los propietarios de los predios agroforestales, quienes fueron informados previamente del tipo de estudio y las actividades a realizar.

La ejecución del presente trabajo de investigación, siguió los lineamientos del método científico para la obtención de resultados comparables y replicables, se siguieron metodologías estandarizadas para este tipo de estudios como el método del Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) (Anderson, Jonathan Michael y Ingram 1993). Asimismo, fue redactado respetando las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, citando y referenciando adecuadamente los enunciados correspondientes con las normas de citación ISO, respetando los derechos de autoría.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de estudios**

Pashanasi (2001) “en un estudio realizado en Yurimaguas y Pucallpa evaluaron 22 sistemas de uso del suelo durante la estación lluviosa. Encontraron que el bosque primario, no intervenido e intervenido, tuvo una densidad de 382 y 853 individuos/m<sup>2</sup>, con una biomasa de 84,9 y 91,1 g peso fresco/m<sup>2</sup>, bosque secundario de 3 y 20 años presentaron una densidad de 338 y 523 individuos/m<sup>2</sup>, con una biomasa de 4,2 y 105,2 g peso fresco/m<sup>2</sup>. En los cultivos, su densidad poblacional es de 362 a 574 individuos/m<sup>2</sup> y su biomasa, de 5,1 a 30,5 g. peso fresco/m<sup>2</sup>. En el pastizal mejorado, una población de 1 034 individuos/m<sup>2</sup> y una biomasa de 38,4 g peso fresco/ m<sup>2</sup>. Las plantaciones de palma aceitera y caucho tuvieron una densidad poblacional de 560 y 2 896 individuos/m<sup>2</sup> y una biomasa de 18,5 y 170,5 g peso fresco/m<sup>2</sup>”.

Tapia-Coral, Pashanasi y Castillo (2002), “realizaron estudio en el Centro de Investigaciones de Jenaro Herrera (CIJH), 200 km sur oeste de la ciudad de Iquitos, en la margen derecha del río Ucayali, por lo cual reportaron una densidad de 1 611 a 2 781 individuos/m<sup>2</sup> y una biomasa de 30,3 a 42,7 g peso fresco/m<sup>2</sup> en la época lluviosa y menos lluviosa”.

Huerta et al. (2008) “realizaron investigación en 24 sitios, 17 manejados (policultivos arbóreos, frutales, cañaveral y pastos inducidos) y 7 naturales (selva, pastizal y vegetación riveriana). El número de órdenes disminuyó de acuerdo con el tipo de uso del suelo; en los policultivos arbóreos fue de 8 a 6, siendo de 1 a 5 en los monocultivos no arbóreos como el maíz o el pastizal inducido, sitios que presentaron los menores contenidos de materia orgánica”.

Cerón, Montenegro y Noguera (2008) “evaluaron la densidad y biomasa de la macrofauna de suelos con cobertura en bosque. Reportando una densidad promedio de 1 301, 581 y 293 ind. m<sup>2</sup>”.

Suárez Salazar, Durán Bautista y Rosas Patiño (2015) “realizaron estudios en el Centro de Investigaciones Macagual Cesar Augusto Estrada González, Amazonia, Caquetá, Colombia. Sobre la composición de la macrofauna asociada al diferente tipo de arreglo agroforestal, mostrando resultados de densidad de macrofauna con mayor numero en el periodo de máxima precipitación (1129 individuos) en comparación con el de mínima (598 individuos)”.



## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Macrofauna del suelo**

Son organismos cuyo ancho es  $> 2$  mm, y que estos intervienen en diferentes tipos de procesos como son: agregación, estructura y resistencia del suelo, movimiento hidrológico interna y el intercambio gaseoso, mejorando las propiedades químicas y nutricionales del mismo (Lal 1987; Neher 1999; Lavelle y Spain 2001).

#### **Importancia y función de la macrofauna**

La macrofauna cumple muchas funciones en los que destacan: descomposición y el flujo de nutrientes, y son relacionados principalmente por la actividad biológica por ende depende principalmente de la temperatura y la humedad (Brown et al. 2001).

La macrofauna son muy importante para la estructura del suelo y resulta un soporte a las plantas (Brown et al. 2001).

#### **a) Relaciones macrofauna hábitat**

Los procesos del suelo operan a escalas de tiempo y espacio. El clima, seguido por las estructura del suelo relaciona a las plantas presentes en ella, para así determinar la calidad y cantidad componentes orgánicos del suelo (Lavelle, Senapati y Barros 2003).

Según Correia (2002) “a nivel local la composición y distribución de las comunidades son afectadas por factores como son la disponibilidad de recursos, las condiciones microclimáticas, la fertilidad y estructura del suelo”.

##### **▪ Clima:**

Según Curry (1987) el clima “es un factor que ha tenido mayor efecto en los procesos, determinando la estructura y características de las comunidades vegetales y la distribución y densidad de los macroinvertebrados”.

Y con ello la variación estacional impulsa y conlleva a movimientos verticales (Lavelle y Spain 2001).

#### ▪ **Características del suelo:**

Hendricks (1985) “la estructura del suelo determina la distribución de la macrofauna. Existiendo relación positiva entre el número y tamaño de los poros y el tipo de organismos que lo habitan”.

Hendricks (1985) “en cuanto al pH, gran parte de los organismos evitan los suelos ácidos. Y que tiene una fuerte dependencia con el material parental, por el tipo de vegetación y los procesos de descomposición presentan relación sobre ellas”.

En global los organismos del suelo optan por ambientes húmedos. En condiciones de carencia de agua que se trasladan a partes más profundas del suelo (Verhoef y Selm 1983). En suelos con bajas cantidades de nutriente, pero con buenas condiciones de humedad, las poblaciones de la macrofauna son considerablemente abundantes (Luizão et al. 2002).

#### **2.2.2. Sistemas Agroforestales (SAF): Concepto, Características y Clasificación**

La Agroforestería implica practicas que incluyen la asociación de diferentes estratos como son: árboles, cultivos y ganado (Mendieta López y Rocha Molina 2007).

Según el ICRAF (International Council for Research in Agroforestry) “La agroforestería implica un manejo sustentable de cultivos y tierra que busca aumentar los rendimientos en forma permanente, asociando la producción de cultivos agroforestales”.

El objetivo de los SAF es mejorar los efectos benéficos de las interacciones en los diferentes estratos, según las condiciones económicas, ecológicas y sociales. Y presenten una buena alternativa para los agricultores porque reducen la dependencia de un solo cultivo, permiten desarrollar actividades más sostenibles y trae consigo un gran potencial para la captura de Carbono (Guerrero y Riascos 2006).

### **a) Características de los SAF:**

Según Farrell y Altieri la agroforestería presenta cuatro características principales:

**Estructura:** Combina diferentes estratos (árboles, cultivos) en forma conjunta.

**Sustentabilidad:** Optimiza los beneficios de las interacciones y mantiene un equilibrio a una producción a largo plazo sin degradar la tierra.

**Incremento en la productividad:** Las interacciones entre los componentes del sistema agroforestal, da una mayor producción y que esto será superior en comparación a los sistemas tradicionales de uso de la tierra.

**Adaptabilidad cultural/socioeconómica:** Esto implica una serie de técnicas tradicionales y genera menos impacto económico, en el uso de tecnologías muy costosas y modernas.

### **b) Clasificación de los Sistemas Agroforestales:**

Montagnini (1992) lo relaciona como clasificación descriptiva teniendo en cuenta el tipo de componente incluido y la relación existente entre ellos. Por lo cual esta clasificación incluye tres tipos, por ende se describen a continuación:

**Sistemas agroforestales secuenciales:** En este sistema presentan una amplia relación entre los cultivos anuales y las especies forestales.

**Sistemas agroforestales simultáneos:** Este sistema presentan una asociación paralela y continua de cultivos temporales o permanentes, como son también árboles forestales, frutales y ganadería.

**Sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompevientos:** Estos son cadenas de árboles que se utilizan para demarcar un terreno y que sirve también como barrera de protección.

### **c) Diversidad biológica**

El término de diversidad es utilizado frecuentemente en el ambiente de la ecología, uno de los criterios más sencillos, indican a la gran variedad de todas las formas de vida en todo el mundo (Bull, Goodfellow y Slater 1992).

Y otros conceptos de biodiversidad se encuentra más vinculado estrechamente con el inventario y conservación de las especies biológicas (Vallejo & Aranda s/a).

Según Moreno (2001) “este debe principalmente a la riqueza de la vegetación y animal, la cual tiene un valor ilimitado: es un patrimonio natural, consecuencia de la evolución, es decir, por un proceso histórico que ha ocurrido en el tiempo”.

### **Importancia de la diversidad**

Según Solbrig (1991) “menciona que la diversidad es un parámetro útil en el estudio y la descripción de las comunidades ecológicas. Por lo cual la diversidad se compone no sólo de un elemento, sino de la variación y la abundancia relativa”.

### **Clasificación de la diversidad**

Kikkawa (1990) “clasifica la diversidad en: Diversidad en poblaciones y especies, diversidad en ecosistemas y diversidad en comunidades”.

#### **Diversidad en poblaciones y las especies:**

Diversidad genética: Según Moreno (2001) “la variación genética determina la forma en que una especie interactúa con su ambiente y con otras especies”.

Diversidad fenotípica: Indica a las sub-poblaciones que se limitan a un hábitat único (Melo y Vargas 2003).

Diversidad racial: representa el rango de formas genéticamente controladas dentro de una comunidad de especie que se consideran taxonómicamente como razas o subespecies (Melo y Vargas 2003).

#### ▪ **Diversidad en comunidades:**

Los cambios en la biodiversidad esta estrechamente relacionada con la estructura del paisaje, la separación de sus elementos alfa, beta y gamma (Whittaker 1972) y que esto es de gran utilidad, principalmente

para evaluar y monitorear los efectos de las actividades del ser humano (Moreno 2001).

- **Diversidad en su estructura de vida, de desarrollo:**

La diversidad en su estructura indican una extensión de la diversidad o composición florística, lo que refleja la gran variedad de formas (árboles, arbustos, etc.) y estos a la vez producen la diversidad estructural (Whittaker 1972).

Diversidad de Especialistas: Según Moreno (2001) “esta diversidad es muy específica, se refiere al grupo de individuos que se especializan en los diferentes niveles o estratos del bosque”.

- **Diversidad en ecosistemas:**

En cuanto a la diversidad de ecosistemas se deduce a la percepción tan importante en el aspecto ambiental, causando que la diversidad de especies mantiene en equilibrio los ecosistemas (Moreno 2001).

#### **d) Tipos de diversidad**

La diversidad es un parámetro útil que estudia y estima la descripción en diferentes comunidades ecológicas. Para Whittaker (1972) “identifica diferentes componentes de la diversidad biológica y que designa como diversidades alfa, beta y gamma”, y que esto pueda comprender los diferentes cambios en la biodiversidad en relación con la estructura del paisaje (Moreno 2001).

- **Diversidad Alfa ( $\alpha$ ).**

Según Moreno (2001) “determina como el número de especies presentes en un lugar determinado, y que esto puede variar mucho de un lugar a otro, aun siendo de un mismo tipo de comunidad y en un mismo paisaje”.

Para Whittaker (1972) “la diversidad alfa es la riqueza de especies de una muestra territorial y la diversidad alfa es el número de especies que viven y están adaptadas a un hábitat uniforme”.

- **Diversidad Beta ( $\beta$ ):**

Para Whittaker (1972) define “como el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades de un paisaje”.

Dada su valor y importancia en el estudio en las comunidades y su relación con la biodiversidad, esto va generando espacios de manera gradual, hasta llegar a convertirse en un enfoque globamente utilizado (Llorente-Bousquets y Morrone 2001).

### **2.3. Definición de términos**

**Macrofauna:** Son organismos cuyo ancho es  $> 2$  mm, y que estos intervienen en diferentes tipos de procesos como son: agregación, estructura y resistencia del suelo, movimiento hidrológico interna y el intercambio gaseoso, mejorando las propiedades químicas y nutricionales del mismo (Lal 1987; Neher 1999; Lavelle y Spain 2001).

**Diversidad alfa:** Según Whittaker (1972) “la riqueza de especies de una muestra territorial; es el número de especies que viven y están adaptadas a un ambiente semejante, cuyo tamaño determina el número de especies por la relación área-especie, en la cual a mayor área mayor cantidad de especies”.

**Diversidad beta:** Whittaker (1972) “grado de cambio o reemplazo en la estructura de especies entre diferentes comunidades de un paisaje”.

**Sistemas agroforestales:** La Agroforestería implica practicas que incluyen la asociación de diferentes estratos como son: árboles, cultivos y ganado (Mendieta López y Rocha Molina 2007).

**Características físicas y químicas del suelo:** El análisis de suelos nos indica sus características físico-químicas y su estado de fertilidad.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de estudio**

La presente investigación es de tipo descriptivo y correlacional.

Según su finalidad la investigación es aplicada.

Según el carácter de medida es cuantitativa.

Según la profundidad es explicativa, descriptiva y exploratoria.

Según el alcance temporal es transversal.

### **3.2. Diseño del estudio**

La investigación se enmarca dentro del diseño de estudios analíticos observacionales no experimentales, sin grupo control del tipo longitudinal.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población estuvo conformada por el número total de predios agroforestales en los distritos de Laberinto e Inambari, estimado en alrededor de 38 predios que cuentan con manejo de sistema agroforestales en producción. Ya que no existe una base de datos de cuantos sistemas agroforestales existen en la toda la región.

#### **3.3.2. Muestra**

El tamaño de muestra se determinó mediante la siguiente fórmula para poblaciones finitas (Murray y Larry, 2005):

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{(N - 1) \times E^2 + Z^2 \times P \times Q}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de muestra

$Z$  = Margen de confianza

$P$  = Probabilidad de fracaso

$Q$  = Proporción poblacional de no ocurrencia de un evento

$E$  = Error muestral

$N$  = Valor de la población

$n$  = Tamaño de la muestra

Para la presente investigación se toman los siguientes valores:

$Z = 1,645$  (90%)

$P = 5\% = 0,05$

$Q = 1 - P = 1 - 0,05 = 0,95$

$E = 6,6\% = 0,066$

$N = 38$

Aplicando la fórmula:

$$n = \frac{1,645^2 \times 0,05 \times 0,95 \times 38}{(38 - 1) \times 0,066^2 + 1,645^2 \times 0,05 \times 0,95} = 24,56$$

De esta forma, se determinaron 25 predios agroforestales, mayores a 5 años de producción, como muestra, seleccionados aleatoriamente.

### **3.4. Métodos y técnicas**

#### **3.4.1. Lugar de estudio.**

El lugar de estudio abarcó las comunidades de Villa Santiago, Santa Rosa, Santa Rita Baja, Nueva Arequipa y Unión Progreso, dentro de los límites del distrito Inambari, así como las comunidades de San Juan y Florida Alta, distrito de Laberinto (Figura 1).



