

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



## FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

### CARRERA DE DESARROLLO INTEGRAL AGROPECUARIO

Tema: “Determinación de la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional como indicador biológico”

Trabajo de titulación previa la obtención del  
Título de Ingeniera en Desarrollo Integral Agropecuario

AUTORA: Jessica Paola Ortega Hernández

TUTOR: Ing. Hernán Benavides M.Sc.

TULCÁN - ECUADOR

2018



## CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR

Certificamos que la estudiante Jessica Paola Ortega Hernández con el número de cédula 0401930581 ha elaborado el trabajo de titulación: “Determinación de la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional como indicador biológico”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de Titulación, Sustentación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizamos la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

.....  
**Ing. Hernán Benavides M.Sc.**

.....  
**Ing. Marcelo Ibarra M.Sc.**

Tulcán, 16 de octubre de 2018

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

El presente trabajo de titulación constituye requisito previo para la obtención del título de Ingeniera de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales.

Yo, Jessica Paola Ortega Hernández con cédula de identidad número 0401930581 declaro: que la investigación es absolutamente original, autentica, personal. Los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

.....

**Jessica Paola Ortega Hernández**

Tulcán, 16 de octubre de 2018

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jessica Paola Ortega Hernández declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “Determinación de la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional como indicador biológico” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

.....

**Jessica Paola Ortega Hernández**

Tulcán, 16 de octubre de 2018

## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias a Dios por darme vida, salud y su infinita bondad para lograr todas mis metas.*

*A mi querida Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a la Carrera de Desarrollo Integral Agropecuario por propiciar mi formación como profesional.*

*Mi sincero agradecimiento a mi tutor, Ing. Hernán Benavides por confiar en mí y darme la oportunidad de formar parte de su equipo de investigación, por ser mi guía y de quien aprendí tantas cosas que me servirán en mi vida profesional.*

*A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias y contribuir con mi formación académica.*

*A mis familiares y amigos quienes de una u otra manera aportaron a la realización de este trabajo.*

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor y cariño a mi padre Manuel Ortega y mi madre Juana Hernández por su apoyo y confianza, por hacer de mí una persona de bien, por sembrar en mí valores sólidos y por ser el mejor ejemplo de amor, trabajo y perseverancia.*

*A mi hermano Geovanny Ortega por su apoyo y ser un buen ejemplo de hermano mayor.*

## ÍNDICE

CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR .....	i
AUTORÍA DE TRABAJO .....	ii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
<b>I. PROBLEMA</b> .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
1.4.3. Preguntas de Investigación .....	3
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	4
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	4
2.2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.2.1. Agroecosistemas de producción lechera.....	7
2.2.1.1. Sistemas silvopastoriles .....	7
2.2.1.1.1. Importancia de los sistemas silvopastoriles .....	8
2.2.1.1.2. Aliso ( <i>Alnus acuminata</i> ) .....	9
2.2.1.1.3. Acacia ( <i>Acacia melanoxylon</i> ) .....	9
2.2.1.2. Pastizales.....	10
2.2.1.2.1. Impacto ambiental de la ganadería tradicional .....	11
2.2.3. Macrofauna Edáfica.....	12
2.2.3.1. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas .....	12
2.2.3.2. Diversidad biológica .....	13

2.2.3.3. Macrofauna como indicador biológico .....	13
2.2.3.4. Características de los órdenes de macrofauna edáfica.....	13
2.2.3.4.1. Araneae .....	13
2.2.3.4.2. Haplotaxida .....	14
2.2.3.4.3. Coleoptera .....	15
2.2.3.4.4. Dermaptera.....	15
2.2.3.4.5. Diptera .....	16
2.2.3.4.6. Hemiptera.....	17
2.2.3.4.7. Hymenoptera.....	17
2.2.3.4.8. Lepidoptera .....	18
2.2.3.4.9. Orthoptera .....	19
2.2.3.4.10. Isopoda.....	19
2.2.3.4.11. Pulmonata .....	20
2.2.3.4.12. Scolopendromorpha.....	20
2.2.3.4.13. Hirudinea .....	21
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	22
3.1.1. Enfoque.....	22
3.1.2. Tipo de Investigación .....	22
3.2. HIPÓTESIS .....	22
3.2.1. Hipótesis afirmativa.....	22
3.2.2. Hipótesis nula .....	22
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	23
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS .....	24
3.4.1. Características del área de estudio.....	24
3.4.2. Información procedimental .....	25
3.4.3. Muestreo empleado .....	25
3.4.4. Toma de datos.....	25

3.4.5. Análisis de datos .....	26
3.4.5.1. Análisis estadísticos .....	26
3.4.5.1.1. Pruebas de normalidad y significancia para abundancia y riqueza.....	26
3.4.5.2. Análisis ecológicos .....	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
4.1. RESULTADOS.....	27
4.1.1. Análisis estadísticos.....	27
4.1.1.1. Significación de sistemas para abundancia.....	27
4.1.1.2. Significación de sistemas para riqueza .....	27
4.1.2. Análisis ecológicos .....	27
4.1.2.1. Diversidad Alfa.....	27
4.1.2.2. Diversidad beta .....	28
4.1.2.3. Abundancia .....	29
4.1.2.3.1. Abundancia total .....	29
4.1.2.3.2. Comparación de abundancia entre año uno y año dos para el SSP con Aliso.....	32
4.1.2.3.3. Comparación de abundancia entre año uno y año dos para el SSP con acacia.....	33
4.1.2.3.4. Comparación de abundancia entre año uno y año dos para el pastizal convencional .....	34
4.1.2.4. Densidad.....	35
4.1.2.4.1. Densidad del Orden Haplotaxida .....	35
4.2. DISCUSIÓN .....	36
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	39
5.2. RECOMENDACIONES .....	40
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>I</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>X</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índices de diversidad alfa para el año 1 .....	28
Tabla 2. Índices de diversidad alfa para el año 2 .....	28
Tabla 3. Abundancia total (Año 1 + Año 2) .....	30
Tabla 4. Abundancia año 1 .....	31
Tabla 5. Abundancia año 2 .....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de aliso ( <i>Alnus acuminata</i> ).....	9
Figura 2. Árbol de acacia ( <i>Acacia melanoxylon</i> ).....	10
Figura 3. Pastizal convencional .....	11
Figura 4. Individuo del orden Araneae .....	14
Figura 5. Individuo del orden Haplotaxida .....	14
Figura 6. Individuos del orden Coleoptera.....	15
Figura 7. Individuo del orden Dermaptera.....	16
Figura 8. Individuos del orden Diptera .....	16
Figura 9. Individuo del orden Hemiptera.....	17
Figura 10. Individuo del orden Hymenoptera.....	18
Figura 11. Individuos del orden Lepidoptera.....	18
Figura 12. Individuo del orden Orthoptera .....	19
Figura 13. Individuo del orden Isopoda .....	20
Figura 14. Individuo del orden Pulmonata.....	20
Figura 15. Individuo del orden Scolopendromorpha .....	21
Figura 16: Individuo del orden Hirudinea.....	21
Figura 17. Área de estudio .....	24
Figura 18. Muestreo dirigido en ZIG-ZAG .....	25
Figura 19. Análisis de similitud de Jaccard año 1 (A) y año 2 (B).....	29
Figura 20. Abundancia año 1 (A), Abundancia año 2 (B) .....	32
Figura 21. Abundancia del SSP con aliso .....	33
Figura 22. Abundancia del SSP con acacia.....	34
Figura 23. Abundancia del pastizal convencional .....	35

## RESUMEN

Se estudió la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles (SSP) con aliso, acacia y un pastizal convencional como indicador biológico en la Finca San Vicente, ubicada en la Parroquia El Carmelo Provincia del Carchi. El estudio se realizó durante dos años, mediante un muestreo dirigido en ZIG-ZAG, se tomaron 30 muestras por cada sistema estudiado, utilizando la metodología propuesta por el programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF). Se aplicó la prueba de Shapiro Wilk y al no presentar los datos normalidad se utilizó una transformación logarítmica, luego se empleó un modelo general univariante para determinar diferencias significativas para abundancia y riqueza entre los sistemas, mientras que los datos que no presentaron normalidad incluso con la transformación logarítmica fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados para abundancia indicaron que en el primer año no existieron diferencias significativas, sin embargo, para el segundo año existieron diferencias significativas, mientras que para riqueza en los dos años existieron diferencias significativas. El índice de Shannon Wiener y el índice de Margalef muestran que en los dos años de estudio los tres sistemas presentaron baja biodiversidad. Además, el coeficiente de similitud de Jaccard estableció mayor similitud en el primer año entre los SSP con aliso y acacia y en el segundo año entre el SSP con aliso y el pastizal convencional. Se encontraron 6 clases y 13 órdenes en un total de 6755 individuos, de los cuales los órdenes más representativos fueron Haplotaxida representando al 71,55%, seguido por Araneae, Diptera, Coleoptera, Pulmonata, Lepidoptera y Orthoptera. Así mismo la mayor densidad de individuos le corresponde en el primer año al pastizal convencional y en el segundo año al SSP con aliso.

**Palabras clave:** Abundancia, riqueza, organismos indicadores.

## ABSTRACT

The diversity of the edaphic macrofauna in silvopastoral systems (SSP) with alder, acacia and conventional pasture was studied as a biological indicator in the farm “San Vicente”, located in the Parish of “El Carmelo”, Province of “Carchi”. The study was carried out for two years, through a ZIG ZAG sampling scheme. Thirty samples using the methodology presented in the program "Tropical Soil Biology and Fertility " (TSBF) were taken for each system. The Shapiro Wilk test was applied and the logarithmic transformation was used when the data were non normalized. To determine statistical differences in abundance and wealth a univariate general model was applied. The data that did not show normality with the logarithmic transformation was analyzed by the nonparametric Kruskal-Wallis test. The results for abundance indicated that in the first year there were no significant differences, however, for the second year there were significant differences, while for the wealth in the two years there were significant differences. The Shannon Wiener and the Margalef index respectively shown in the two years of study low biodiversity. In addition, the Jaccard similarity coefficient established a greater similarity in the first year between the SSP with alder and acacia and in the second year between the SSP with alder and the conventional pasture. We found 6 classes and 13 orders in a total of 6755 individuals, of which the most representative orders were Haplotaxida representing 71.55%, followed by Araneae, Diptera, Coleoptera, Pulmonata, Lepidoptera and Orthoptera. Likewise, the individual's highest density in the first year was to conventional pasture and in the second year to the SSP with alder.

**Keywords:** Abundance, wealth, indicator organisms.

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola y por consecuencia la producción pecuaria dependen de manera indiscutible de la fertilidad del suelo (Suquilanda, 2008), tomando en cuenta que el medio edáfico es un recurso finito por lo que su pérdida y degradación a causa de la actividad agropecuaria es a menudo irreversible, sin embargo, pese a su gran importancia no se le presta la debida atención antes de realizar acciones que lo pongan en peligro (FAO, 2015).

La erosión, la compactación y la pérdida de fertilidad son las principales causas de degradación del suelo (Pla, 2015). Además la ganadería tradicional influye notablemente sobre el suelo y la vegetación de los ecosistemas naturales, afectando a las comunidades de macrofauna que allí habitan (Peri, 2015). La diversidad de la macrofauna disminuye debido a la deforestación, a la degradación y a causa del uso excesivo de insumos químicos, todo esto a pesar de que los macroinvertebrados del suelo participan directamente en la descomposición de la materia orgánica permitiendo la liberación de nutrientes para el aprovechamiento de las pasturas (Crespo, 2015),.

Es así que la supervivencia del ser humano también depende de la macrofauna edáfica, ya sea porque estos organismos participan en la formación del suelo, mejoran su fertilidad para la producción de alimentos o son controladores de especies perjudiciales para el hombre (Martinez, 1992). Por lo que resulta necesario buscar alternativas que mejoraren la fertilidad de los suelos e incrementen el rendimiento en la producción ganadera sin afectar de forma negativa al recurso suelo y a la diversidad de la macrofauna edáfica (Hernández, Sánchez y Simón, 2008).

Una medida de conservación y restauración de la diversidad de la macrofauna pueden ser los sistemas silvopastoriles (SSP), puesto que ofrecen el hábitat idóneo para el desarrollo de macroinvertebrados, además, ayudan a la fijación de nitrógeno atmosférico al utilizar especies leguminosas, contribuyen al reciclaje de nutrientes, mantienen la humedad del suelo y protegen a los animales del estrés calórico (Sotelo *et al.*, 2017). Así los SSP contribuyen a la recuperación de los suelos y pastizales, favoreciendo a la sostenibilidad de los ecosistemas sin ocasionar efectos negativos sobre el ambiente (Crespo, 2008). De esta manera los SSP son una opción para la mitigación de impactos de la ganadería tradicional y una estrategia de recuperación de ecosistemas degradados (Buitrago, Ospina y Narváez, 2018).

Con el objetivo de validar prácticas sustentables de manejo de suelos y proporcionar alternativas de solución ante los problemas de erosión y pérdida de fertilidad de los suelos que enfrenta la ganadería tradicional, con la presente investigación se pretende determinar la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional como indicador biológico, así verificar si los SSP influyen sobre la composición, abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica.

## I. PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El suelo es un elemento vivo que después de mucha explotación muestra graves consecuencias, es así que Piza, Jiménez y Prieto (2011) manifiestan que una de las causas de degradación y transformación de sistemas naturales es la ganadería, debido a que miles de hectáreas de bosques nativos han sido deforestadas y modificadas para la producción de praderas, generando problemas de compactación, declive de biodiversidad, disminución en la fertilidad del suelo y baja productividad debido a su insostenibilidad.

Además Padilla, Crespo y Sardiñas (2009) mencionan que la degradación de los pastizales es consecuencia de la pérdida de fertilidad de los suelos, por lo que se generan grandes pérdidas económicas debido a la disminución de la productividad del ganado. Así mismo, en la ganadería tradicional, se utilizan una gran cantidad de agroquímicos y fertilizantes que provocan problemas ambientales e incrementan los costos de producción (Giraldo y Bolívar, 1999).

Según Cantera, Cánovas, Garrido y Mantel (2015) “la reducción de la calidad del suelo lleva generalmente al descenso de la biodiversidad de plantas y macroinvertebrados”, sin embargo, la macrofauna no es tomada en cuenta en el momento de realizar las diferentes prácticas agrícolas, a pesar de ser afectada enormemente por la labranza y el uso de insumos químicos (Marín, Feijoo y Peña, 2001).

La diversidad de macroinvertebrados está disminuyendo, debido a la destrucción de los hábitats naturales y la expansión de monocultivos, así mismo la producción de desechos aumenta y con ello la contaminación ambiental, provocando la extinción de ciertas especies que componen la macrofauna edáfica (Tellería, 2013). Además, las quemas periódicas con fines agrícolas, generalmente utilizadas para eliminar material vegetal, alteran la diversidad de la macrofauna edáfica debido a las elevadas temperaturas y la pérdida de materia orgánica indispensable para la supervivencia de los macroinvertebrados del suelo (Reátegui, 2013). Por lo que la macrofauna edáfica es sensible a las intervenciones humanas sobre el ambiente, pues la ganadería tradicional extensiva y los cultivos anuales reducen o restringen el desarrollo de la diversidad de macroinvertebrados, debido a la degradación o compactación del suelo (Decaens *et al.*, 2001).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La diversidad de macrofauna edáfica es afectada por la deforestación, la degradación del suelo y por la gran cantidad de insumos químicos que utiliza la ganadería tradicional.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Es importante determinar la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*) y acacia (*Acacia melanoxylon*) destinados a la producción de leche, ya que la macrofauna es un indicador de fertilidad y riqueza del suelo, tal como lo señala Lema (2016), los macroinvertebrados no únicamente son plagas o vectores de enfermedades puesto que contribuyen a la productividad agropecuaria al mejorar la calidad del suelo.

Piza *et al.* (2011) manifiestan que los sistemas silvopastoriles (SSP) permiten un equilibrio entre los diferentes componentes del sistema, contribuyendo al aumento de la biodiversidad, ciclo del agua, reciclaje de nutrientes, permite el incremento de la fertilidad del suelo mejorando su estructura y reduciendo los procesos erosivos (Mahecha, 2002). Al implantar árboles o arbustos en praderas ganaderas de elevada pendiente se minimiza la erosión y pérdida de fertilidad del suelo, puesto que el componente arbóreo ejerce un efecto protector debido a sus raíces que tienen la capacidad de evitar deslizamientos tanto de partículas de suelo como de nutrientes (Murgueitio, 2003).

Así mismo, los SSP poseen funciones de adaptación al cambio climático tales como, la disponibilidad de sombra para proteger al ganado de las altas temperaturas, de igual manera el microclima que se crea bajo los árboles es idóneo para el desarrollo de la macrofauna edáfica, adicionalmente los SSP son una fuente de alimento para el ganado, especialmente en época de sequía, por lo que generan importancia económica y ambiental en los sistemas de producción ganadera (Villanueva, Ibrahim, Casasola, Ríos y Sepúlveda, 2009).

Un gran grupo que integra la macrofauna edáfica son los denominados ingenieros del suelo, que son los encargados de la descomposición de la materia orgánica, aireación del suelo y a la vez generan nutrientes para el desarrollo de las plantas, también están los depredadores que se alimentan de plagas y otros macroinvertebrados contribuyendo al equilibrio de sus poblaciones (Cabrera, 2014). Por ello la macrofauna del suelo debe considerarse como un recurso natural ya que contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos

(Zaldívar *et al.*, 2009). Cabe mencionar que los sistemas silvopastoriles favorecen a la cobertura vegetal del suelo contribuyendo al desarrollo de macroinvertebrados.

## **1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional como indicador biológico.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar la composición, abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica presente en sistemas silvopastoriles con aliso, acacia y un pastizal convencional.
- Comparar la diversidad de la macrofauna de los tres sistemas en el primer y segundo año de implementación de los sistemas silvopastoriles.
- Determinar la densidad de individuos como indicadores biológicos.

### **1.4.3. Preguntas de Investigación**

¿Cuál es la composición de la macrofauna presente en los sistemas silvopastoriles y el pastizal convencional?

¿Cuál es la abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica existente en los sistemas estudiados?

¿Qué diferencia existe en la diversidad de la macrofauna edáfica de los tres sistemas en los dos años de estudio?

¿Cuál es la densidad de la macrofauna edáfica en los sistemas estudiados?

¿Qué órdenes pueden ser considerados como indicadores biológicos?

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En la investigación de Zaldívar *et al.* (2009), se estudió el efecto de la vegetación de tres tipos de sistemas ganaderos (silvopastoreo, asociación de gramíneas con leguminosas herbáceas y un monocultivo) sobre la biodiversidad de macroinvertebrados, utilizando un marco de 25 x 25 cm se determinó el número de individuos a una profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm, encontrando el mayor número de individuos en la primera profundidad en todos los sistemas estudiados y obteniendo como resultado que en el sistema silvopastoril existe la mayor biodiversidad de macroinvertebrados del suelo, debido a que los árboles crean el ambiente adecuado para el desarrollo de estos organismos.

Así mismo, en otro estudio realizado en Cuba se evaluó el comportamiento de la macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala*, en donde se realizaron siete muestreos durante los años 2007, 2008, 2009 y 2010, se colectaron 216 individuos clasificados en tres tipos, cinco clases y siete órdenes de los cuales el mayor representado fue el grupo de los insectos, además después de implantar los árboles se determinó un aumento en la densidad de 6.07 individuos por metro cuadrado, la biomasa total de 0.18 gramos por metro cuadrado y la abundancia se acrecentó con la aparición de los órdenes Hymenoptera, Diplopoda y Lepidoptera por lo que concluyeron que el sistema SSP mejora la macrofauna con el paso del tiempo (Vega *et al.*, 2014).