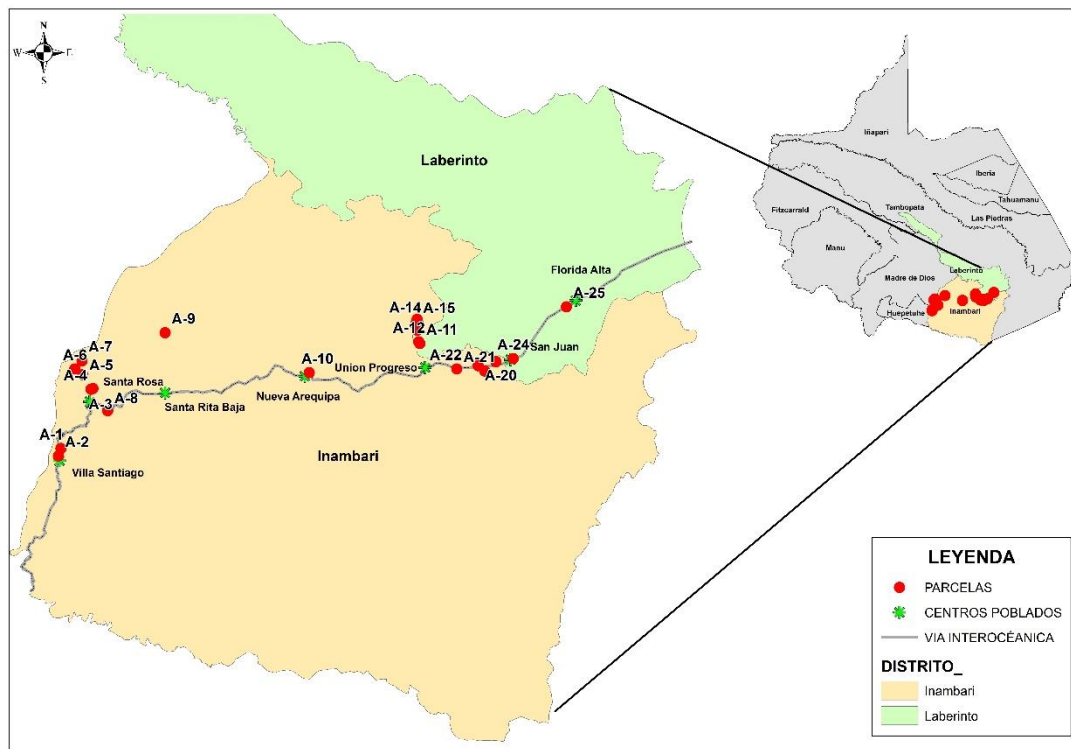


Figura 1: Mapa de ubicación de los predios agroforestales evaluados en los distritos de Laberinto e Inambari.

El clima de los Distritos de Laberinto e Inambari, se caracteriza por presentar una precipitación anual entre 2800 y 3000 mm, con una marcada estación seca de mayo a noviembre. Los meses más húmedos comprenden desde octubre y marzo (>200 mm/mes) mientras que en la temporada seca se presentan 2 ó 3 meses con menos de 100 mm de precipitación mensual, siendo agosto el mes más seco (<50 mm mes) (GOREMAD 2010).

La temperatura media anual varía entre 24°C y 25°C; y la precipitación pluvial entre 1 000 y 2 000 milímetros, aunque es característica la presencia de las masas de vientos fríos provenientes del Sur entre los meses de junio y agosto, común en toda la región (GOREMAD 2010).

### 3.4.2. Técnica de muestreo de macrofauna en suelo

#### a) Muestreo de macrofauna

La metodología utilizada fue del manual de “Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Program (Anderson, J. M. y Ingram 1993)” con el cual se realizaron monolitos de 25 x 25 cm hasta los 30 cm de profundidad (Figura 2).

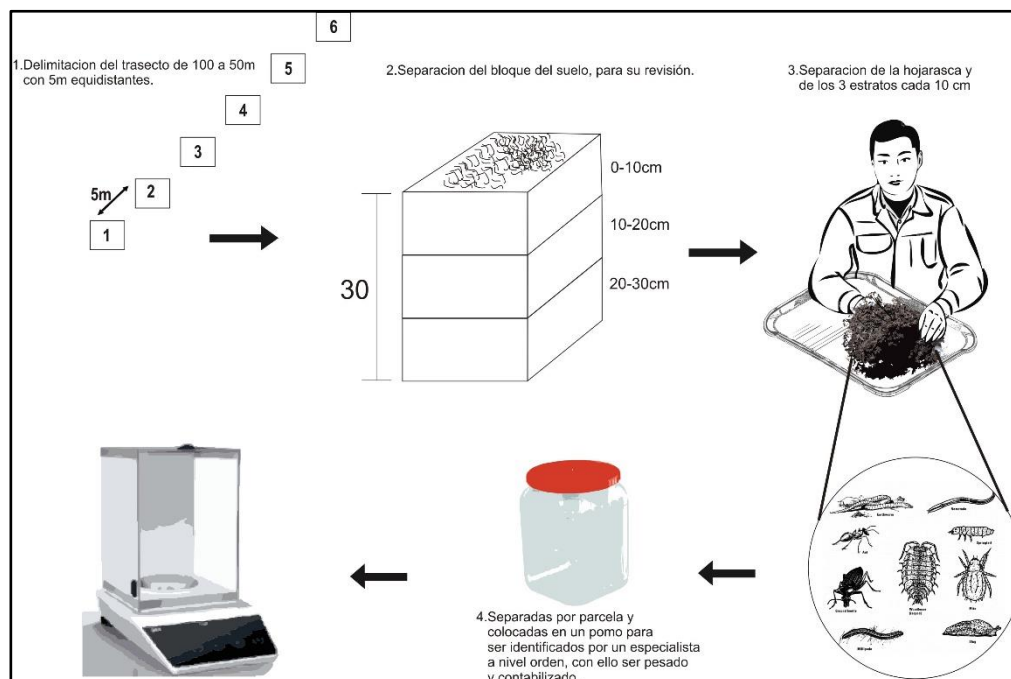


Figura 2: Los pasos a seguir para la colecta de especímenes fue utilizado según el manual de “Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales (TSBF) Fuente: Anderson, J. M. y Ingram (1993)”

#### b) Numero de muestras por sitio

En el método del TSBF, se estableció un transecto de 25 a 50 m de largo con 6 monolitos distantes uno de otro con 10 m (Anderson, J. M. y Ingram 1993) en cada predio agroforestal.

#### c) Cuantificación de macrofauna del suelo

Se colectaron 6 muestras de monolitos de suelo (25 cm x 25 cm x 30 cm de profundidad) aleatoriamente en cada transecto, con distancias equidistantes de 5 metros. Luego de ubicar el área se procedió rápidamente a retirar la hojarasca del suelo y se colocó sobre una base de plástico que seguidamente

retirar los macroinvertebrados que se podría visualizar; y que estos se depositaron en pomos con su respectivo alcohol y código (Figura 3).



Figura 3: Fotografía de la profundidad de suelo para la muestra de los monolitos de 25 cm x 25 cm x 30 cm.



Figura 4: Fotografía de la colecta de los macro invertebrados de la hojarasca de forma visual.

Para la colecta de los macroinvertebrados del suelo se procedió del control visual, revisando minuciosamente los extractos del suelo y se colecto manualmente con ayuda de pinzas en el mismo campo (Figura 4).

### 3.4.3. Determinación de la densidad y biomasa de la macrofauna del suelo.

Los macroinvertebrados colectados fueron conservada en alcohol al 70 % en el laboratorio, y que esto fueron identificadas a nivel orden con el apoyo de un especialista en macrofauna, y que luego fueron contados y pesados. La densidad fue medida en individuos por metro cuadrado (ind. m<sup>-2</sup>) y la biomasa en gramos de peso fresco por metro cuadrado (g m<sup>-2</sup>) (Figura 5).



Figura 5: Fotografía del peso de los macroinvertebrados del orden Coleóptera en la Comunidad de Santa Rosa, distrito de Inambari.

### 3.4.4. Determinación de las características físicas y químicas del suelo

En cada predio agroforestal, se colectaron muestras de la parte superficial del suelo (1/2kg aproximadamente por cada muestra a una profundidad máxima de 30cm.) Se separaron las impurezas como plásticos, raíces y piedras que en estos suelos hay en gran proporción. Posteriormente, las muestras mezcladas, obteniéndose una única muestra por cada predio agroforestal, y enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### 3.4.5. Determinación de los índices de diversidad

#### a) Índice de Shannon

Es los índices más utilizados para medir la diversidad, también conocido como Shannon-Weaver. El índice refleja la uniformidad de especies en relación a su abundancia.

El índice de Shannon (Magurran 1988) se define como:

$$H' = - \sum p_i \times \ln p_i$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde “ $p_i$  es la abundancia relativa de la especie  $i$ , es decir la razón del número de individuos de la  $i$ ésima especie ( $n_i$ ) entre el número total de individuos ( $N$ )”.

Cuando el valor máximo se acerca a 5, existe mayor diversidad. Este índice considera la cantidad de especies presente en el ámbito de estudio y la abundancia relativa de individuos de cada una de las especies.

#### b) Índice de Evenness

El índice de Evenness fue calculado de la siguiente forma (Magurran 1988):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde  $H'$  es el índice de Shannon y  $H'_{max} = \ln S$  (riqueza de especies).

#### c) Índice de Dominancia de Simpson

El índice de Dominancia de Simpson, da la probabilidad de que cualquiera de dos individuos seleccionados al azar de una infinitamente grande comunidad pertenezcan a especies diferentes, matemáticamente fue definido como:

$$D = \sum p_i^2$$

Donde  $p_i$  es la proporción de individuos en la  $i$ ésima especie (Magurran 1988). Con la finalidad de calcular el índice de forma apropiada para una comunidad finita, es usado:

$$D = \sum \left( \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

Donde  $n_i$  es el número de individuos en la  $i$ ésima especie y  $N$  es el número total de individuos (Magurran 1988).

Según Lamprecht (1990) “refleja que este índice depende de la cantidad de categorías que es posible reconocer, pretende una idea de homogeneidad partiendo que un sistema es más diverso cuanto menos dominancia de especies hay, y la distribución es más equitativa. Tomando en cuenta que el valor mínimo para este índice es 1 que indica que no hay diversidad y que la dominancia es alta”.

### **3.5. Tratamiento de los datos**

Los datos fueron sistematizados en hojas de cálculo Excel, y utilizando la opción de tablas dinámicas se crearon tablas y Figuras para expresar la densidad y biomasa de la macrofauna de cada predio agroforestal, por cada tipo de sistema agroforestal, así como comparaciones cuantitativas entre ellas.

Los índices de diversidad fueron determinados usando el software Past3.

Análisis de correlación simple entre la densidad, biomasa y diversidad vs. las características físicas y químicas del suelo y tipo de sistemas agroforestal fueron realizados con el software SAS 9.3.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Densidad y Biomasa de la macrofauna del suelo

En los 25 predios agroforestales evaluados, se encontraron 20 órdenes de macrofauna, con una densidad total de 163,09 individuos  $m^{-2}$ , y biomasa total de 17,09  $g m^{-2}$  (Tabla 2).

Tabla 2: Densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo, en los 25 predios agroforestales evaluados de los Distritos de Laberinto e Inambari. "S" representa a la desviación estándar entre los predios. El porcentaje (%) es expresado en relación a la sumatoria total de todos los órdenes.

Orden	Densidad (ind. $m^{-2}$ )			Biomasa ( $g m^{-2}$ )		
	Total	%	S	Total	%	S
Araneae	4,48	2,75	3,67	0,24	1,39	0,29
Chilopoda	4,80	2,94	11,62	0,31	1,83	0,58
Coleoptera	12,59	7,72	9,03	1,50	8,76	2,35
Dermaptera	0,75	0,46	1,44	0,02	0,13	0,05
Dictyoptera	7,36	4,51	7,59	0,32	1,90	0,40
Diplopoda	2,35	1,44	5,83	0,51	2,96	1,36
Diptera	0,32	0,20	1,17	0,02	0,09	0,06
Gastropoda	0,11	0,07	0,53	0,01	0,04	0,03
Haplotaaxida	69,97	42,90	78,50	12,71	74,41	15,30
Hemiptera	2,67	1,64	5,91	0,16	0,91	0,30
Hymenoptera	27,52	16,87	34,39	0,46	2,67	0,65
Isopoda	0,53	0,33	1,72	0,09	0,52	0,40
Isoptera	26,88	16,48	61,73	0,26	1,54	0,56
Lepidoptera	0,64	0,39	1,59	0,20	1,17	0,81
Opiliones	0,43	0,26	1,48	0,02	0,11	0,07
Orthoptera	0,96	0,59	1,52	0,05	0,30	0,10
Phasmida	0,32	0,20	0,88	0,17	1,01	0,54
Pseudoscorpionida	0,21	0,13	1,07	0,00	0,01	0,00
Scorpiones	0,11	0,07	0,53	0,04	0,23	0,20
Stylommatophora	0,11	0,07	0,53	0,01	0,04	0,03
<b>Total</b>	<b>163,09</b>			<b>17,09</b>		

De entre todos, el orden Haplotaaxida destacó como el de mayor densidad y biomasa alcanzando valores de 69,97 ind.  $m^{-2}$  (42,90%) y 12,71  $g m^{-2}$

(74,41%) respectivamente (Figura 6 y Figura 7). Otros órdenes de importancia por su alta densidad fueron Hymenoptera con 27,52 ind. m<sup>-2</sup> (16,87%) e Isoptera con 26,88 ind. m<sup>-2</sup> (16,48%) (Figura 6), sin embargo, estos dos órdenes tuvieron baja biomasa (Figura 7). Coleoptera fue el cuarto orden con mayor densidad con 12,59 ind. m<sup>-2</sup> (7,72%), asimismo destaca como el segundo orden con mayor biomasa alcanzando 1,5 g m<sup>-2</sup> (8,87%) (Figura 7).

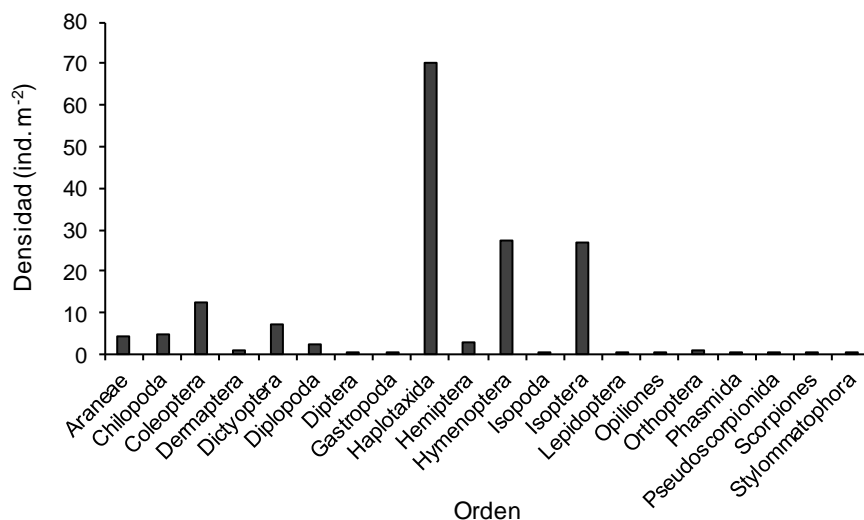


Figura 6: Densidad (ind. m<sup>-2</sup>) de los órdenes de macrofauna del suelo, en sistemas agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari.