Por otra parte en la investigación de Cabrera, Robaina y Ponce de León (2011) determinaron la riqueza y abundancia de la macrofauna del suelo en función de diferentes usos de la tierra (pastizales, bosques secundarios, cañaverales y varios cultivos), los muestreos se realizaron al final de la época lluviosa en Cuba, utilizando la metodología propuesta por el “Tropical Soil Biology and Fertility”, evaluaron la riqueza, densidad y biomasa de la macrofauna edáfica, y los datos fueron analizados con pruebas no paramétricas utilizando el programa Past, determinando que la mayor riqueza, densidad y biomasa le corresponde a los bosques secundarios, identificándose 3 phyla, 7 clases, 22 órdenes y 39 familias, así se encontraron 19 órdenes en bosques secundarios, 14 en pastizales y cañaverales y 12 en cultivos varios, de los cuales los más dominantes en densidad y biomasa en la mayoría de usos de suelo fueron Haplotaxida, Coleoptera, Isoptera, Formicidae y Diplopoda.

Mientras que, en otra investigación denominada “Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana” se realizaron los muestreos en los meses de mayo y noviembre correspondientes a épocas de máxima y mínima precipitación en arreglos agroforestales denominados AB, CH, CP y UV, se recolectaron 1727 individuos en las dos épocas en un total de 32 muestras, con una abundancia de la macrofauna de 1129 individuos en el periodo de máxima precipitación y 598 individuos en el de mínima precipitación, se determinó que los arreglos agroforestales influyen sobre la presencia o ausencia de algunos grupos taxonómicos como Homoptera y Raphidioptera, además se presentaron ordenes exclusivos para algunos de los arreglos estudiados como Homoptera y Dermaptera en UV y Raphidioptera en CH (Suárez, Duran y Rosas, 2015).

Del mismo modo Soca, Simón, Roque, Soca y García (2006), investigaron la influencia de la macrofauna en la desaparición de excretas en un sistema silvopastoril de diez años de establecimiento y un sistema sin árboles, el estudio se realizó durante un año en las épocas lluviosa y poco lluviosa, determinando que no existen correlaciones significativas entre el peso de las excretas y la macrofauna en el sistema sin árboles, sin embargo en el sistema silvopastoril existieron correlaciones significativas, además la mayor cantidad de individuos fue encontrada en las primeras horas de haber sido depositadas las excretas, lo que determina las mayores tasas de descomposición, así concluyeron que la presencia de los árboles en el pastizal mejora la actividad biológica en el suelo, la cual tiene un papel destacado en el proceso de descomposición o desaparición de las excretas.

En otro estudio titulado “Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica” se evaluó la diversidad de la macrofauna en sistemas silvopastoriles con diez años de explotación y en un monocultivo, los individuos fueron colectados a una profundidad de 20 cm, compuestos por coleópteros, ortópteros, oligoquetos, dermápteros, moluscos, isópodos y diplópodos determinando que la mayor diversidad de organismos corresponde a los SSP, por lo que concluyeron que los SSP mejoran la fertilidad del suelo sin dañar al ambiente (Hernández *et al.*, 2008).

Así mismo Castillo (2016) evaluó la diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica en tres usos del suelo (vegetación natural, cultivo, pastoreo) en época lluviosa, utilizando la metodología del “Tropical Soil Biology and Fertility Programme” se muestrearon 18 monolitos por cada sistema, para el análisis de datos se utilizó el índice de Shannon Wiener y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis utilizando el software SPSS y se obtuvo como

resultado que no existieron diferencias estadísticamente significativas en la biodiversidad de los tres usos del suelo, pero en abundancia de la macrofauna si existieron diferencias estadísticamente significativas, además se encontraron un total de 2 Phyla, 4 clases, 11 órdenes y 18 Familias, siendo la clase Insecta la más representativa con los órdenes Coleoptera, Diplura, Orthoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Neuroptera, Psocoptera y Thysanoptera, mientras que la evaluación por familias por cada uso del suelo fue de 14 familias en vegetación natural, 13 en el cultivo y 14 en el pastoreo.

En otra investigación realiza en Colombia en un sistema silvopastoril con *Senna spectabilis* y un sistema convencional cuantificaron los individuos pertenecientes a la macrofauna edáfica y determinaron la biodiversidad con el objetivo de establecer diferencias entre los dos sistemas ganaderos en las épocas seca y lluviosa, determinando la mayor abundancia en el sistema silvopastoril con 4688 individuos por metro cuadrado y la menor en el sistema convencional con 1968 individuos por metro cuadrado, también la biodiversidad fue mayor en el sistema silvopastoril según el índice de Shannon con un valor de 1,82 y según el índice de Simpson con un valor de 0,78, siendo el sistema con mayor equitatividad en la distribución de especies mientras que en el sistema convencional existió mayor dominancia de ciertas especies, además se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Lepidoptera y los grupos de lombrices, arácnidos y miriápodos entre los sistemas ganaderos y las épocas del año (Meneses y Reina, 2015).

Del mismo modo, en el estudio de García, Ramírez y Sánchez (2014) se determinó la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de suelo: cultivos varios (suelos con más de 10 años de explotación), fincas agropecuarias (suelos con fertilización orgánica e inorgánica y con más de 5 años de explotación), un sistema silvopastoril ( más de 10 años de explotación) y un pastizal (más de 10 años de explotación) durante junio y octubre (época lluviosa); se colectaron 1025 individuos: el mayor valor le corresponde al sistema silvopastoril con 653 individuos, le sigue el pastizal con 186, luego las fincas agropecuarias con 114 individuos y el uso de cultivos varios con 73 individuos, por lo que los mayores valores en densidad y biomasa le correspondieron al sistema silvopastoril encontrando diferencias significativas entre el SSP y los demás usos de suelo, así se evidenció que la composición y abundancia de la macrofauna es afectada por el nivel de perturbación y la intensidad de uso del suelo.

En otro estudio, Mejía (2018) investigó la diversidad de coleópteros en sistemas silvopastoriles con aliso y acacia, un pastizal convencional y un bosque nativo, encontrando un total de 2002 individuos, correspondiéndole la mayor abundancia al bosque con 812 individuos, seguido por el SSP con aliso con 512 individuos, el pastizal convencional con 359 individuos y el SSP con acacia con 319 individuos, sin embargo la diversidad de coleópteros fue mayor en el SSP con aliso en comparación con el sistema convencional y la biodiversidad más baja le correspondió al bosque nativo.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Agroecosistemas de producción lechera**

#### **2.2.1.1. Sistemas silvopastoriles**

Un sistema silvopastoril es una opción de producción ganadera compuesto por árboles o arbustos perennes, plantas herbáceas forrajeras y animales que interactúan de manera integral (Mahecha, 2002).

Según Jiménez y Vargas (1998) los tipos más comunes de sistemas silvopastoriles son los siguientes:

- Cercas vivas.
- Bancos de proteína o energía.
- Barreras vivas en zonas de ladera utilizando leñosas perennes.
- Sistemas de cultivo en callejones con árboles o arbustos leguminosos interpuestos con forrajeras herbáceas.
- Pastoreo en plantaciones de árboles frutales o maderables.
- Cortinas rompevientos.
- Pastoreo en bosques naturales.
- Árboles frutales o maderables dispersos en potreros.

### **2.2.1.1.1. Importancia de los sistemas silvopastoriles**

Los sistemas silvopastoriles benefician tanto a la actividad ganadera como al ambiente, así al introducir árboles o arbustos en los pastizales se mejora la calidad de la pastura asociada manteniendo altos contenidos de proteína, además se incrementa la cantidad total de forraje, pues el follaje y los frutos de los árboles pueden servir como alimento para el ganado, especialmente cuando hay sequía, para ello se debe dar un buen manejo a los árboles, tomando en cuenta la especie arbórea utilizada, su densidad de siembra y la cobertura de su copa, aprovechando estos recursos se estabiliza la producción de forraje y se aumenta la eficiencia ganadera (Mahecha, 2003).

Mahecha (2002) manifiesta que los SSP aumentan la fertilidad del suelo, mejorando su estructura y reduciendo la erosión, pues las especies comúnmente utilizadas en la implementación de SSP son caracterizadas por ser fijadoras de nitrógeno, además las raíces de los árboles o arbustos contribuyen al reciclaje de nutrientes al tomarlos de las capas profundas del suelo y ponerlos a disposición de la planta, adicionalmente contribuyen al aumento de la materia orgánica lo que mejora la actividad de la macrofauna y microfauna. Así se reduce la aplicación de insumos externos en los pastizales, se contrarrestan los problemas ambientales que causan los sistemas tradicionales y se logra maximizar el uso del suelo sin reducir a largo plazo su potencial productivo (Pezo e Ibrahim, 1999).

Por otro lado, los sistemas silvopastoriles favorecen al bienestar animal pues generan sombra reduciendo de 2 a 9 °C la temperatura evitando el estrés calórico y de alguna manera mitigan los efectos ambientales adversos pues protegen a los animales del viento, la lluvia y la radiación solar y permiten el mejor aprovechamiento del potencial genético del ganado mejorando la eficiencia reproductiva y productiva de los hatos (Navas, 2010).

Según Alonso (2011) las condiciones ambientales generadas por los sistemas silvopastoriles y su manejo ejercen una evidente influencia sobre la actividad y diversidad de los organismos edáficos. Puesto que los SSP generan protección, humedad, mayores contenidos de materia orgánica y fuentes de alimento para los macroinvertebrados del suelo (Zaldívar, Pérez, Fernández y Licea, 2007).

#### **2.2.1.1.2. Aliso (*Alnus acuminata*)**

Especie originaria de Centroamérica y América del Sur que se desarrolla entre los 2.000 y 3.100 msnm, requiere una temperatura media anual entre 4 y 18° C, sin embargo, tolera heladas de poca duración, además se desarrolla bien en suelos con pH entre 4.5 y 6.0, con alto contenido de humedad, bien drenados y ricos en materia orgánica (Sánchez *et al.*, 2009).

El aliso alcanza alturas hasta de 30 m, su copa es irregular y angosta y su sistema radicular presenta nódulos como consecuencia de la simbiosis con actinomicetos capaces de fijar nitrógeno atmosférico (Ospina *et al.*, 2005). Al ser una especie caducifolia el aliso produce gran cantidad de follaje con alto contenido de nitrógeno, el cual al descomponerse e incorporarse a las partículas edáficas fertiliza al suelo y mejora su estructura, además por su sistema radicular superficial y extendido disminuye los procesos erosivos por lo que es utilizado en la restauración de suelos degradados por las prácticas agropecuarias en zonas de ladera y en la implantación de SSP (Sánchez *et al.*, 2009).



**Figura 1.** Árbol de aliso (*Alnus acuminata*)

(Foto: Autora)

#### **2.2.1.1.3. Acacia (*Acacia melanoxylon*)**

Es un árbol originario de Australia, pero se encuentra distribuido en centro y sur América desarrollándose entre los 2000 y 2800 msnm, mide 15 metros de altura aproximadamente,

su copa es de forma ovalada piramidal y sus raíces producen retoños, además es una especie leguminosa por lo que se caracteriza por fijar nitrógeno atmosférico, así es utilizada en la recuperación de suelos y el control de la erosión, también suministra sombra a los animales y es útil como barrera rompe vientos y cerca viva (Flores y Umaña, 2006).

Es una especie bastante competitiva al soportar los fuertes vientos y la sombra de otros árboles, sin embargo, requiere una precipitación de entre 450 y 1800 mm, desarrollándose en climas cálidos hasta templados fríos y soportando heladas de hasta -6 °C (Loewe, Pinilla y González, 2009). Pero alcanza su máximo desarrollo cuando la temperatura promedio se encuentra entre 10 y 15 °C, prefiere suelos profundos de textura media a fina y bien estructurados con buen drenaje (Ramirez y Schlatter, 1998).



**Figura 2.** Árbol de acacia (*Acacia melanoxylon*)

(Foto: Autora)

#### **2.2.1.2. Pastizales**

El pastoreo es la principal manera de alimentar al ganado en Ecuador, siendo la forma más cómoda y económica de producir carne y leche, tomando en cuenta que los potreros se componen por especies perennes que soportan el pisoteo y tienen gran capacidad de rebrote (Rosero, 2011).

Según Grijalva, Espinosa y Hidalgo (1995) en la sierra ecuatoriana las especies de gramíneas más utilizadas son el rye grass inglés y anual, el kikuyo, el pasto azul y la festuca, mientras que en las leguminosas se encuentra el trébol rojo y blanco, además se utilizan especies de

corte como la alfalfa, avena forrajera y vicia. Además, los pastizales deben estar constituidos por el 80% de gramíneas y el 20% de leguminosas lo que genera un balanceado valor nutritivo de energía, proteína y minerales, contribuyendo a la palatabilidad y al rendimiento (Molina, 1977).



**Figura 3.** Pastizal convencional

(Foto: Autora)

#### **2.2.1.2.1. Impacto ambiental de la ganadería tradicional**

Los sistemas tradicionales de producción de leche implican la pérdida o transformación de los ecosistemas naturales, puesto que son causantes directos e indirectos de la tala y quema de bosques, provocando pérdida de biodiversidad de flora y fauna, también generan degradación del suelo por erosión y compactación, implementando monocultivos de gramíneas y eliminando las especies no deseadas por los ganaderos con herbicidas y quemas estacionales, además provocan la desecación de los humedales, la contaminación del suelo y del agua por el uso de químicos como fertilizantes y plaguicidas, así como la demanda de madera para la elaboración de corrales y cercos (Murgueitio, 1999).

El uso de suelos no aptos para la ganadería, la alta presión de pastoreo y el sobrepastoreo son causantes de la erosión, por consecuencia la compactación del suelo provoca daños en la estructura del suelo y pérdida de la capacidad de retención de humedad por lo que la producción de pastos se ve limitada, adicionalmente la ganadería es causante de gases de efecto invernadero como el metano y dióxido de carbono (Mahecha, Gallego y Peláez, 2002).

### **2.2.3. Macrofauna Edáfica**

Se considera macrofauna del suelo aquellos invertebrados que pueden apreciarse a simple vista y son mayores a 2 mm de diámetro, los cuales viven toda su vida o una parte de ella dentro del suelo o sobre él, tales como las lombrices de tierra, hormigas, ciempiés, arañas, escarabajos, escorpiones, grillos, caracoles, entre otros., en un solo ecosistema pueden existir más de un millón de especies y alcanzar densidades y biomásas muy altas (Brown *et al.*, 2001).

#### **2.2.3.1. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas**

Los macroinvertebrados del suelo cumplen funciones muy importantes en los procesos que intervienen en el ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la estructura del suelo, pues interactúan con otros organismos encargados de la humificación y mineralización, además contribuyen a la porosidad del suelo y a la formación y distribución de la materia orgánica (Edwards, Lal, Madden, Miller y House, 1990).

Según Brown *et al.* (2001), los ingenieros del suelo incluyen a las lombrices de tierra y termitas, las cuales se alimentan de materia orgánica: hojarasca y raíces muertas de las plantas, también ingieren el estiércol del ganado por lo que contribuyen a su descomposición, así las lombrices pueden pasar por su intestino grandes cantidades de suelo y construir extensas galerías e ir depositando sus excretas, lo que contribuye al reciclaje de nutrientes, la porosidad y aireación del suelo, mientras que los detritívoros como los escarabajos y mosquitos devoran material vegetal o animal en diferentes grados de descomposición, los fitófagos y rizófagos incluyen a algunos macroartrópodos y caracoles que se alimentan de raíces o partes aéreas de las plantas vivas, los omnívoros se alimentan tanto de material vegetal como de animal, algunos macroinvertebrados como las moscas pueden actuar como parásitos del ganado.

Así, los macroinvertebrados pueden ser herbívoros o depredadores, pues viven tanto en la superficie como en el interior del suelo, alimentándose de partes de las plantas, controlando el exceso de material vegetal y muchos se alimentan de otros invertebrados por lo que contribuyen al equilibrio y funcionan como controlares biológicos (Cabrera, 2014).

### **2.2.3.2. Diversidad biológica**

La biodiversidad es la riqueza o variedad de organismos vivientes que habitan en los diferentes ecosistemas del planeta, es decir la variabilidad de especies presentes en un habitat (Dirzo, 1990). Al analizar comunidades la biodiversidad establece dos expresiones bien determinadas: la diversidad presente en un sitio dado que depende de la cantidad de especies existentes en un mismo habitat se denomina **diversidad alfa** y la heterogeneidad espacial dentro de un ecosistema que mide la contiguidad de diferentes habitats se denomina **diversidad beta**., además la biodiversidad no depende unicamente de la riqueza de especies, sino tambien de la dominancia relativa de cada una de ellas, debido a que las especies se distribuyen jerárquicamente según su abundancia, desde las más abundantes hasta las más raras, así cuando mayor sea el grado de dominancia de algunas especies y de rareza de las demas, menor es la biodiversidad de la comunidad (Halffter, 1994).

### **2.2.3.3. Macrofauna como indicador biológico**

La macrofauna edáfica es considerada como indicador de calidad o fertilidad del suelo debido a su función ecológica y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo, que determinan su presencia, tales como porosidad, humedad, materia orgánica y del impacto de diferentes sistemas de manejo sobre estos organismos, además la macrofauna resulta fácil de identificar y manipular en el campo, por lo que frecuentemente es encontrada por los productores durante las labores culturales (Cabrera, 2014).

### **2.2.3.4. Características de los órdenes de macrofauna edáfica**

#### **2.2.3.4.1. Araneae**

El orden Araneae perteneciente a la clase Arachnida cuenta con un gran número de especies, por lo que únicamente lo superan los grupos megadiversos de la clase Insecta, encontrándose presente en todos los ecosistemas terrestres del mundo con unas 45.000 especies de arañas, que se caracterizan por ser la mayoría carnívoras, existiendo un pequeño grupo que se alimenta de néctar, son consideradas importantes controladores biológicos de insectos, pues construyen telas de seda o utilizan la caza activa para capturar a sus presas, varias son venenosas y pueden ser buenos bioindicadores (Melic, Barrientos, Morano y Urones, 2015).



**Figura 4.** Individuo del orden Araneae  
(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.2. Haplotaxida**

Pertenecen a la clase Clitellata y existen más de 7000 especies en el mundo, pero solo la mitad están identificadas por lo que en un suelo sin cultivar se pueden encontrar 7 u 8 especies distintas, de 50 a 400 individuos por metro cuadrado y más de una tonelada por hectárea, las lombrices de tierra al alimentarse de materia orgánica contribuyen a su descomposición y son consideradas la parte más importante de la biomasa edáfica, también contribuyen al reciclaje de nutrientes pues pueden construir galerías a gran profundidad del suelo, tomando los nutrientes desde las zonas más profundas y llevándolos hacia la raíz de la planta, así mejoran la porosidad y aireación del suelo, además, para su desarrollo requieren poca humedad adaptándose a cualquier tipo de suelo y son capaces de modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio edáfico pudiendo procesar por su organismo hasta 250 toneladas de suelo al año (Bourrut, 2015).



**Figura 5.** Individuo del orden Haplotaxida  
(Foto: Autora)

#### 2.2.3.4.3. Coleoptera

Según Chapman (2009) el orden Coleoptera es el más numeroso de todos los insectos y se identifican de 360.000 a 400.000 especies que habitan en todos los medios, excepto en el mar abierto, así son omnívoros, carnívoros, fitófagos, micetófagos o saprófagos, por lo que algunas especies son consideradas plagas al generar pérdidas en cultivos, en forestales, en pastos y productos almacenados, mientras que otras especies son benéficas ya que ayudan al control biológico, alimentándose de plagas y de plantas invasoras, es más un grupo de especies intervienen en la descomposición de la materia orgánica, también varios escarabajos pueden transportar hongos, ácaros y nematodos (Zarazaga, 2015).