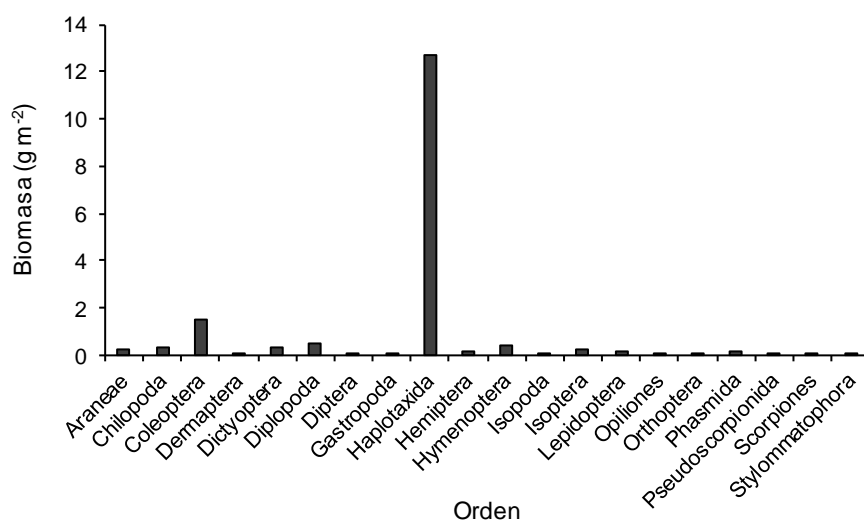


Figura 7: Biomasa (g m<sup>-2</sup>) de los órdenes de macrofauna del suelo, en sistemas agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari.



En los 25 predios agroforestales evaluados, la densidad de la macrofauna mostró una distribución casi simétrica, con una media de 163,09 ind. m<sup>-2</sup> y mediana de 146,66 ind. m<sup>-2</sup>; no obstante, los valores tuvieron amplio rango de variación, desde 45,33 hasta 365,33 ind. m<sup>-2</sup>; con un valor atípico de 365,33 ind. m<sup>-2</sup> registrado en el predio agroforestal N° 24 (Figura 8).

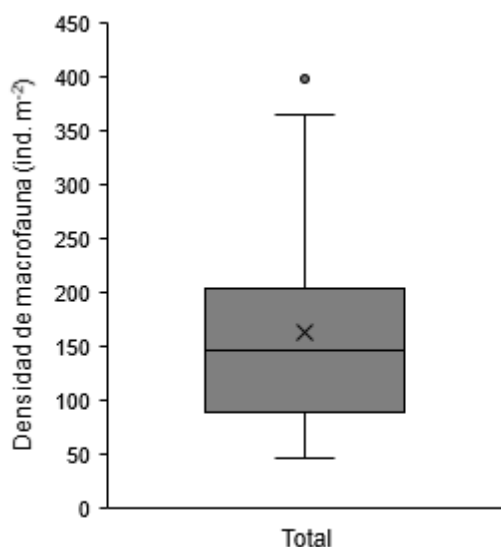


Figura 8: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de la densidad de la macrofauna en los predios agroforestales de Laberinto e Inambari.

Por otro lado, la biomasa de la macrofauna presentó una distribución menos simétrica, con mayor diferencia entre la media y la mediana con valores de 17,09 g m<sup>-2</sup> y 11,36 g m<sup>-2</sup> respectivamente. Además, se presentaron dos valores atípicos de 47,6 y 72,53 g m<sup>-2</sup> en los predios n° 14 y n° 24, muy por encima del rango de variación, que fluctuó entre 3,36 y 32,44 g m<sup>-2</sup> (Figura 9).

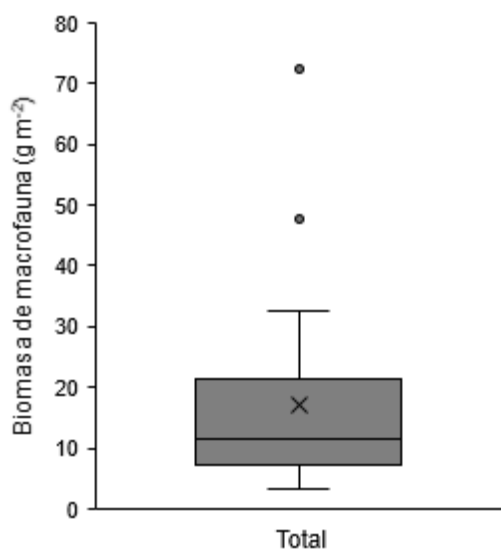


Figura 9: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de la biomasa de la macrofauna en los predios agroforestales de Laberinto e Inambari.

El orden Haplotaxida, cuyas especies son conocidas como lombrices de tierra, fueron el grupo dominante de la macrofauna del suelo, representando el 42,90% del total de individuos y el 74,41% de la biomasa de la macrofauna, encontrado en los predios agroforestales. Este grupo, es comúnmente abundante en los suelos tropicales, de hecho, diversos estudios han encontrado similar proporción de las lombrices de tierra, entre 42% (Tang et al. 2012) hasta 78,5% de la macrofauna del suelo (Durán y Suárez 2013). Haplotaxida son conocidos por participar en la regulación de la dinámica de la materia orgánica y del ciclo biogeoquímico de los nutrientes, en la neutralización de las toxinas generadas por los productos agroquímicos y en la modificación de la estructura del suelo (Zida et al. 2011).

Hymenoptera, orden de las hormigas, 2do grupo de mayor densidad, cumplen importantes funciones en los procesos físico-químicos del suelo. Por sus actividades de excavación, son agentes modeladores del perfil edáfico al contrarrestar la formación de horizontes discretos del suelo. Al seleccionar las partículas que mueven, modifican la textura y la estructura edáfica, al mismo tiempo que forman agregados cementados con secreciones corporales (Alvarez-Sánchez y Naranjo-García 2003).

Isoptera, orden de las termitas, con similar densidad a Hymenoptera, son uno de los agentes biológicos más importantes para reelaborar los suelos. Su comportamiento en la selección, el transporte y la manipulación de las partículas del suelo y su unión con la saliva conlleva algunos cambios inmediatos en la estructura y las propiedades del suelo (Lobry y Conacher 1990).

Sin embargo, tanto Hymenoptera como Isoptera, tuvieron muy bajo aporte en la biomasa total de la macrofauna, debido a su diminuto tamaño y peso de sus individuos, no obstante, debido a abundancia y sus funciones en el suelo, son grupos de alta importancia. Hymenóptera e isóptera, son comumente, los más abundante grupos de artrópodos en suelos tropicales (Barros et al. 2002).

Coleóptera, a pesar de tener menor densidad que Hymenoptera y Isoptera, tuvo alta biomasa sólo debajo de Haplatoxida, estos insectos conocidos como escarabajos, son encontrandos en abundancia en suelos con diversos tipos de uso (Barros et al. 2002; Da Silva Moço et al. 2009; Durán y Suárez 2013), y tienen como función la descomposición del estiércol animal en todo el mundo. Consumen grandes cantidades de estiércol como adultos y larvas. Algunas especies prefieren hábitats boscosos, mientras que otras son comunes en los pastos. Ellos agregan nutrientes al suelo, airean el suelo y competir por el hábitat de anidación y los recursos alimenticios con moscas, además de mejorar el suelo al aumentar la percolación, introducir materia orgánica en el suelo y reducir las fuentes no puntuales de contaminación orgánica (Bertone et al. 2004).

Comparaciones de nuestros resultados, con otros estudios en la amazonia, muestran que la densidad de macrofauna en nuestro estudio fue ampliamente menor ( $163,09 \text{ ind. m}^{-2}$ ) que lo reportado en sistemas agroforestales de Acre y Rondonia, Brasil ( $1\ 737\text{--}1\ 761 \text{ ind. m}^{-2}$ ) (Barros et al. 2002), debido a la alta densidad de isóptera e himenoptera en Acre y Rondonia, sumando juntos mas de  $1100 \text{ ind. m}^{-2}$ ; a diferencia en nuestro estudio estos órdenes tuvieron una densidad de  $55 \text{ ind. m}^{-2}$  (Tabla 2). Sin embargo, la densidad de Haplatoxida “lombrices de tierra” ( $70 \text{ ind. m}^{-2}$ ), fue similar e incluso mayor, que lo reportado en Acre y Rondonia ( $56 \text{ ind. m}^{-2}$ ), así mismo la biomasa de Haplatoxida ( $74,41$

g m<sup>-2</sup>) fue ampliamente mayor a lo reportado en Manaus, Brasil en plantaciones de Shiringa (1 g m<sup>-2</sup>) (Höfer et al. 2001).

La fauna que habitan en el suelo y la hojarasca dependen de la cantidad de hojarasca y calidad y de las condiciones microclimáticas en el hábitat específico (Höfer et al. 2001). En muchos estudios, se ha encontrado que, en bosques primarios, la composición y estructura de la macrofauna difiere considerablemente de áreas dedicadas a la agricultura y agroforestería. En bosques primarios, es notable la abundancia de termitas y hormigas debido a la mayor disponibilidad de madera caídas en el suelo (Höfer et al. 2001). A diferencia, en predios con sistemas agroforestales, debido a la mayor abundancia de cultivos anuales de pequeño porte, se crean condiciones no propicias para la abundancia de termitas y hormigas.

#### 4.2. Riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo

Globalmente, el área de estudio en los predios agroforestales, tuvo una riqueza de 20 órdenes; en cuanto que el índice de dominancia de Simpson fue de 0,09 indicando una baja diversidad y alta dominancia de algunos pocos taxones (Tabla 3). Estos resultados son corroborados con los índices de diversidad de Shannon y de Evenness con valores de 2,60 y 0,68 respectivamente, mostrando la baja diversidad en un nivel global (todos los predios agroforestales juntos).

Tabla 3: Diversidad alfa global de la macrofauna del suelo

Índice	Valor
Riqueza	20
Dominancia de Simpson	0,09
Diversidad de Shannon	2,60
Diversidad de Evenness	0,68

A nivel desagregado (cada predio individualmente), la riqueza de órdenes fue muy variable de un predio a otro, desde un mínimo de 2 órdenes hasta un máximo de 12 órdenes dentro de los predios, con una media de 7,44 órdenes por predio (Figura 10).

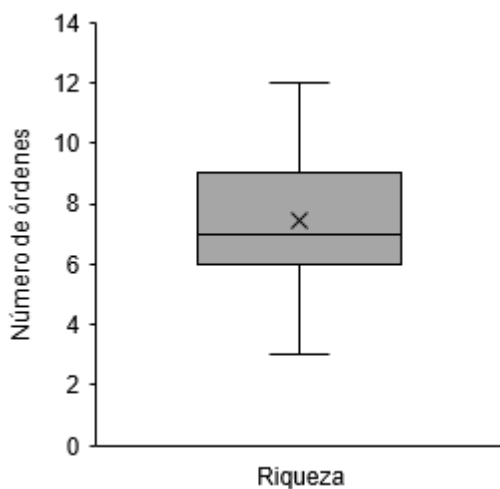


Figura 10: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de la riqueza, en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari.

Respecto a la distribución de los índices de diversidad, los tres índices tuvieron una distribución simétrica entre los 25 predios agroforestales evaluados, con valores promedios de 0,41; 1,28 y 0,54 respectivamente, siendo que el índice de dominancia de Simpson y el índice de diversidad de Evenness presentaron menor variación de un predio a otro, comparado con el índice de diversidad de Shannon que tuvo alta variación entre predios, con índices desde 0,39 hasta 2,09 (Figura 11).

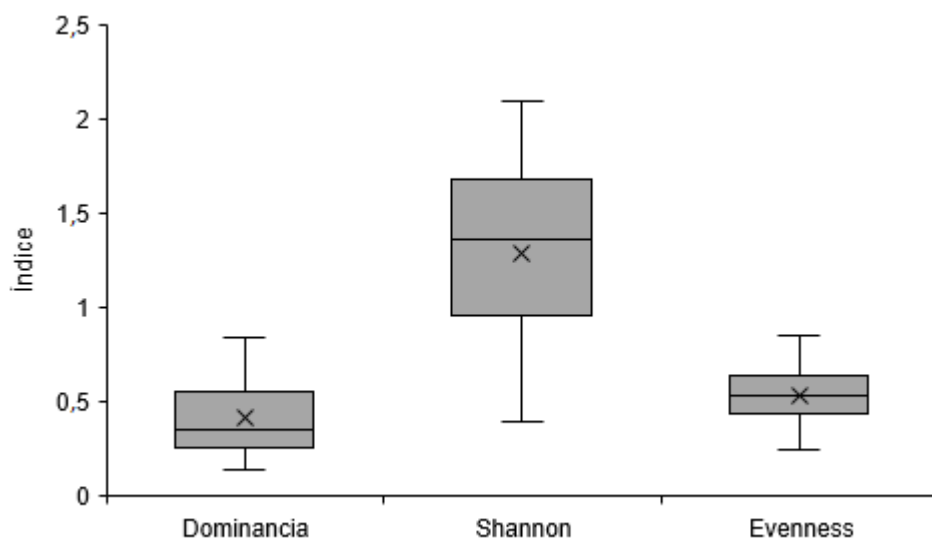


Figura 11: Diagrama de caja "boxplot" de la distribución de los índices de diversidad, en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari.

En la Tabla 4, se presentan una comparación de los parámetros de riqueza y diversidad alfa entre los predios agroforestales evaluados. Asimismo, en las Figuras 12, 13, 14 y 15 estos valores son presentados gráficamente.

Tabla 4: Parámetros de la riqueza y diversidad Alfa por cada predio agroforestal.

Predio agroforestal	Riqueza	Individuos	Índice de dominancia de Simpson	Índice de diversidad de Shannon	Índice de diversidad de Evenness
1	7	31	0,52	1,11	0,43
2	8	34	0,25	1,65	0,65
3	11	45	0,26	1,77	0,54
4	8	34	0,31	1,53	0,58
5	6	36	0,35	1,31	0,61
6	6	65	0,55	0,97	0,44
7	7	41	0,32	1,40	0,58
8	4	55	0,66	0,65	0,48
9	4	32	0,77	0,51	0,42
10	5	31	0,54	0,94	0,51
11	3	17	0,56	0,75	0,71
12	7	29	0,19	1,79	0,85
13	10	87	0,21	1,83	0,62
14	8	126	0,58	0,98	0,33
15	9	104	0,39	1,30	0,41
16	12	149	0,56	1,10	0,25
17	9	66	0,24	1,70	0,61
18	10	58	0,34	1,49	0,44
19	9	39	0,20	1,85	0,71
20	11	65	0,14	2,09	0,74
21	6	22	0,28	1,52	0,76
22	9	98	0,35	1,36	0,43
23	7	65	0,35	1,41	0,59
24	6	137	0,84	0,39	0,25
25	4	63	0,62	0,70	0,50

La Figura 12, representa gráficamente los diferentes valores de riqueza de la macrofauna de los predios agroforestales, con alta variación de un predio a otro, la secuencia de los valores no presentó ningún patrón que indique la influencia de factores de localización o agrupamiento.