**Figura 6.** Individuos del orden Coleoptera

(Foto: Autora)

#### 2.2.3.4.4. Dermaptera

Son insectos conocidos como tijeretas, constituyen un grupo pequeño con tan sólo unas 2000 especies en todo el mundo, así su mayor diversidad se encuentra en las regiones tropicales de los bosques ecuatoriales, son de hábitos nocturnos, viven en la superficie del suelo, bajo los troncos o piedras, pueden tener alimentación omnívora pero la mayoría son detritívoros o fitófagos alimentándose de materia orgánica en descomposición o de los pétalos de las flores, sin ser consideradas plagas importantes de las plantas, más bien ayudan a la descomposición de la materia orgánica y al reciclaje de nutrientes, sin embargo, algunas especies más primitivas son predatoras por lo que contribuyen al control biológico, (Herrera, 2015).



**Figura 7.** Individuo del orden Dermaptera  
(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.5. Diptera**

Es uno de los grupos más grandes de insectos con unas 125.000 especies descritas, la mayoría de moscas adultas se alimentan de néctar y polen y sus larvas son detritívoros, es decir se alimentan de materia orgánica en descomposición, sin embargo, muchas moscas causan daño a los cultivos, además transmiten enfermedades a los animales comportándose como parásitos (Yeates y Wiegmann, 1999). A diferencia de los adultos las larvas tienden a ocultarse dentro de su huésped o de la comida, generalmente materia orgánica en descomposición (Carles, Hjorth y Andersen , 2015).



**Figura 8.** Individuos del orden Diptera  
(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.6. Hemiptera**

Según Padilla y Cuesta (2003) el orden Hemiptera incluye 50.000 de diferentes formas y distintos hábitos de vida al encontrarse en casi todos los hábitats, siendo en su mayoría fitófagas por lo que pueden convertirse en plagas de cultivos y algunas pueden actuar como vectores de enfermedades. La mayoría viven sobre el suelo, entre la hojarasca o entre las grietas del sustrato, cuando se encuentran en la vegetación se movilizan de un lugar a otro buscando las mejores condiciones ambientales según la hora del día, algunas especies se alimentan de hongos de las plantas por lo que habitan en la corteza de los árboles, además ciertas especies segregan sustancias irritantes o fétidas para defenderse de sus depredadores (Goula y Mata, 2015).



**Figura 9.** Individuo del orden Hemiptera

(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.7. Hymenoptera**

Constituyen alrededor de 160.000 especies distribuidas en todos los ecosistemas terrestres del planeta, estos insectos son muy importantes en la agricultura pues se encargan de la polinización al ser nectarófagos y fitófagos, aunque algunos se alimentan de la hemolinfa de ciertos artrópodos y pueden ser utilizados como controladores de plagas, sin embargo, ciertas especies pueden ser consideradas plagas forestales, además son insectos capaces de vivir en sociedades complejas compuestas por machos, hembras fértiles y obreras, aunque algunas especies son de hábitos solitarios (Fernández y Pujade, 2015).



**Figura 10.** Individuo del orden Hymenoptera

(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.8. Lepidoptera**

Los lepidópteros cuentan con aproximadamente 150.000 especies distribuidas en los ecosistemas terrestres. En su etapa de larva u oruga se alimentan de las hojas de las plantas por lo que pueden convertirse en plagas, mientras que en su estado adulto se alimentan de néctar y granos de polen de las flores, de excrementos de animales y de frutas en descomposición (Andrade, Campos, González y Pulido, 2017). Constituyen uno de los órdenes más abundantes de insectos y uno de los más estudiados, considerado indicador de calidad de los ecosistemas y del cambio climático, sin embargo, la mayoría de sus especies tienen gran importancia económica debido a los daños que causan en las plantas (García Barros *et al.*, 2015).



**Figura 11.** Individuos del orden Lepidoptera

(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.9. Orthoptera**

El orden Orthoptera constituye 23.855 especies distribuidas en todo el mundo, especialmente en las regiones cálidas y templadas donde el grupo se encuentra bien representado, por lo que su distribución es condicionada por la temperatura, generalmente se alimentan de vegetales al ser herbívoros y granívoros, aunque existen especies omnívoras y carnívoras, pueden convertirse en plagas naturales, sin embargo, son presas de distintos predadores como mamíferos, aves, arácnidos, entre otros, así mismo pueden llevar una vida sedentaria o migratoria (Aguirre y Barranco, 2015).



**Figura 12.** Individuo del orden Orthoptera  
(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.10. Isopoda**

Los isópodos conforman un grupo aproximado de 10.000 especies, tanto marinos como terrestres, diversamente distribuidos en todo el planeta, así los que habitan en el suelo generalmente se encuentran taladrando los troncos de los árboles y se alimentan de materia orgánica por lo que ayudan al reciclaje de nutrientes (King, 2004). Los isópodos terrestres tienen mayor actividad nocturna según las condiciones ambientales, pues prefieren zonas húmedas que favorecen su desarrollo, teniendo la capacidad de enrollar su cuerpo para conservar la humedad o para protegerse de sus depredadores (García, 2015).



**Figura 13.** Individuo del orden Isopoda

(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.11. Pulmonata**

Se conocen cerca de 30.000 especies pertenecientes al orden Pulmonata, principalmente los terrestres viven en agua dulce y sobre el suelo, además son el grupo de mayor importancia agropecuaria pues son plagas de varios cultivos, especialmente los caracoles y babosas, participando en el ciclo de vida de parásitos como nematodos y gusanos redondeadas por lo que son agentes transmisores de enfermedades, tanto a animales como a plantas e incluso al ser humano, generalmente viven en la hojarasca, vegetación viva o troncos podridos, algunas especies viven bajo las piedras y salen en la noche para alimentarse (Monge, 1996).



**Figura 14.** Individuo del orden Pulmonata

(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.12. Scolopendromorpha**

El orden Scolopendromorpha cuenta con 700 especies distribuidas únicamente en los ecosistemas terrestres, especialmente en zonas templadas y tropicales, habitan tanto en zonas húmedas como en áridas, algunas especies viven en troncos podridos o entre la hojarasca

saliendo en la noche a alimentarse, todos los ciempiés de este orden son carnívoros y generalmente utilizan su veneno para neutralizar a sus presas (Giribet, 2015).



**Figura 15.** Individuo del orden Scolopendromorpha  
(Foto: Autora)

#### **2.2.3.4.13. Hirudinea**

El orden Hirudinea perteneciente a la clase Clitellata comprende unas 500 especies, la mayoría viven en agua dulce o en el mar, sin embargo también existen semiterrestres y anfibias, siendo varias ectoparásitos y unas cuantas depredadoras y carroñeras, además algunas actúan como vectores de parásitos como protozoos y nematodos (Fauchald, 1997). Varias sanguijuelas se alimentan de sangre o fluidos del cuerpo de vertebrados, aves, anfibios, peces y ganado (Badillo, Pérez y Lamothe, 1998).



**Figura 16:** Individuo del orden Hirudinea  
(Foto: Autora)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO**

##### **3.1.1. Enfoque**

El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo ya que utiliza la recolección y el análisis de datos cuantificables para probar las hipótesis establecidas previamente de la relación entre variables (agroecosistemas de producción lechera y la biodiversidad de la macrofauna edáfica) (Hernández, Fernández y Baptista, 2004).

##### **3.1.2. Tipo de Investigación**

Los muestreos se realizaron en los suelos de la finca San Vicente, en los tres sistemas estudiados, por lo tanto, la investigación tiene una modalidad de campo ya que la recolección de datos se realizó en el lugar y tiempo donde ocurren los fenómenos objeto de estudio (Arias, 1999).

#### **3.2. HIPÓTESIS**

##### **3.2.1. Hipótesis afirmativa**

Los sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional influyen en la diversidad de la macrofauna edáfica.

##### **3.2.2. Hipótesis nula**

Los sistemas silvopastoriles con aliso (*Alnus acuminata*), acacia (*Acacia melanoxylon*) y un pastizal convencional no influyen en la diversidad de la macrofauna edáfica.

### 3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Hipótesis	Variable	Definición conceptual de la variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Los sistemas silvopastoriles con aliso ( <i>Alnus acuminata</i> ), acacia ( <i>Acacia melanoxylon</i> ) y un pastizal convencional influyen en la diversidad de la macrofauna edáfica.	<b>Independiente</b> Agroecosistemas de producción lechera	Sistemas naturales modificados por el ser humano para la producción de leche (Conway, 1987).	SSP con aliso	Año	Observación	Ficha técnica
			SSP con acacia			
			Pastizal convencional			
	<b>Dependiente</b> Diversidad de la macrofauna edáfica	Variabilidad de organismos mayores a 2mm de diámetro, visibles a simple vista y que viven toda o gran parte de su vida en el suelo (Brown <i>et al.</i> , 2001).	Taxonomía	Clase	Observación	Estereoscopio
				Orden		
			Abundancia	<b>Diversidad alfa</b> - Shannon Wiener - Margalef		
			Riqueza	<b>Diversidad beta</b> - Jaccard		
			Densidad	Número de individuos por metro cuadrado		Programas estadísticos

### 3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1. Características del área de estudio

La investigación se realizó en la Finca San Vicente ubicada en la Parroquia El Carmelo, Carchi, Ecuador, localizada en las coordenadas: Lat. N 877600 y Long. 10072464 (Figura 17), a una altitud de 2856 m, el clima es ecuatorial de alta montaña con una precipitación promedio anual que varía de 1200 a 2000 mm y un rango de temperatura promedio de 10°C a 12°C, sus suelos son considerados andosoles con alto contenido de materia orgánica, textura franco-arenosa y pH 6,5, los terreros tienen pendientes de entre 20% y 25% (Narváez, 2018). El SSP con aliso tiene un área de 7,5 hectáreas, el SSP con acacia 4,64 hectáreas y el pastizal convencional 13,29 hectáreas, de las cuales se muestrearon 10,8 m<sup>2</sup> durante dos años por cada sistema estudiado.