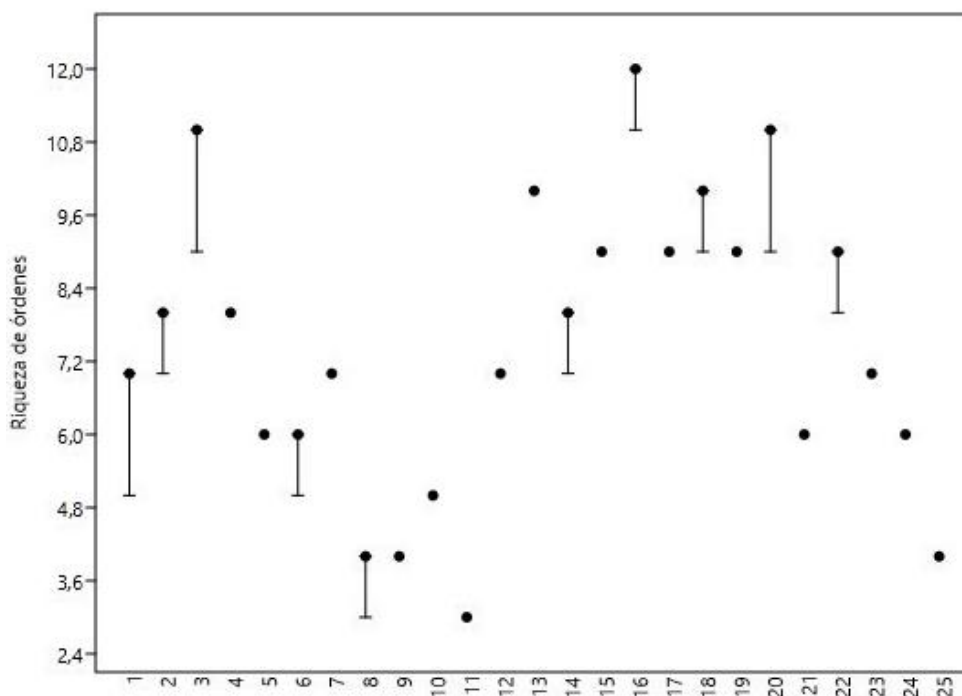


Figura 12: Riqueza de órdenes por cada predio agroforestal.

El índice de dominancia de Simpson, presentó menores variaciones entre predios, no obstante, en muchos casos se presentaron alta variación dentro de cada predio (Figura 13)

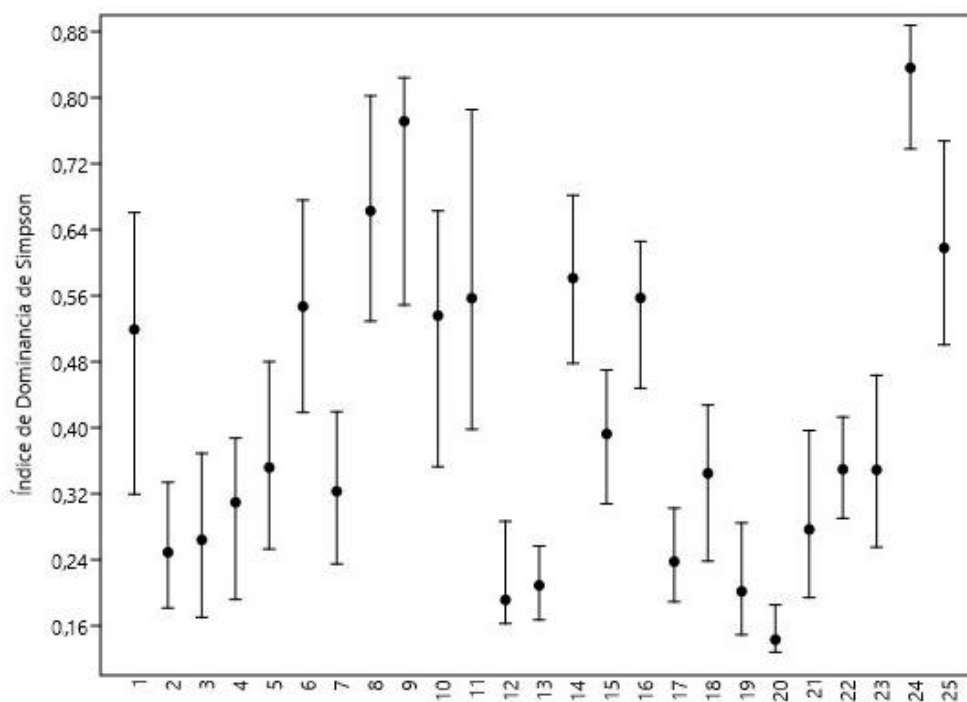


Figura 13: Índice de dominancia de Simpson por cada predio agroforestal.

Respecto al índice de diversidad de Shannon, sus valores tuvieron mayores variaciones comparado con el índice de dominancia de Simpson, no obstante, se presentaron menores variaciones dentro de cada predio (Figura 14).

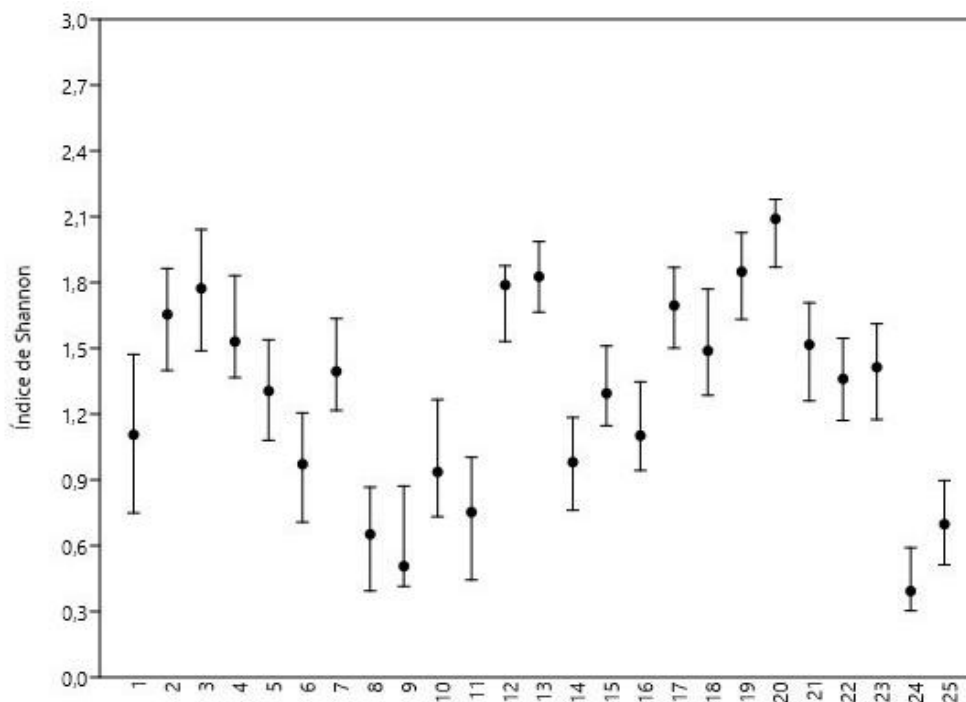


Figura 14: Índice de diversidad de Shannon por cada predio agroforestal.

El índice de Evennes, también presentó variaciones entre predios (Figura 15), similar a lo reportado para el índice de dominancia de Simpson (Figura 13), sin embargo, en menor escala que lo observado en el índice de Shannon (Figura 14).



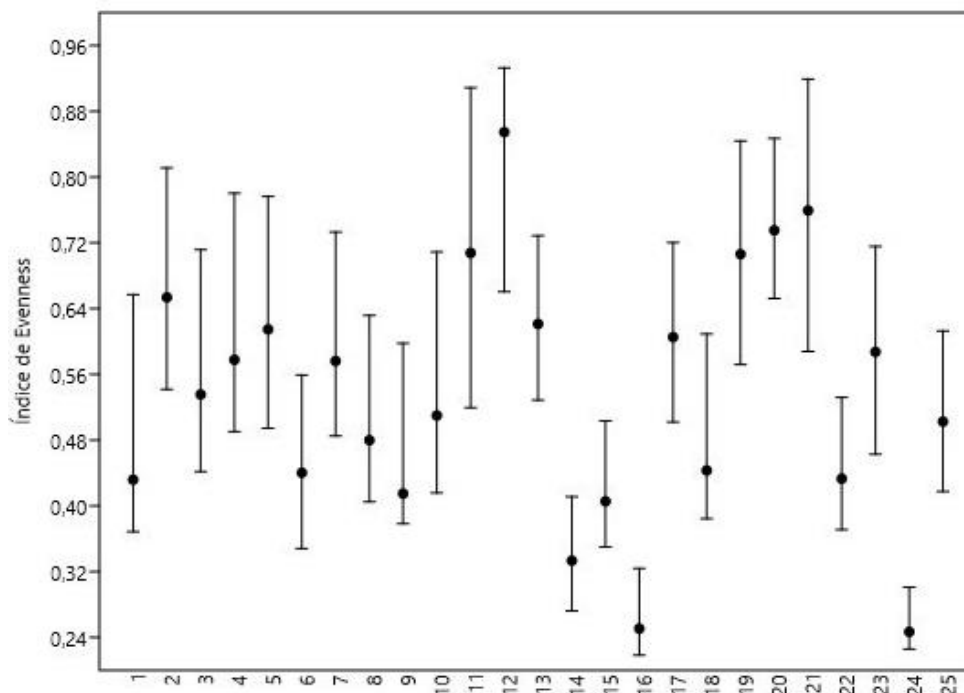


Figura 15: Índice de diversidade de Evenness por cada predio agroforestal.

La riqueza de macrofauna, de 20 órdenes encontrados en los predios agroforestales, fue similar a otras áreas con sistemas agroforestales de la Amazonía Colombiana (21 órdenes) (Durán y Suárez 2013) sistemas agroforestales de Cacao en Bahía, Brasil (19 órdenes) (Da Silva Moço et al. 2009) y en varios tipos de agroecosistemas en la Amazonía de Ecuador (23 órdenes). Por tanto, estos resultados y comparaciones, indican la homogeneidad de la riqueza de la macrofauna, en la Amazonía, a pesar de las diferentes condiciones de hábitat y tipos de suelos.

Por otro lado, valores de Índice de Shannon de 2,94 en Bahía (Da Silva Moço et al. 2009), y 2,26 en Acre y Rondonia, contrastado con la diversidad encontrado en en presente estudio ( $H'=2,60$ ), muestran una diversidad comúnmente encontrado en sistemas agroforestales de la Amazonía. No obstante, los índices de diversidad fueron muy variables de un predio a otro, desde 0,39 hasta 2,09, reflejado también en la variación de la riqueza entre predios, desde 3 hasta 12 órdenes, así como en la densidad con um amplio rango de variación desde 45,33 hasta 365,33 ind. m<sup>-2</sup>.

### **4.3. Influencia de las características físicas y químicas del suelo en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo**

Los análisis de suelos de cada predio agroforestal (Tabla 5), revelaron suelos fuertemente ácidos, con pH variando de 3,74 a 5,34 y un promedio de 4,00, no salinos, con salinidad entre 0,06 y 0,44 dS/m con un promedio de 0,26 dS/m; con baja cantidad de materia orgánica, variando entre 0,56% y 2,96% con promedio de 1,66%. Asimismo, el fósforo y potasio disponible, fue encontrado en bajas concentraciones, entre 2,80 y 8,20 ppm con promedio de 4,32 ppm para el fósforo, y entre 40 y 139 ppm con promedio de 65,12 ppm para el potasio. La clase textural de los suelos fue muy variable entre predios, desde suelos Franco Arenosos (Fr.A) (8%), suelos francos (Fr) (28%), suelos franco limosos (Fr.L) (16%), suelos franco arcillo arenosos (Fr.Ar.A) (24%), suelos franco arcillosos (Fr.Ar) (20%) y suelos franco arcilloso limoso (Fr.Ar.L) (4%). En la mayoría de los predios, los suelos tuvieron mayor contenido de arena o limo, con proporciones promedios de 41,88% y 35,36% respectivamente, y menor contenido de arcilla con proporción promedio de 22,76%. La capacidad de intercambio catiónico de los suelos, fue baja en todos los predios, variando entre 6,40 y 14,40 meq/100g, con promedio de 10,25 meq/100g; estos valores indican también la falta de materia orgánica, para poder elevar la capacidad de retención de nutrientes. La saturación de bases fue menor a 50% en la gran mayoría de los predios, indicación de suelos muy ácidos, con muchos problemas de nutrición de los cultivos, y necesidad de encalamiento.

Tabla 5: Características físicas y químicas de los suelos, por cada predio agroforestales evaluado, en los Distritos de Laberinto e Inambari.