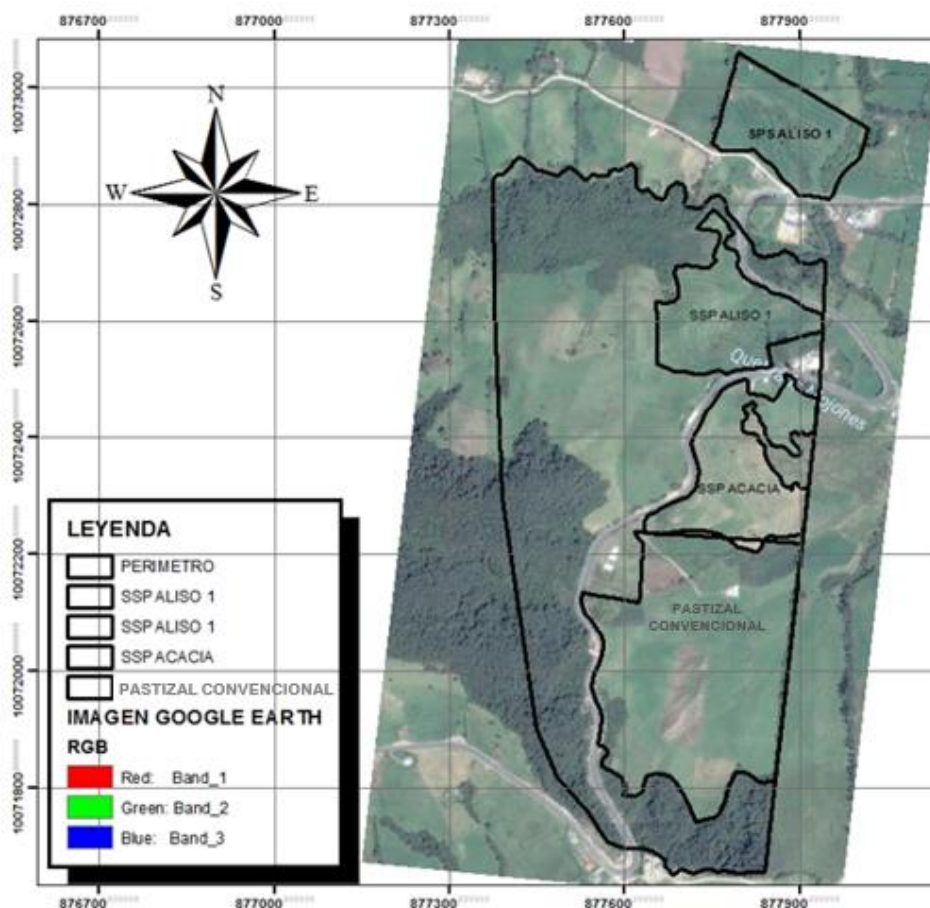


Figura 17. Área de estudio

Fuente: (Benavides, 2017)

### 3.4.2. Información procedimental

El estudio se realizó durante los años 2016 y 2017, es decir primer y segundo año de implementación de los sistemas silvopastoriles con aliso y acacia, la recolección de datos se llevó a cabo durante los meses de junio y diciembre de cada año y se tomaron 30 muestras por cada sistema (SSP con acacia (ver Anexo 1), SSP con aliso (ver Anexo 2) y pastizal convencional (ver Anexo 3)).

### 3.4.3. Muestreo empleado

Muestreo dirigido consiste en tomar muestras siguiendo un patrón específico, se puede realizar un recorrido en X o en ZIG-ZAG. En esta investigación se utilizó el muestreo en ZIG-ZAG (Figura 18) que consiste en dibujar un ZIG-ZAG imaginario en el área de muestreo y recoger varias muestras a lo largo del trayecto (AGROCALIDAD, 2015).



**Figura 18.** Muestreo dirigido en ZIG-ZAG

**Fuente:** (Google Earth, 2018)

### 3.4.4. Toma de datos

Para cada muestra se empleó la metodología propuesta por el programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993) (ver Anexo 4), utilizando como guía un cuadrado de madera de 30 x 30 cm se extrajo el suelo a 30 cm de profundidad, en el cual se contabilizó la macrofauna, luego se conservó en frascos con formaldehído a los anélidos y a los invertebrados restantes en alcohol al 70% y posteriormente se identificó taxonómicamente a nivel de clase y orden, con ayuda del estereoscopio en el laboratorio de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

### **3.4.5. Análisis de datos**

#### **3.4.5.1. Análisis estadísticos**

##### **3.4.5.1.1. Pruebas de normalidad y significancia para abundancia y riqueza**

Para los años uno (2016) y dos (2017) se determinó la abundancia absoluta (suma total de individuos presentes en la muestra) y la riqueza (Número total de ordenes presentes en la muestra) y se empleó la prueba W de Shapiro Wilk, al no presentar los datos normalidad se utilizó una transformación logarítmica que permite una distribución normal de los datos, luego se aplicó un modelo general univariante para determinar diferencias significativas entre los sistemas. Por otro lado, los datos que no presentaron normalidad con la transformación logarítmica fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa SPSS y microsoft Excel.

##### **3.4.5.2. Análisis ecológicos**

Se determinó la diversidad alfa mediante el índice de Shannon Wiener expresado como  $H'$ , que toma valores entre 0,5 y 4,5, considerando a los valores por encima de 3 como diversos y a los menores de 3 poco diversos (Golicher, 2012), también se evaluó el índice de Margalef que relaciona el número de especies con el número total de individuos (Álvarez *et al.*, 2004), indica que valores inferiores a 2 son considerados como baja biodiversidad y valores superiores a 5 indican alta biodiversidad (Prieto, Molina y Dueñas, 2017).

Mientras que para analizar la diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard, para medir diferencias en la presencia o ausencia de especies, su intervalo de valores va de “0” (cuando no hay especies compartidas entre los dos sitios), hasta “1” (cuando los dos sitios comparten las mismas especies), es decir mientras más cercano a 1, más parecidos serán los sitios estudiados (Álvarez *et al.*, 2004). Además, se utilizó el Dendrograma de Jaccard para establecer similaridad entre los tres sistemas, este análisis se llevó a cabo mediante el paquete estadístico Past.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. RESULTADOS**

#### **4.1.1. Análisis estadísticos**

##### **4.1.1.1. Significación de sistemas para abundancia**

Para el año uno la prueba W de Shapiro Wilk indica que los datos no presentan normalidad ( $p=0,000$ ), pero mediante la transformación logarítmica ( $p=0,254$ ) indican distribución normal por lo que se aplica un modelo general univariante ( $p=0,519$ ) que determina que no existen diferencias significativas entre los sistemas estudiados con relación a abundancia.

Para el año dos los datos no presentan una distribución normal ( $p=0,000$ ) por lo que Kruskal Wallis ( $p=0,00$ ) determina que existen diferencias significativas entre los tres sistemas para abundancia.

##### **4.1.1.2. Significación de sistemas para riqueza**

En el año uno Shapiro Wilk ( $p=0,002$ ) indica que los datos no son normales y al aplicar Kruskal Wallis ( $p=0,002$ ) se determina que existen diferencias significativas entre los tres sistemas con relación a riqueza.

Del mismo modo para el año dos Shapiro Wilk ( $p=0,000$ ) determina que no existe normalidad en los datos por lo que al aplicar Kruskal Wallis ( $p=0,018$ ) existen diferencias significativas entre los tres sistemas para riqueza.

#### **4.1.2. Análisis ecológicos**

##### **4.1.2.1. Diversidad Alfa**

Para el primer año con 11 órdenes y 1138 individuos en el SSP con aliso, 10 órdenes y 1081 individuos en el SSP con acacia y 10 órdenes y 1232 individuos en el pastizal convencional, el índice de Shannon Wiener considera a los tres sistemas como poco diversos, el mayor valor le corresponde al SSP con acacia (1,122), le sigue el pastizal convencional (1,121) y el SSP con aliso (0,976), así mismo, el índice de Margalef establece que la biodiversidad es baja en los tres sistemas, correspondiéndole el mayor valor al SSP con aliso (1,421), seguido

del SSP con acacia (1,288) y el pastizal convencional (1,265) como se expresa en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Índices de diversidad alfa para el año 1

Año 1	SSP con aliso 1	SSP con acacia 1	Pastizal convencional 1
Órdenes	11	10	10
Individuos	1138	1081	1232
Shannon_H	0,976	1,122	1,121
Margalef	1,421	1,288	1,265

De la misma manera para el segundo año se presentan 10 órdenes en cada uno de los sistemas, el SSP con aliso con 1573 individuos, el SSP con acacia con 829 individuos y el pastizal convencional con 902 individuos, por lo que Shannon presenta variación escasa de biodiversidad entre los tres sistemas, el mayor valor le corresponde al SSP con acacia (1,374), seguido por el pastizal convencional (1,228) y el SSP con aliso (0,825). Así mismo Margalef indica baja biodiversidad, correspondiéndole el mayor valor al SSP con acacia (1,339), seguido del pastizal convencional (1,323) y el SSP con aliso (1,223), como se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Índices de diversidad alfa para el año 2

Año 2	SSP con Aliso 2	SSP con Acacia 2	Pastizal convencional 2
Órdenes	10	10	10
Individuos	1573	829	902
Shannon_H	0,825	1,374	1,228
Margalef	1,223	1,339	1,323

#### 4.1.2.2. Diversidad beta

La similitud de Jaccard para el primer año indica que el SSP con aliso y el SSP con acacia son similares en un 90 %, el SSP con aliso y el pastizal convencional en un 75 % y el SSP con acacia y el pastizal convencional en un 81 %. Mientras que, para el segundo año, muestra que el SSP con aliso y el SSP con acacia son similares en un 66% al igual que el SSP con

acacia y el pastizal convencional, y el SSP con aliso y el pastizal convencional tienen el 100% de similitud.