Predio	pH (1:1)	C.E, (1:1) (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> %	M.O.	P (ppm)	K (ppm)	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables (meq/100g)					Suma de Cationes	Suma de Bases	% de Sat. de Bases
							Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
1	5,03	0,15	0,00	0,56	4,6	52	67	20	13	Fr.A.	8,00	2,80	1,13	0,10	0,15	0,20	4,38	4,18	52
2	4,69	0,28	0,00	2,42	5,1	73	21	64	15	Fr.L.	9,92	4,11	1,07	0,14	0,12	0,30	5,74	5,44	55
3	4,04	0,29	0,00	1,74	3,4	76	29	40	31	Fr.Ar.	11,20	0,95	0,42	0,16	0,13	2,40	4,06	1,66	15
4	3,89	0,30	0,00	2,16	3,0	46	55	24	21	Fr.Ar.A.	9,60	0,82	0,27	0,09	0,15	2,00	3,32	1,32	14
5	4,53	0,21	0,00	1,50	5,1	80	11	60	29	Fr.Ar.L.	13,92	2,47	0,88	0,18	0,13	0,80	4,46	3,66	26
6	5,34	0,31	0,00	1,78	8,2	139	17	68	15	Fr.L.	11,20	4,75	1,05	0,32	0,12	0,10	6,34	6,24	56
7	4,86	0,17	0,00	1,24	3,1	84	31	54	15	Fr.L.	9,60	2,88	0,97	0,21	0,12	0,20	4,37	4,17	43
8	4,26	0,26	0,00	1,82	4,6	47	19	62	19	Fr.L.	12,80	2,76	1,27	0,09	0,12	1,80	6,04	4,24	33
9	4,24	0,26	0,00	1,79	3,3	73	29	40	31	Fr.Ar.	12,80	1,83	0,85	0,16	0,14	1,70	4,68	2,98	23
10	3,57	0,34	0,00	1,91	4,0	55	59	24	17	Fr.A.	9,28	0,68	0,27	0,10	0,16	2,50	3,71	1,21	13
11	4,00	0,11	0,00	1,50	4,5	74	49	30	21	Fr.	8,00	0,69	0,25	0,13	0,11	3,40	4,58	1,18	15
12	3,73	0,17	0,00	1,93	7,1	44	49	30	21	Fr.	10,72	0,63	0,23	0,08	0,14	3,30	4,38	1,08	10
13	3,57	0,39	0,00	1,53	3,8	53	57	20	23	Fr.Ar.A.	8,32	0,56	0,40	0,09	0,11	2,90	4,06	1,16	14
14	3,59	0,35	0,00	1,29	6,7	71	53	20	27	Fr.Ar.A.	9,60	0,54	0,28	0,17	0,15	2,90	4,05	1,15	12
15	3,58	0,24	0,00	1,44	3,7	51	51	24	25	Fr.Ar.A.	8,00	0,48	0,23	0,08	0,10	2,30	3,20	0,90	11
16	3,68	0,27	0,00	1,18	4,6	40	53	24	23	Fr.Ar.A.	7,68	0,50	0,23	0,07	0,12	1,90	2,83	0,93	12
17	3,69	0,27	0,00	0,99	3,6	58	51	30	19	Fr.	6,40	0,59	0,28	0,10	0,14	2,20	3,32	1,12	17
18	3,47	0,30	0,00	1,94	3,3	40	57	20	23	Fr.Ar.A.	7,20	0,51	0,23	0,07	0,12	2,40	3,34	0,94	13
19	3,51	0,31	0,00	0,86	4,6	53	45	34	21	Fr.	9,92	0,54	0,23	0,08	0,11	3,90	4,87	0,97	10
20	3,64	0,30	0,00	2,05	2,8	51	39	36	25	Fr.	11,20	0,62	0,23	0,08	0,14	6,00	7,07	1,07	10
21	3,65	0,32	0,00	2,96	3,6	57	51	28	21	Fr.	14,40	0,41	0,23	0,11	0,14	6,60	7,50	0,90	6
22	3,52	0,44	0,00	1,67	3,4	64	37	36	27	Fr.Ar.	14,08	0,53	0,28	0,12	0,11	6,40	7,45	1,05	7
23	3,63	0,36	0,00	1,79	3,3	121	37	36	27	Fr.Ar.	11,20	0,55	0,35	0,23	0,15	5,50	6,78	1,28	11
24	4,13	0,10	0,00	1,37	4,2	62	47	28	25	Fr.	8,32	0,66	0,35	0,11	0,10	4,20	5,43	1,23	15
25	4,18	0,06	0,00	2,02	4,3	64	33	32	35	Fr.Ar.	12,80	0,85	0,35	0,18	0,10	4,20	5,68	1,48	12

Análisis de correlación entre la densidad de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo, mostraron coeficientes de correlación bajos y no significativos, es decir, las variaciones de las características del suelo de los predios agroforestales no afectaron la densidad de macrofauna (Figura 16).

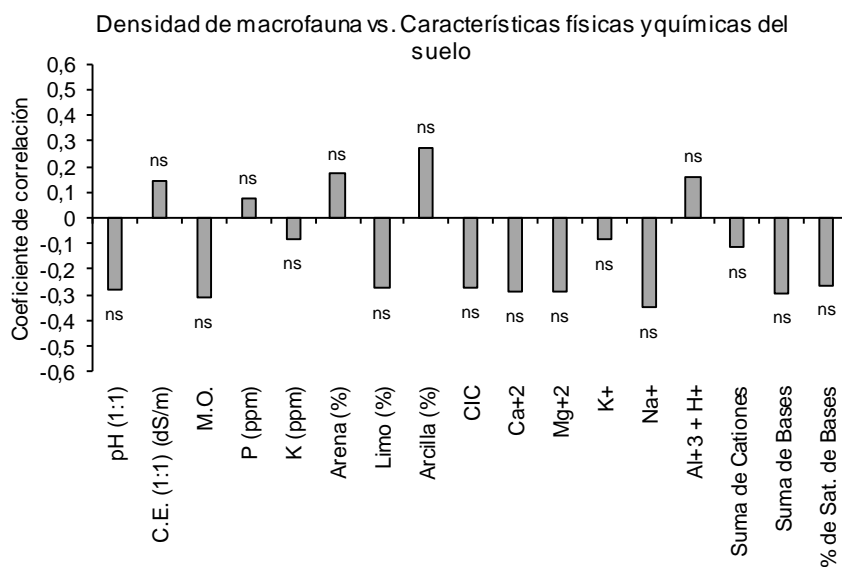


Figura 16: Coeficientes de correlación entre la densidad de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

De la misma forma, los coeficientes de correlación con la biomasa de macrofauna, fueron muy bajos y no significativos, indicando que la biomasa de macrofauna no fue influenciada por la variación de las características físicas y químicas de los suelos de los predios agroforestales (Figura 17)

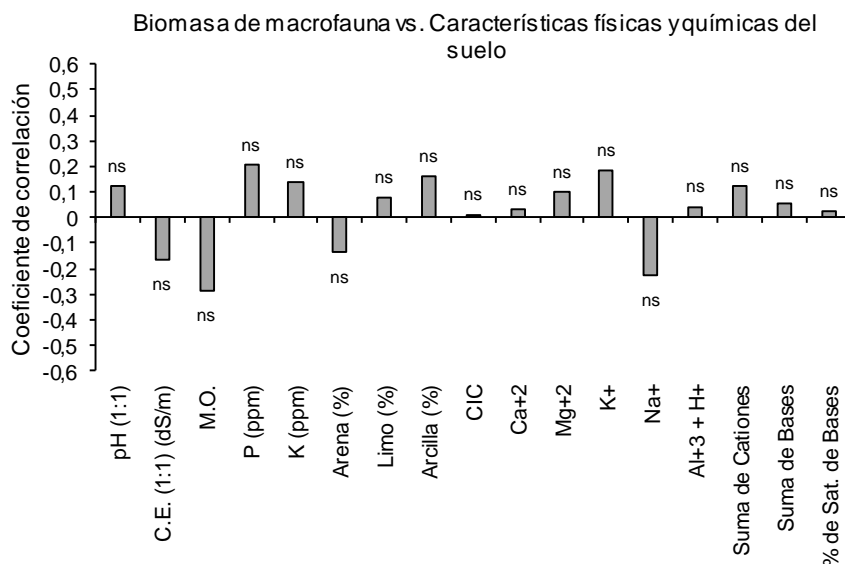


Figura 17: Coeficientes de correlación entre la biomasa de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

Similarmente, no existieron correlaciones significativas entre la riqueza de órdenes y las características físicas del suelo, excepto en el parámetro de conductividad eléctrica que mide la salinidad de los suelos, con coeficiente de correlación significativo, no obstante, la correlación fue baja (Figura 18).

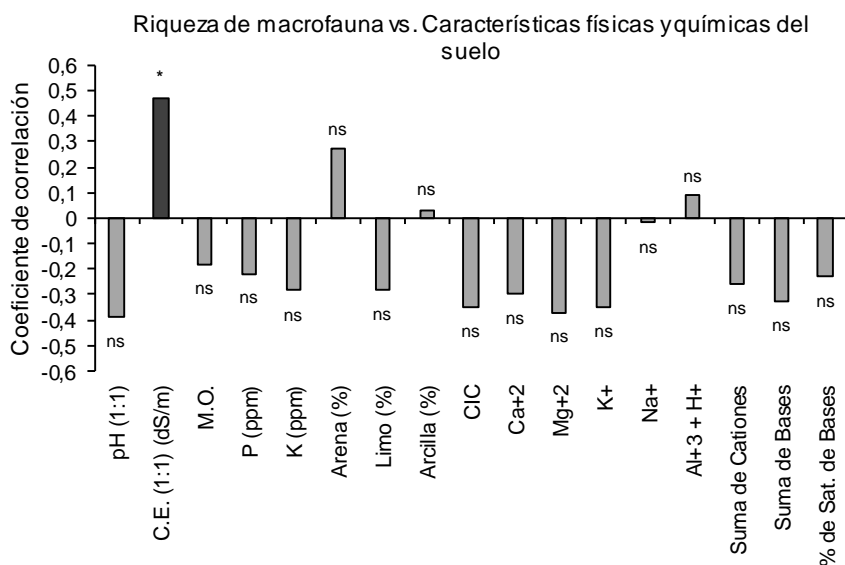


Figura 18: Coeficientes de correlación entre la riqueza de macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de

Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

Nulas y bajas correlaciones también se presentaron entre los índices de diversidad y dominancia (Simpson, Shannon y Evenness) y las características del suelo. Por tanto, en general, el factor suelo, no afectó en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo (Figura 19, Figura 20, Figura 21).

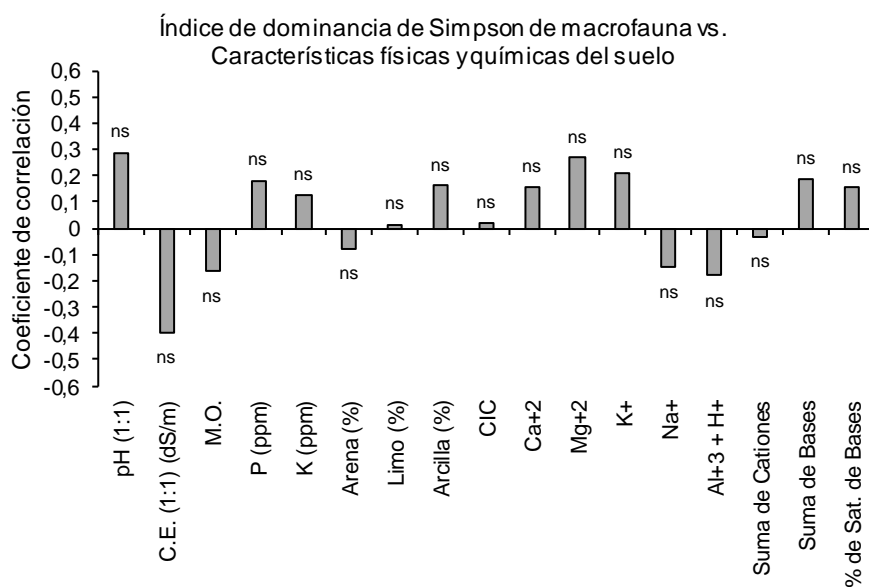


Figura 19: Coeficientes de correlación entre el índice de dominancia de Simpson de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

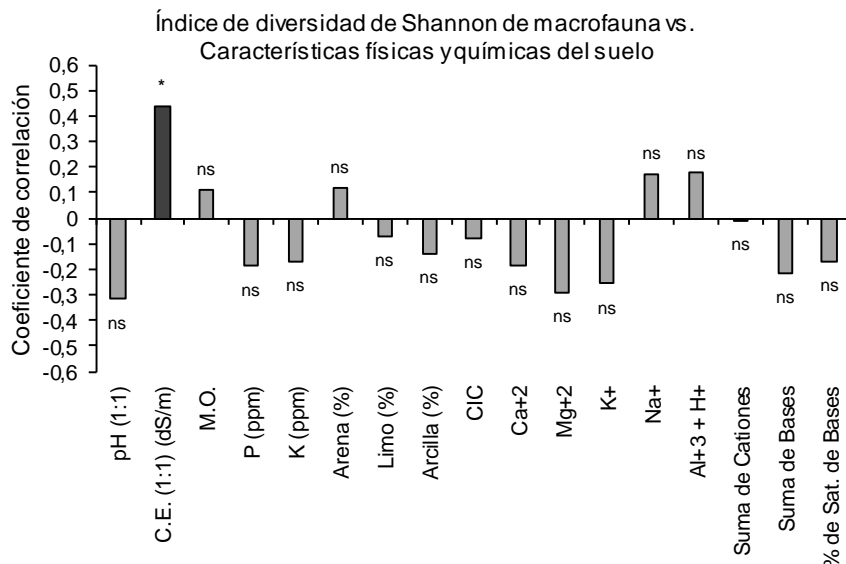


Figura 20: Coeficientes de correlación entre el índice de diversidad de Shannon de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

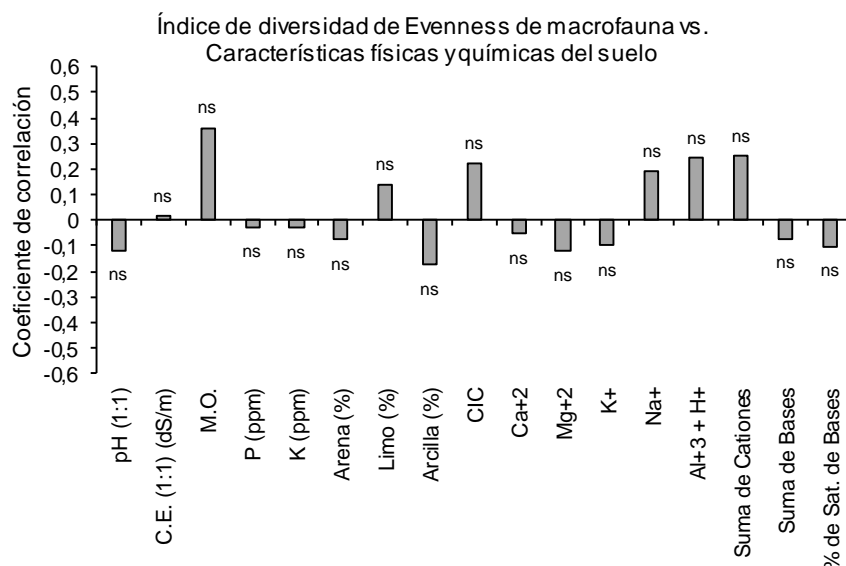


Figura 21: Coeficientes de correlación entre el índice de diversidad de Evenness de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo de los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

Los análisis de correlación entre las características del suelo de los predios agroforestales, comprobó que la grande variabilidad de la macrofauna entre los predios agroforestales evaluados no obedeció a diferencias de las características de suelo de los sistemas agroforestales. La ausencia de correlación significativa puede deberse a que en general los suelos de los sistemas agroforestales presentaron similares condiciones (materia orgánica, pH, P y K disponible, entre otros).

#### **4.4. Influencia de la abundancia de plantas de los sistemas agroforestales, en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo**

Por otro lado, el inventario de las plantas existentes en los sistemas agroforestales, mostró una composición heterógena de los sistemas agroforestales entre un predio a otro (Figura 22). Sin embargo, en general, destacan algunos cultivos más importantes, entre ellos el Cacao y el Copoazú como las especies más cultivadas. Asimismo, en algunos predios, destacan algunas especies maderables como la Achihua y el Tornillo.





Figura 22: Diagrama de Proyección Solar, representando proporcionalmente la abundancia de las especies por cada predio agroforestal, de los distritos de Laberinto e Inambari.