Por lo que se establecen dos grupos, en el año uno el SSP con aliso y el SSP con acacia forman un grupo por ser más similares y el pastizal convencional se aleja de ellos. En cambio, en el año dos el SSP con aliso y el pastizal convencional forman un grupo y el SSP con acacia se aleja (Figura 19).

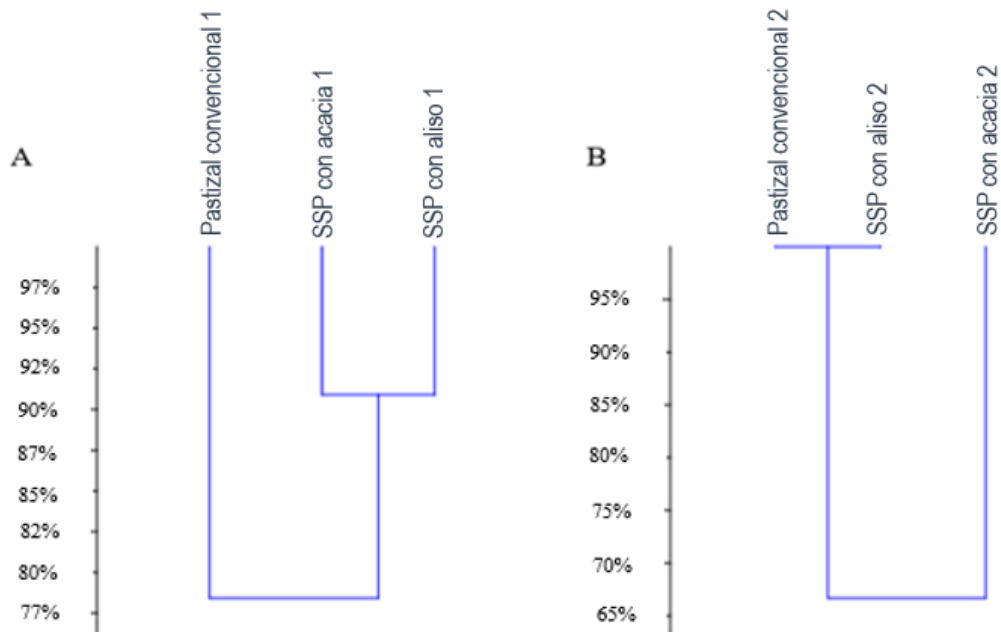


Figura 19. Análisis de similitud de Jaccard año 1 (A) y año 2 (B)

### 4.1.2.3. Abundancia

#### 4.1.2.3.1. Abundancia total

Se encontraron 6 clases y 13 órdenes en un total de 6755 individuos colectados en los dos años de los tres sistemas estudiados, de los cuales los órdenes más representativos fueron Haplotaxida con 4833 individuos lo que representa al 71,55% del total, seguido por el orden Araneae con 475 individuos que corresponde al 7,03%, luego el orden Diptera con 472 individuos en un 6,99%, seguido del orden Coleoptera con 371 individuos es decir 5,49%, el orden Pulmonata se encuentra con 339 individuos lo que corresponde al 5,02%, le sigue el orden Lepidoptera con 94 individuos igual al 1,39% y el orden Orthoptera con 85 individuos lo que representa el 1,26%, los órdenes restantes representan menos del 1 % como se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Abundancia total (Año 1 + Año 2)

Clase	Orden	Abundancia total	Porcentaje
Arachnida	Araneae	475	7,03
Clitellata	Haplotaxida	4833	71,55
	Hirudinea	1	0,01
	Coleoptera	371	5,49
	Dermaptera	3	0,04
	Diptera	472	6,99
Insecta	Hemiptera	60	0,89
	Hymenoptera	11	0,16
	Lepidoptera	94	1,39
	Orthoptera	85	1,26
Malacostraca	Isopoda	4	0,06
Gastropoda	Pulmonata	339	5,02
Chilopoda	Scolopendromorpha	7	0,10
Total		6755	100

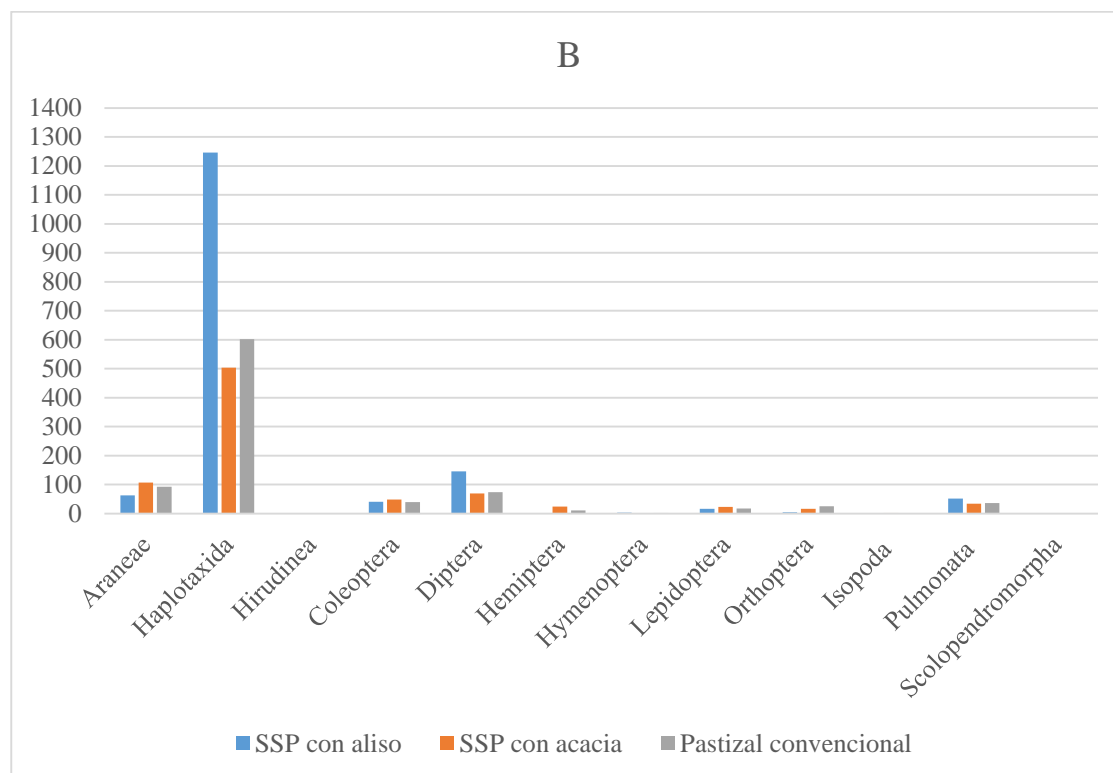
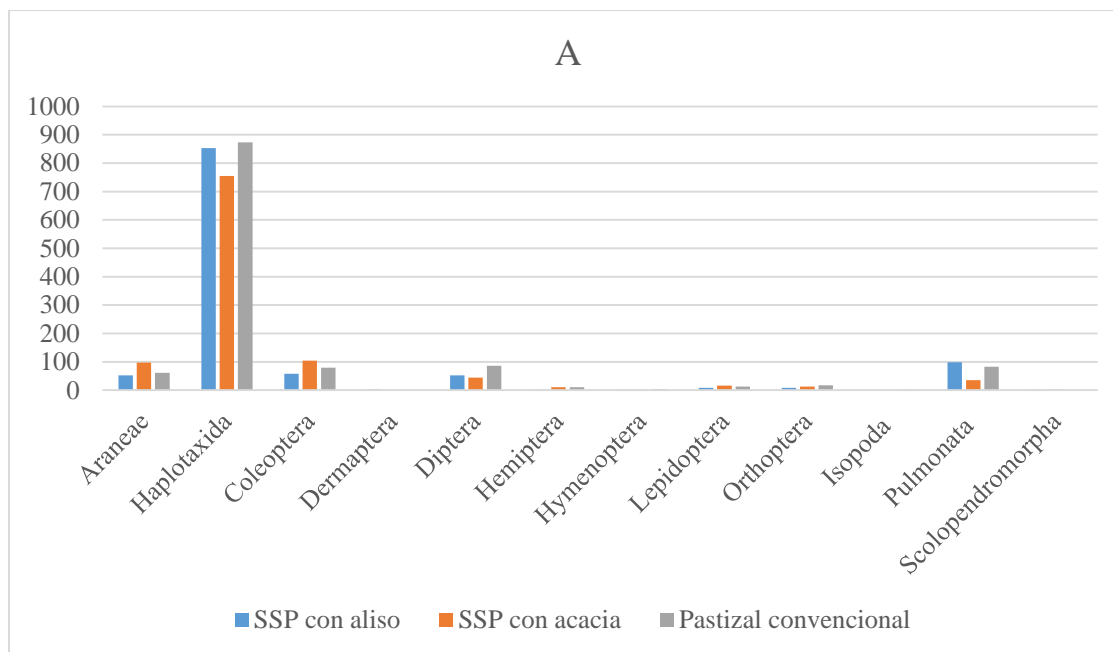
Para el primer año la mayor abundancia le corresponde al pastizal convencional con 1232 individuos, le sigue el SSP con aliso con 1138 individuos y luego el SSP con acacia con 1081 individuos (Tabla 4), mientras que en el segundo año con mayor abundancia se encuentra el SSP con aliso con 1573 individuos, seguido por el pastizal convencional con 902 individuos y luego el SSP con acacia con 829 individuos (Tabla 5). En la Figura 20 se puede diferenciar las variaciones entre los individuos de cada orden para el año uno y año dos.