De entre todas las especies, a nivel general, el cacao fue la especie con la más alta abundancia, con alrededor de 305,6 ind. ha<sup>-1</sup> (Figura 23), presente en el 64% de los predios agroforestales evaluados (Figura 24). El copoazú, fue la segunda especie de mayor abundancia con 128 ind. ha<sup>-1</sup>, cultivado en el 56% de los predios agroforestales. Otro cultivo agrícola importante en abundancia, fue el plátano con una abundancia de 64,8 ind. ha<sup>-1</sup> (Figura 23), presente en el 28% de los predios (Figura 24). Entre las especies arbóreas, destacan la Achihua y el Tornillo como las más abundantes y más frecuentemente cultivadas en los predios agroforestales como especies que proporcionan sombra para los cultivos anuales de menor porte; registran una abundancia de 47,2 y 28,8 ind. ha<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 23), con una frecuencia de plantío en alrededor de 24% y 32% respectivamente (Figura

24). Otra especie importante fue la Castaña, frecuentemente encontrado en el 48% de los predios agroforestales, sin embargo, en pocas cantidades en torno a 36 ind. ha<sup>-1</sup>.

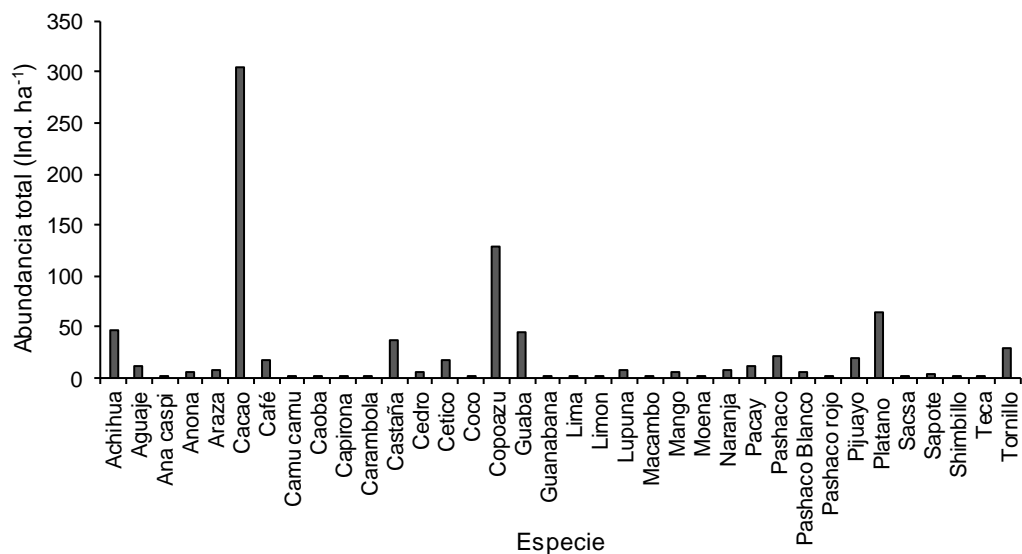


Figura 23: Abundancia de especies cultivadas en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari.

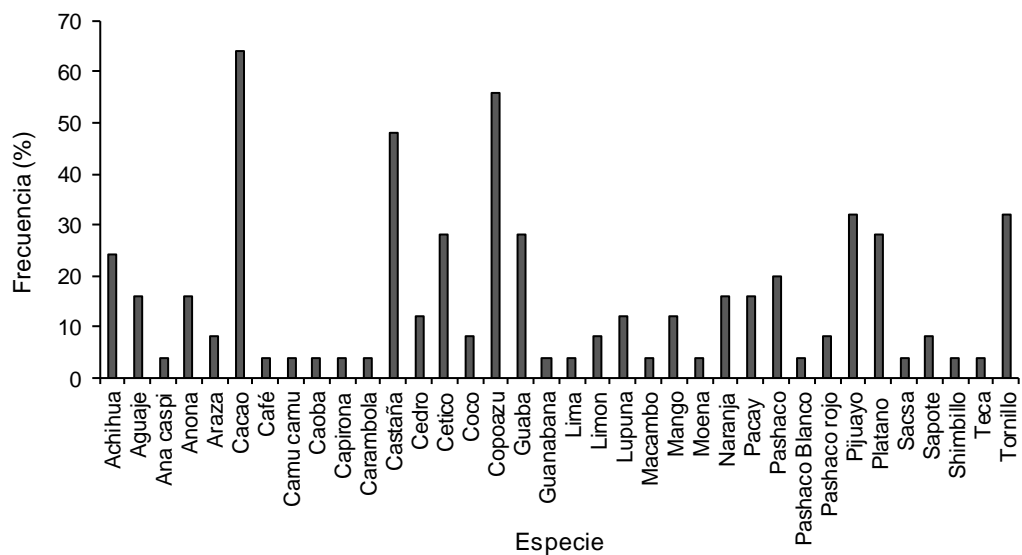
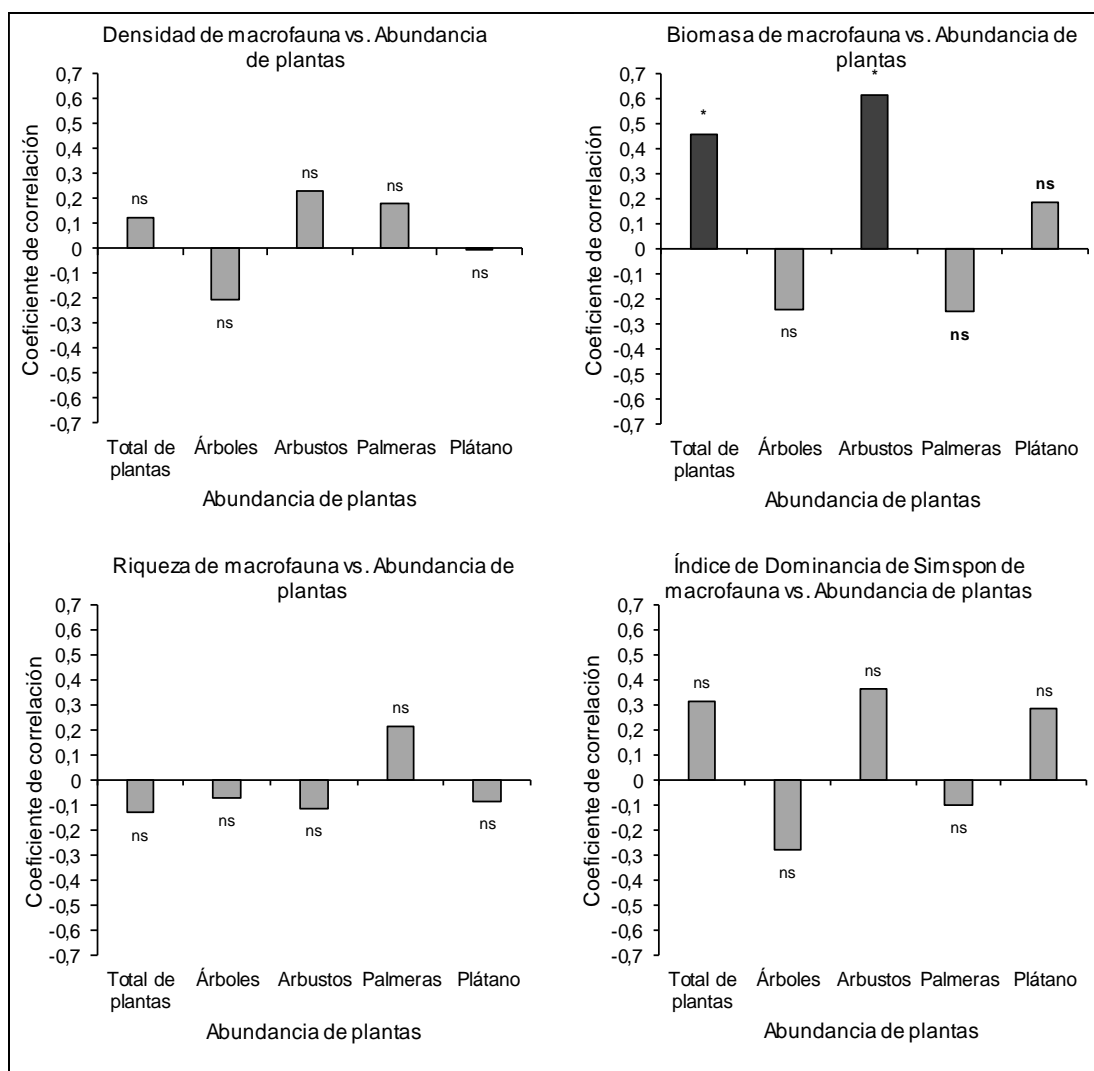


Figura 24: Frecuencia (%) de las especies en los predios agroforestales de los distritos de Laberinto e Inambari

Análisis de correlación entre la macrofauna del suelo y la abundancia de plantas cultivadas, clasificadas según su hábito (árbol, arbusto, palmera, hierba (plátano)) mostraron correlaciones significativas entre algunas variables. Por ejemplo, los análisis mostraron que, la abundancia total de plantas tuvo influencia significativa en la biomasa de la macrofauna, incrementando la biomasa a mayor abundancia de plantas (Figura 25). Asimismo, la abundancia de plantas clasificadas como arbustos, fue fuertemente correlacionada con la biomasa de la macrofauna, indicando incrementos significativos a mayor abundancia de arbustos (Figura 25).

Sin embargo, la densidad, riqueza, índice de dominancia de Simpson e índice de diversidad de Shannon, no tuvieron fuertes correlaciones significativas con la abundancia de plantas (Figura 25).



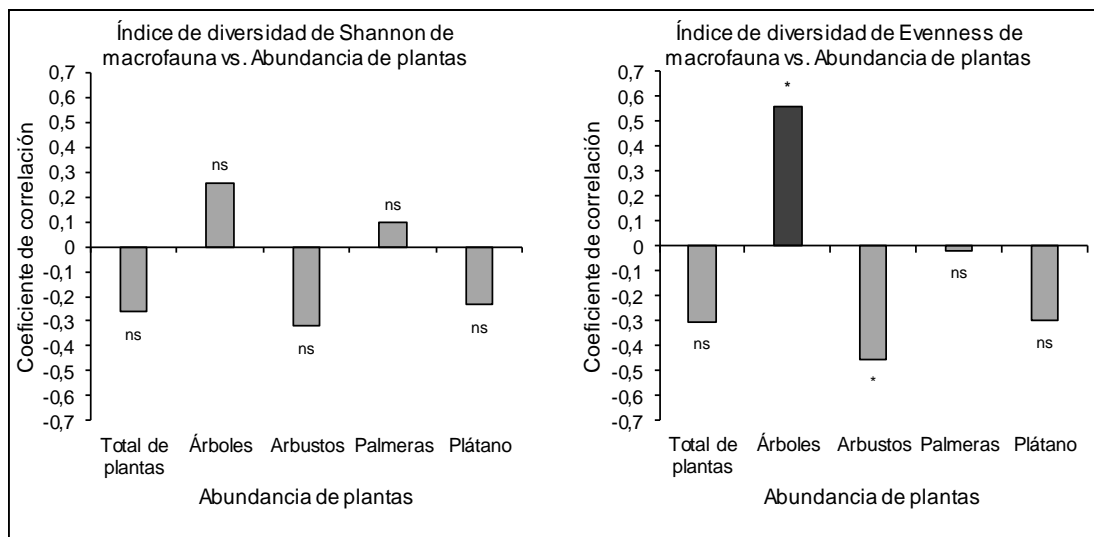


Figura 25: Coeficientes de correlación entre la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna vs. la abundancia de plantas de los predios agroforestales, clasificadas según hábito. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

Por último, relaciones a nivel de especies, más cultivadas como el Cacao, Copoazú, Plátano, Guaba, Tornillo, Castaña y Achihua, mostraron que algunas especies debido a su abundancia pueden estar relacionados con variaciones de la biomasa y diversidad de la macrofauna. Así, se verificó que el Cacao, cultivo anual, de alta abundancia en los predios agroforestales está relacionado con el incremento de la biomasa de la macrofauna ( $r = 0,45$ ,  $p = 0,02$ ); mientras que, en predios con mayor abundancia de especies maderables como Achihua ( $r = 0,53$ ,  $p < 0,01$ ) y Tornillo ( $r = 0,52$ ,  $p < 0,01$ ), la diversidad se incrementa significativamente (Figura 26).

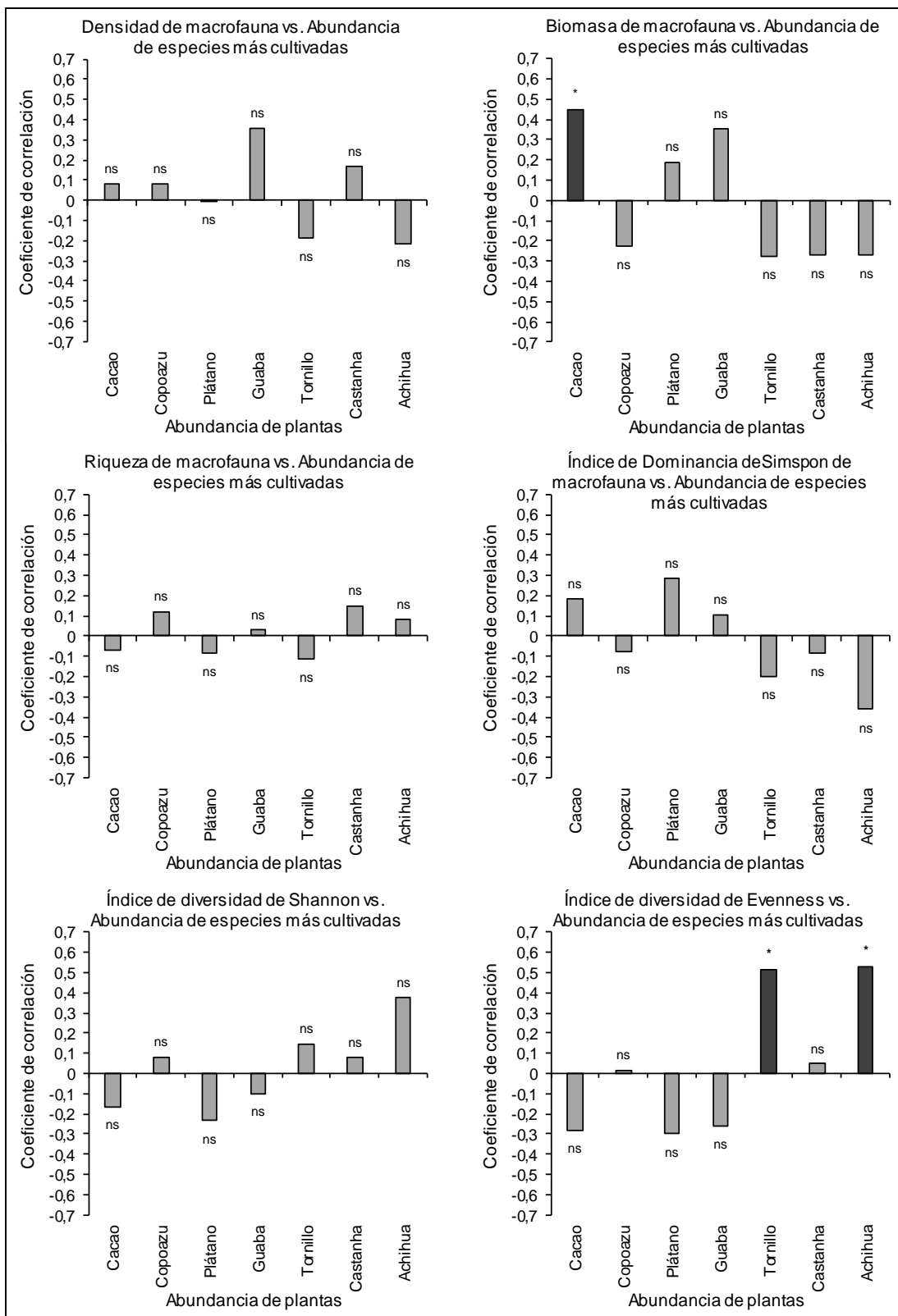


Figura 26: Coeficientes de correlación entre la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna vs. la abundancia de plantas más cultivadas en los predios agroforestales. En las barras, la abreviatura “ns” significa coeficiente de

correlación no significativo ( $p > 0,05$ ), y el símbolo de asterisco \* significa coeficiente de correlación significativo ( $p \leq 0,05$ ).

De los resultados, se rescata que las correlaciones con la composición de los sistemas agroforestales mostraron la biomasa y diversidad de macrofauna estaría siendo influenciada por la abundancia de plantas, así como por el tipo de plantas cultivadas. Así se evidencia, que en predios con alta abundancia de cacao la biomasa de la macrofauna se incrementa en relación a predios con menor abundancia de cacao. En este punto, otros estudios corroboran nuestros resultados; los sistemas agroforestales de cacao en el sur de la región de Bahía de Brasil tuvieron efectos beneficiosos sobre las macrofauna y mesofauna del suelo y hojarasca, asimismo tales sistemas de cultivo de cacao podrían considerarse como un sistema de conservación de la fauna del suelo, siendo que el desarrollo de una capa de hojarasca dio como resultado una mayor abundancia y diversidad de la fauna del suelo (Da Silva Moço et al. 2009). Por otro lado, en predios con mayor abundancia de especies forestales maderables, como tornillo y achihua, la diversidad de especies se incrementó, debido a la que árboles de grande porte, generalmente generan mayor volumen de hojarasca y mejor microclima, que tiene influencia positiva en la diversidad de la macrofauna del suelo. De hecho, experimentos con sistemas agrícolas que incluyen árboles maderables, demostraron que la fauna del suelo en plantaciones forestales es muy parecida a la fauna del suelo de bosques primarios, y que a pesar de las diferencias estructurales alcanza un nivel comparable de eficiencia funcional (Höfer et al. 2001).

## CONCLUSIONES

En general, en los 25 predios agroforestales evaluados, la densidad total de la macrofauna del suelo fue de 163,09 ind. m<sup>-2</sup>, distribuidos en 20 órdenes; alcanzando una biomasa total de 17,09 g m<sup>-2</sup>. De entre todos, el orden Haplotaxida conocidas como “lombrices de tierra” destacó como el de mayor densidad con 69,97 ind. m<sup>-2</sup> (42,90%) y como el de mayor biomasa alcanzando 12,71 g m<sup>-2</sup> (74,41%). Hymenoptera, Isoptera y coléoptera fueron los otros órdenes de mayor importancia; debido a su alta densidad con 27,52 ind. m<sup>-2</sup> (16,88%), 26,88 ind. m<sup>-2</sup> (16,48%) y 12,59 ind. m<sup>-2</sup> (7,72%) respectivamente. Sin embargo, tanto Hymenoptera como Isoptera tuvieron baja biomasa con 0,46 g m<sup>-2</sup> (2,67%) y 0,26 g m<sup>-2</sup> (1,54%) respectivamente; en contraste Coleoptera tuvo alta biomasa con alrededor de 1,5 g m<sup>-2</sup> (8,87%). Tanto la densidad como la biomasa de la macrofauna, tuvo alta variación entre los predios agroforestales, con valores desde 45,33 ind. m<sup>-2</sup> hasta 365,33 ind. m<sup>-2</sup>. Similarmente la biomasa fluctuó desde 47,6 g m<sup>-2</sup> hasta 32,44 g m<sup>-2</sup>.

En general, los valores del índice de Simpson, índice de Shannon e índice de Evenness fueron de 0,09; 2,60 y 0,68 respectivamente, indicando bajos valores de diversidad de órdenes de macrofauna del suelo. Entre un predio y otro, la diversidad fluctuó ampliamente, entre 0,14 y 0,84 para el índice de dominancia de Simpson, entre 0,39 y 2,09 para el índice de diversidad de Shannon, y entre 0,25 y 0,85 para el índice de diversidad de Evenness. En todos los casos, los predios n° 16 y 24 registraron la menor diversidad, mientras que los predios n° 12 y 20 registraron la mayor diversidad de macrofauna.

Los análisis de suelo, reflejaron la baja fertilidad de los suelos, en general, fueron muy ácidos, con bajo contenido de materia orgánica, baja disponibilidad de potasio y fósforo, así como baja capacidad de intercambio catiónico. Los suelos fueron en su mayoría franco (28%), franco arcilloso arenosos (24%) y franco arcilloso (20%). La variación de las características físicas y químicas del suelo, entre los predios, no influenciaron en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo.

Por otro lado, la abundancia de arbustos como el Cacao, y de árboles maderables como Achihua y Tornillo, influenciaron positivamente incrementando la biomasa, y diversidad de la macrofauna, respectivamente.



## **SUGERENCIAS**

Para medir el grado de impacto del establecimiento de sistemas agroforestales en la densidad, biomasa, riqueza y diversidad de la macrofauna del suelo, se recomienda realizar estudios en bosques primarios cercanos a predios agroforestales.

Asimismo, se sugiere estudios similares en otros tipos de agroecosistemas, tales como monoculturas (arroz, papaya, maíz, piña, etc) y plantaciones forestales, para comparación del impacto de diversos tipos de asociaciones vegetales y cultivos en la conservación de la macrofauna del suelo.

Con fines de mejorar la calidad del suelo de los predios agroforestales, es recomendable incrementar el plantío de árboles maderables, debido a que este tipo de vegetación incrementa la diversidad de macrofauna, relacionada directamente con el incremento de la materia orgánica y fertilidad de los suelos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ-BERRÍOS, N.L. y MITCHELL AIDE, T., 2015. Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 14006. ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/10/1/014006.
- ALVAREZ-SÁNCHEZ, J. y NARANJO-GARCÍA, E., 2003. *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. S.I.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias. ISBN 9789707090187.
- ANDERSON, J.M. y INGRAM, J.S.I., 1993. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. S.I.: CAB International. ISBN 9780851988214.
- ANDERSON, J.M. y INGRAM, J.S.I., 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. S.I.: s.n. ISBN 0851988210.
- ASTIER, M., MASS-MORENO, M. y ETCHEVERS, B., 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, no. 434, pp. 33-60. ISSN 14053195.
- BARROS, E., NEVES, A., BLANCHART, E., FERNANDES, E.C.M., WANDELLI, E. y LAVELLE, P., 2003. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiología*, vol. 47, no. 3, pp. 273-280. ISSN 0031-4056. DOI 10.1078/0031-4056-00190.
- BARROS, E., PASHANASI, B., CONSTANTINO, R. y LAVELLE, P., 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 35, no. 5, pp. 338-347. ISSN 01782762. DOI 10.1007/s00374-002-0479-z.
- BERTONE, M., WATSON, W., STRINGHAM, M., GREEN, J., WASHBURN, S., POORE, M. y HUCKS, M., 2004. Dung Beetles of Central and Eastern North Carolina Cattle Pastures. , pp. 1-7.
- BROWN, G.G., MORENO, A.G., BAROIS, I., FRAGOSO, C., ROJAS, P., HERNÁNDEZ, B. y PATRÓN, J.C., 2004. Soil macrofauna in SE Mexican

pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 103, no. 2, pp. 313-327. ISSN 0167-8809. DOI 10.1016/J.AGEE.2003.12.006.

BROWN, G.G., PASINI, A., BENITO, N.B., AQUINO, A.M. de y FERNANDES, E.C., 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: A preliminary analysis. *International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Montreal, Canadá: s.n., pp. 8-10.

BULL, A.T., GOODFELLOW, M. y SLATER, J.H., 1992. Biodiversity as a Source of Innovation in Biotechnology. *Annual Review of Microbiology*, vol. 46, no. 1, pp. 219-246. ISSN 0066-4227. DOI 10.1146/annurev.mi.46.100192.001251.

BURTON, P.J., BALISKY, A.C., COWARD, L.P., KNEESHAW, D.D. y CUMMING, S.G., 1992. The value of managing for biodiversity. *The Forestry Chronicle*, vol. 68, no. 2, pp. 225-237. ISSN 0015-7546. DOI 10.5558/tfc68225-2.

CERÓN, P., MONTENEGRO, S. y NOGUERA, E., 2008. Macrofauna En Suelos De Bosque Y Pajonal De La Reserva Natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 32, no. 125, pp. 447-453. ISSN 09291393. DOI 10.1023/a:1006299100678.

COMISION NACIONAL FORESTAL-MÉXICO, 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales: manual de obras y prácticas. . México: SEMARNAT/CNF.

CORREIA, M.E.F., 2002. Relações entre a Diversidade da Fauna de Solo e o Processo de Decomposição e seus Reflexos sobre a Estabilidade dos Ecossistemas. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, no. Documentos 156, pp. 33.

CURRY, J.P., 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. II. Factors affecting the abundance and composition of the fauna. *Grass and Forage Science*, vol. 42, no. 3, pp. 197-212. ISSN 0142-

5242. DOI 10.1111/j.1365-2494.1987.tb02108.x.

- DA SILVA MOÇO, M.K., DA GAMA-RODRIGUES, E.F., DA GAMA-RODRIGUES, A.C., MACHADO, R.C.R. y BALIGAR, V.C., 2009. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, vol. 76, no. 1, pp. 127-138. ISSN 01674366. DOI 10.1007/s10457-008-9178-6.
- DELGADO, G., BURBANO, A. y PARRA, A.S., 2011. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arabica* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 28, no. 1, pp. 91-106.
- DURÁN, E.H.B. y SUÁREZ, J.C.S., 2013. Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. *Momentos de Ciencia*, vol. 10, no. 1, pp. 59-66.
- GAMBOA, J.A., SUÁREZ, J.C. y CHAVES, J.A.-, 2011. Macroinvertebrados edáficos asociados a rastrojos en paisaje de lomerío de la Amazonia colombiana. Valoración de rastrojos para la formación de sistemas silvopastoriles en la Amazonia colombiana. *Universidad de la Amazonía*, pp. 116-128.
- GAUCHER, G., 1971. *Tratado de Pedología agrícola: El suelo y sus características agronómicas*. Barcelona: Omega.
- GONÇALVES, J.L. de M. y BENEDETTI, V., 2000. *Nutrição e fertilização florestal*. S.I.: IPEF. ISBN 8590135810.
- GOREMAD, 2010. Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Tahuamanu-Volumen I. . Puerto Maldonado:
- GOREMAD y IIAP, 2009. Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios. . Puerto Maldonado:
- GUERRERO, A. y RIASCOS, L., 2006. *Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao theobroma cacao l y laurel cordia alliodora (ruiz & pavón) oken en la reserva indígena de Talamanca*. S.I.: Universidad de Nariño.

- HENDRICKS, D.M., 1985. Animals and Soil in Arizona. En: R.A. HANEY (ed.), *Arizona Soils*. Tucson, Arizona: University of Arizona, pp. 55-62.
- HÖFER, H., HANAGARTH, W., GARCIA, M., MARTIUS, C., FRANKLIN, E., RÖMBKE, J. y BECK, L., 2001. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, vol. 37, no. 4, pp. 229-235. ISSN 11645563. DOI 10.1016/S1164-5563(01)01089-5.
- HUERTA, E. y VAN DER WAL, H., 2012. Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Biology*, vol. 50, pp. 68-75. ISSN 1164-5563. DOI 10.1016/J.EJSOBI.2011.12.007.
- HUERTA, E.L., RODRÍGUEZ-OLÁN, J., EVIA-CASTILLO, I., MONTEJO-MENESES, E., CRUZ-MONDRAGÓN, M. de la y GARCÍA-HERNÁNDEZ, R., 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, vol. 26, no. 2, pp. 171-181.
- JOSHI, N., MITCHARD, E.T., WOO, N., TORRES, J., MOLL-ROCEK, J., EHAMMER, A., COLLINS, M., JEPSEN, M.R. y FENSHOLT, R., 2015. Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 3, pp. 34014. ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/10/3/034014.
- KIKKAWA, J., 1990. Biological diversity of tropical forest ecosystems. *IXX IUFRO World Congress*. Montreal, Canadá: IUFRO, pp. 173-184.
- LAL, R., 1987. *Tropical ecology and physical edaphology*. S.I.: Wiley. ISBN 0471908150.
- LAMPRECHT, H., 1990. *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. ISBN 3880854408 9783880854406.
- LAVELLE, P. (Patrick) y SPAIN, A. V., 2001. *Soil ecology*. S.I.: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0306481626.

- LAVELLE, P., BLANCHART, E., MARTIN, A., SPAIN, A. y MARTIN, S., 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. *Myths and Science of Soils of the Tropics*, no. January 2015, pp. 157-185. DOI 10.2136/sssaspecpub29.c9.
- LAVELLE, P., SENAPATI, B. y BARROS, E., 2003. Soil macrofauna. *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. Wallingford: CABI, pp. 303-323.
- LLORENTE-BOUSQUETS, J. y MORRONE, J.J., 2001. *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. S.l.: Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. Prensas de ciencias. ISBN 9789683694638.
- LOBRY, L.A. y CONACHER, A.J., 1990. The Role of Termites and Ants in Soil Modification : A Review. , no. 1941, pp. 55-93.
- LUIZÃO, R.C.C., BARROS, E., LUIZÃO, F.J. y ALFAIA, S.S., 2002. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia. *International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture*. Londrina: Embrapa, pp. 93-97.
- MAGURRAN, A.E., 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-015-7360-3.
- MELO, O. y VARGAS, R., 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. *Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia*, pp. 235 il.
- MENDIETA LÓPEZ, M. y ROCHA MOLINA, L.R., 2007. *Sistemas agroforestales*. Managua: Universidad Nacional Agraria.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2009. Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000. *Memoria Descriptiva*. Lima, Perú:
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2016. MAPA DE DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA PERUANA PERIODO 2014 - 2015. . Lima, Perú:
- MONTAGNINI, F., 1992. *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en*

*los tropicos*. 1992. S.l.: San Jose (Costa Rica) Organizacion para Estudios Tropicales.

MORENO, C.E., 2001. Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA*, vol. 1, pp. 84. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0103709.

MURTHY, I.K., DUTTA, S., VARGHESE, V., JOSHI, P.P. y KUMAR, P., 2016. Impact of Agroforestry Systems on Ecological and Socio-Economic Systems: A Review Impact of Agroforestry Systems on Ecological and Socio-Economic Systems: A Review Impact of Agroforestry Systems on Ecological and Socio-Economic Systems: A Review. *Global Journal of Science Frontier Research: H Environment & Earth Science*, vol. 16, no. 5.

NEHER, D.A., 1999. Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, vol. 45, no. 1/3, pp. 159-185. ISSN 01674366. DOI 10.1023/A:1006299100678.

NIEDER, J., ENGWALD, S. y BARTHLOTT, W., 1999. Patterns of Neotropical Epiphyte Diversity. *Selbyana*, vol. 20, no. 1, pp. 66-75. DOI 10.2307/41760009.

OLIVEIRA, E.P., 2000. Estudo dos Invertebrados Terrestres e Distribuicao vertical em diferentes Ecosistemas da Amazonía Central. *XIII Congreso Latinoamericano de Ciencia do Solo*. Aguas de Lindota: s.n.,

PASHANASI, B., 2001. Estudio Cuantitativo De La Macrofauna Del Suelo En Diferentes Sistemas De Uso De La Tierra En La Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, vol. 12, pp. 1-2.

PIERI, C., 1989. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de developpement agricoles au Sud du Sahara*. Montpellier: CIRAD-IRAT.

SILESHI, G. y MAFONGOYA, P.L., 2006. Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. *Applied Soil Ecology*, vol. 33, no. 1, pp. 49-60. ISSN 0929-1393. DOI

10.1016/J.APSSOIL.2005.09.003.

SOLBRIG, O.T., 1991. *From genes to ecosystems: A research agenda for biodiversity: report of a IUBS-SCOPE-Unesco workshop, Harvard Forest, Petersham, MA, USA, June 27-July 1, 1991*. S.I.: Cambridge, MA: IUBS. ISBN 9200460775.

SUÁREZ SALAZAR, J.C., DURÁN BAUTISTA, E.H. y ROSAS PATIÑO, G., 2015. Macrofauna edáfica asociada a sistemas agroforestales en la Amazonia Colombiana. *Acta Agronómica*, vol. 64, no. 3, pp. 214-220. ISSN 2323-0118. DOI 10.15446/acag.v64n3.38033.

TANG, Y., WARREN, R.J., KRAMER, T.D. y BRADFORD, M.A., 2012. Plant invasion impacts on arthropod abundance, diversity and feeding consistent across environmental and geographic gradients. *Biological Invasions*, vol. 14, no. 12, pp. 2625-2637. ISSN 1387-3547. DOI 10.1007/s10530-012-0258-1.

TAPIA-CORAL, S., PASHANASI, B. y CASTILLO, D. del, 2002. Estudio preliminar de la macrofauna del suelo en áreas de varillales y chamizales de la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, vol. 13, no. 1-2, pp. 65-76.

VELASQUEZ, E., 2004. *Bioindicadores de calidad de suelo basados en las poblaciones de macrofauna y su relación con características funcionales del suelo*. S.I.: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

VELASQUEZ, E., LAVELLE, P. y ANDRADE, M., 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 39, no. 12, pp. 3066-3080. ISSN 00380717. DOI 10.1016/j.soilbio.2007.06.013.

VERHOEF, H.A. y SELM, A.J., 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Ecography*, vol. 6, no. 4, pp. 387-388. ISSN 0906-7590. DOI 10.1111/j.1600-0587.1983.tb01234.x.

WHITTAKER, R.H., 1972. Evolution and Measurement of Species Diversity. *Taxon*, vol. 21, no. 2/3, pp. 213. ISSN 00400262. DOI 10.2307/1218190.

YANG, X., WARREN, M. y ZOU, X., 2007. Fertilization responses of soil litter



fauna and litter quantity, quality, and turnover in low and high elevation forests of Puerto Rico. *Applied Soil Ecology*, vol. 37, no. 1-2, pp. 63-71. ISSN 09291393. DOI 10.1016/j.apsoil.2007.03.012.

ZIDA, Z., OUÉDRAOGO, E., MANDO, A. y STROOSNIJDER, L., 2011. Termite and earthworm abundance and taxonomic richness under long-term conservation soil management in Saria, Burkina Faso, West Africa. *Applied Soil Ecology*, vol. 51, pp. 122-129. ISSN 0929-1393. DOI 10.1016/J.APSOIL.2011.09.001.

## ANEXOS

**Anexo 1:** Densidad (individuos/m<sup>2</sup>) de la macrofauna del suelo por cada predio agroforestal muestreado.

Orden	Predio Agroforestal																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Araneae	0,00	5,33	2,67	8,00	5,33	5,33	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	5,33	10,67	13,33	5,33	10,67	5,33	2,67	8,00	5,33	5,33	5,33	2,67	2,67	0,00
Chilopoda	5,33	2,67	2,67	0,00	2,67	5,33	2,67	0,00	0,00	2,67	2,67	0,00	13,33	2,67	5,33	5,33	58,67	5,33	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coleoptera	5,33	5,33	16,00	18,67	13,33	24,00	5,33	21,33	5,33	0,00	10,67	16,00	16,00	16,00	13,33	34,67	10,67	8,00	8,00	34,67	10,67	10,67	5,33	0,00	5,33
Dermaptera	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	2,67	2,67	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dictyoptera	0,00	8,00	8,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	13,33	0,00	10,67	13,33	8,00	2,67	21,33	5,33	5,33	18,67	26,67	8,00	8,00	18,67	2,67	0,00
Diplopoda	0,00	0,00	2,67	2,67	0,00	0,00	26,67	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	13,33	2,67	0,00
Diptera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Gastropoda	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Haplotaxida	58,67	29,33	56,00	5,33	50,67	125,33	53,33	117,33	74,67	58,67	0,00	5,33	29,33	253,33	61,33	5,33	56,00	34,67	37,33	29,33	5,33	125,33	16,00	333,33	128,00
Hemiptera	5,33	0,00	2,67	0,00	0,00	5,33	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	5,33	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	2,67	29,33	0,00	2,67	0,00	0,00	2,67
Hymenoptera	2,67	32,00	16,00	45,33	21,33	8,00	16,00	0,00	0,00	0,00	32,00	10,67	66,67	29,33	160,00	8,00	18,67	8,00	13,33	10,67	26,67	88,00	21,33	21,33	32,00
Isopoda	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Isoptera	2,67	5,33	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,00	72,00	5,33	24,00	293,33	16,00	82,67	10,67	21,33	0,00	13,33	96,00	0,00	0,00
Lepidoptera	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00
Opiliones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orthoptera	0,00	0,00	2,67	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	2,67	5,33	0,00	2,67	0,00	2,67	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00
Phasmida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Pseudoscorpionida	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Scorpiones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Stylommatophora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00



**Anexo 3:** Fotografías de ejemplares de los algunos órdenes de la macrofauna del suelo registrados en los predios agroforestales muestreados.



Orden coleóptera,



Orden chilopoda



Orden coleóptera,



Orden coleóptera en estado adulto



Orden Dictyoptera



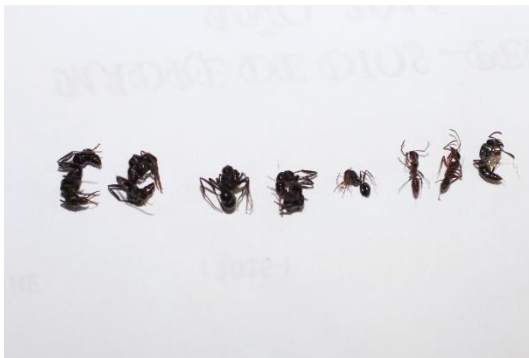
Orden isóptera



Orden Diplopoda



Orden Scorpiones



Orden Hymenoptera



Orden Haplotaxida

**Anexo 4:** Constancia de Análisis de Suelo, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF), es una unidad Académica y de Servicio del Departamento de Recursos Hídricos DRH, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION									
Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS									
Departamento : MADRE DE DIOS								Provincia : TAMBOPATA	
Distrito : TAMBOPATA						Fact.: 34165		Predio :	
Referencia : H.R. 56902-179C-16								Fecha : 13/12/2016	

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Base s	% Sat. De Base s
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>			
								%	%	%			meq/100g							
15824	A-1	5,03	0,15	0,00	0,56	4,6	52	67	20	13	Fr.A.	8,00	2,80	1,13	0,10	0,15	0,20	4,38	4,18	52
15825	A-2	4,69	0,28	0,00	2,42	5,1	73	21	64	15	Fr.L.	9,92	4,11	1,07	0,14	0,12	0,30	5,74	5,44	55
15819	A-3	4,04	0,29	0,00	1,74	3,4	76	29	40	31	Fr.Ar.	11,20	0,95	0,42	0,16	0,13	2,40	4,06	1,66	15
15820	A-4	3,89	0,30	0,00	2,16	3,0	46	55	24	21	Fr.Ar.A.	9,60	0,82	0,27	0,09	0,15	2,00	3,32	1,32	14
15818	A-5	4,53	0,21	0,00	1,50	5,1	80	11	60	29	Fr.Ar.L.	13,92	2,47	0,88	0,18	0,13	0,80	4,46	3,66	26
15817	A-6	5,34	0,31	0,00	1,78	8,2	139	17	68	15	Fr.L.	11,20	4,75	1,05	0,32	0,12	0,10	6,34	6,24	56
15823	A-7	4,86	0,17	0,00	1,24	3,1	84	31	54	15	Fr.L.	9,60	2,88	0,97	0,21	0,12	0,20	4,37	4,17	43

15816	A-8	4,26	0,26	0,00	1,82	4,6	47	19	62	19	Fr.L.	12,80	2,76	1,27	0,09	0,12	1,80	6,04	4,24	33
15822	A-9	4,24	0,26	0,00	1,79	3,3	73	29	40	31	Fr.Ar.	12,80	1,83	0,85	0,16	0,14	1,70	4,68	2,98	23
15826	A-10	3,57	0,34	0,00	1,91	4,0	55	59	24	17	Fr.A.	9,28	0,68	0,27	0,10	0,16	2,50	3,71	1,21	13
15846	A-11	4,00	0,11	0,00	1,50	4,5	74	49	30	21	Fr.	8,00	0,69	0,25	0,13	0,11	3,40	4,58	1,18	15
15821	A-12	3,73	0,17	0,00	1,93	7,1	44	49	30	21	Fr.	10,72	0,63	0,23	0,08	0,14	3,30	4,38	1,08	10
15813	A-13	3,57	0,39	0,00	1,53	3,8	53	57	20	23	Fr.Ar.A.	8,32	0,56	0,40	0,09	0,11	2,90	4,06	1,16	14
15808	A-14	3,59	0,35	0,00	1,29	6,7	71	53	20	27	Fr.Ar.A.	9,60	0,54	0,28	0,17	0,15	2,90	4,05	1,15	12
15829	A-15	3,58	0,24	0,00	1,44	3,7	51	51	24	25	Fr.Ar.A.	8,00	0,48	0,23	0,08	0,10	2,30	3,20	0,90	11
15814	A-16	3,68	0,27	0,00	1,18	4,6	40	53	24	23	Fr.Ar.A.	7,68	0,50	0,23	0,07	0,12	1,90	2,83	0,93	12
15828	A-17	3,69	0,27	0,00	0,99	3,6	58	51	30	19	Fr.	6,40	0,59	0,28	0,10	0,14	2,20	3,32	1,12	17
15827	A-18	3,47	0,30	0,00	1,94	3,3	40	57	20	23	Fr.Ar.A.	7,20	0,51	0,23	0,07	0,12	2,40	3,34	0,94	13
15815	A19	3,51	0,31	0,00	0,86	4,6	53	45	34	21	Fr.	9,92	0,54	0,23	0,08	0,11	3,90	4,87	0,97	10
15811	A-20	3,64	0,30	0,00	2,05	2,8	51	39	36	25	Fr.	11,20	0,62	0,23	0,08	0,14	6,00	7,07	1,07	10
15809	A-21	3,65	0,32	0,00	2,96	3,6	57	51	28	21	Fr.	14,40	0,41	0,23	0,11	0,14	6,60	7,50	0,90	6
15810	A-22	3,52	0,44	0,00	1,67	3,4	64	37	36	27	Fr.Ar.	14,08	0,53	0,28	0,12	0,11	6,40	7,45	1,05	7
15812	A-23	3,63	0,36	0,00	1,79	3,3	121	37	36	27	Fr.Ar.	11,20	0,55	0,35	0,23	0,15	5,50	6,78	1,28	11
15853	A-24	4,13	0,10	0,00	1,37	4,2	62	47	28	25	Fr.	8,32	0,66	0,35	0,11	0,10	4,20	5,43	1,23	15
15854	A-25	4,18	0,06	0,00	2,02	4,3	64	33	32	35	Fr.Ar.	12,80	0,85	0,35	0,18	0,10	4,20	5,68	1,48	12

A = Arena ; A,Fr, = Arena Franca ; Fr,A, = Franco Arenoso ; Fr, = Franco ; Fr,L, = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr,Ar,A, = Franco Arcillo Arenoso ; Fr,Ar, = Franco Arcilloso ;  
Fr,Ar,L, = Franco Arcillo Limoso ; Ar,A, = Arcillo Arenoso ; Ar,L, = Arcillo Limoso ; Ar, = Arcilloso

*Dr, Sady García Bendezú*

*Jefe del Laboratorio*

## Anexo 5: Constancia de identificación de especímenes a nivel orden.

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- APARTADO POSTAL  
N° 921 - Cusco - Perú
- FAX: 238156 - 238173 - 222512
- RECTORADO  
Calle Tigre N° 127  
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- CIUDAD UNIVERSITARIA  
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210  
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- LOCAL CENTRAL  
Plaza de Armas s/n  
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- MUSEO INKA  
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA  
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"  
Av. De la Cultura N° 721  
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

#### INFORME DE REGISTRO DE INSECTOS EN ÓRDENES

A solicitud del Sr. Segundo Lorenzo Ccoycca León, Bachiller en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, ha enviado las muestras de insectos, artrópodos y otros animales en alcohol y formol, con los datos de procedencia indicados, al Laboratorio de Entomología de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, del cual soy responsable. Analizado los especímenes, se ha agrupado en los órdenes correspondientes, que a continuación se informa.

- Zona de colección: Plantaciones agroforestales
- Departamento: Madre de Dios
- Provincia: Tambopata
- Distritos: Laberinto e Inambari
- Colector: Segundo Lorenzo Ccoycca León.

ORDEN	NÚMERO DE EJEMPLARES
Coleoptera	03
Dermaptera	04
Dictyoptera	05
Diptera	07
Hemiptera	02
Hymenoptera	04
Isoptera	02
Lepidoptera	02
Orthoptera	01
Phasmida	01
Araneae	01
Chilopoda	02
Diplopoda	06
Gastropoda	08
Haplotaxida	09
Isopoda	04
Opiliones	01
Pseudoscorpionoda	01
Scorpiones	01
Stylommatophora	01

Determinador: Wilfredo Catalán Bazán: Master of Science: Entomología: UNALM.  
Registro CIP: 49795.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS  
  
.....  
Wilfredo Catalán Bazán M.Sc.  
DOCENTE PRINCIPAL.