**Tabla 4.** Abundancia año 1

Orden	SSP con aliso	SSP con acacia	Pastizal convencional	Total
Araneae	52	98	62	212
Haplotaxida	853	755	873	2481
Coleoptera	58	104	80	242
Dermaptera	3	0	0	3
Diptera	52	45	86	183
Hemiptera	2	11	11	24
Hymenoptera	1	1	4	6
Lepidoptera	8	16	13	37
Orthoptera	8	13	18	39
Isopoda	0	0	2	2
Pulmonata	99	35	83	217
Scolopendromorpha	2	3	0	5
Total	1138	1081	1232	3451

**Tabla 5.** Abundancia año 2

Orden	SSP con aliso	SSP con acacia	Pastizal convencional	Total
Araneae	63	107	93	263
Haplotaxida	1246	504	602	2352
Hirudinea	0	1	0	1
Coleoptera	41	48	40	129
Diptera	146	69	74	289
Hemiptera	1	24	11	36
Hymenoptera	3	0	2	5
Lepidoptera	16	23	18	57
Orthoptera	4	17	25	46
Isopoda	0	2	0	2
Pulmonata	52	34	36	122
Scolopendromorpha	1	0	1	2
Total	1573	829	902	3304

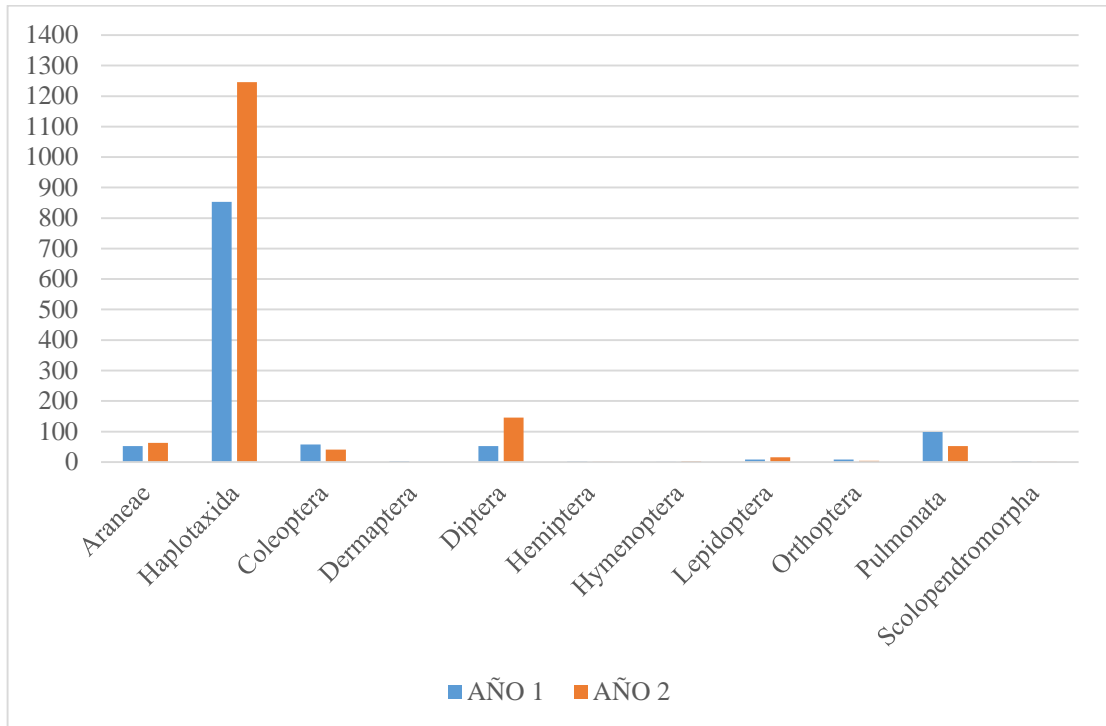


**Figura 20.** Abundancia año 1 (A), Abundancia año 2 (B)

#### 4.1.2.3.2. Comparación de abundancia entre año uno y año dos para el SSP con Aliso

Se observa variaciones en la abundancia de los órdenes encontrados, especialmente en los más representativos, en el primer año el orden Araneae está representado por 52 individuos aumentando la cantidad a 63 individuos en el segundo año, el orden Haplotoxida aumenta

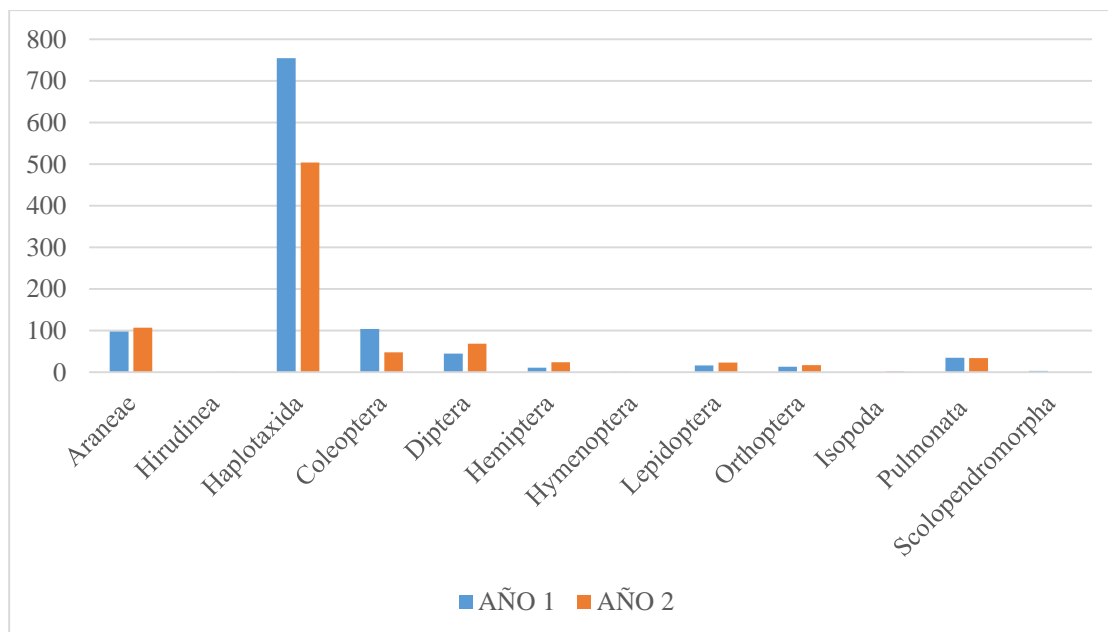
de 853 a 1246 individuos, el orden Diptera aumenta de 52 a 146 individuos, mientras que el orden Coleoptera disminuye de 58 a 41 individuos, y el orden Pulmonata de 99 a 52 individuos como se presenta en la Figura 21.



**Figura 21.** Abundancia del SSP con aliso

#### 4.1.2.3.3. Comparación de abundancia entre año uno y año dos para el SSP con acacia

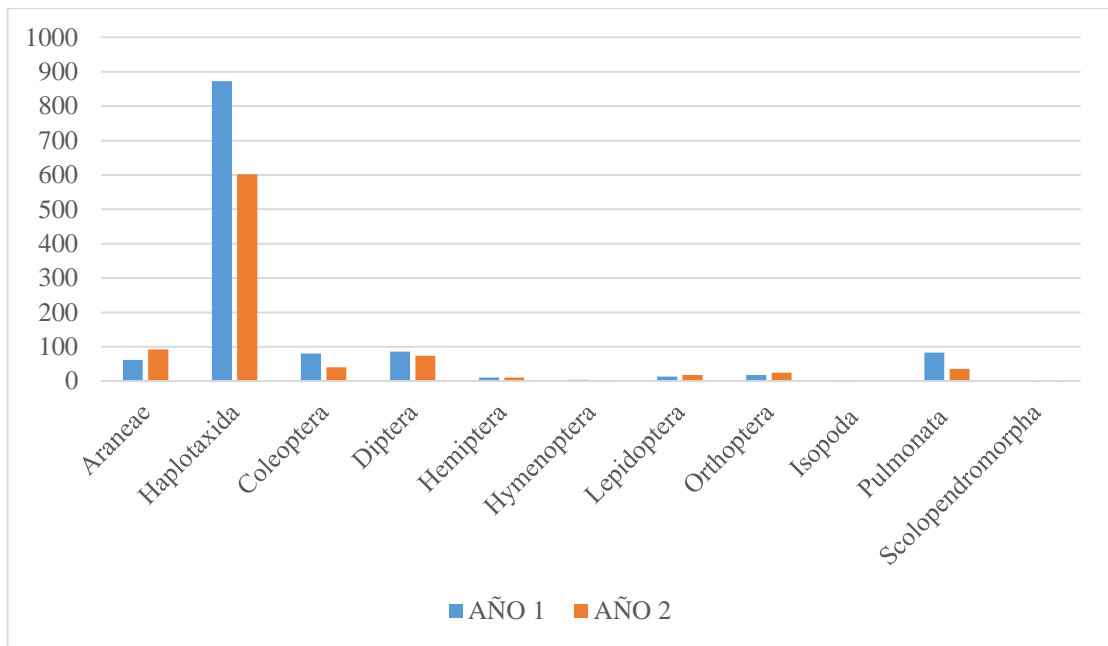
Así mismo en el SSP con acacia se observan variaciones en la abundancia de los órdenes más representativas, el orden Aranea aumenta de 98 individuos en el primer año a 107 individuos en el segundo año, el orden Diptera de 45 a 69 individuos, el orden Hemiptera de 11 a 24 individuos, el orden Lepidoptera de 16 a 23 individuos, el orden Orthoptera de 13 a 17 individuos, mientras que el orden Haplotaixida disminuye de 755 a 504 individuos, el orden Coleoptera de 104 a 48 individuos y el orden Pulmonata de 35 a 34 individuos como se presenta en la Figura 22.



**Figura 22.** Abundancia del SSP con acacia

#### **4.1.2.3.4. Comparación de abundancia entre año uno y año dos para el pastizal convencional**

Del mismo modo, se observan variaciones en la abundancia de los órdenes más representativos, el orden Araneae aumenta de 62 individuos en el primer año a 93 individuos en el segundo año, el orden Lepidoptera de 13 a 18 individuos y el orden Orthoptera de 18 a 25 individuos, mientras que el resto de ordenes presentan disminución, el orden Haptotaxida de 773 a 602 individuos, seguido del orden Coleoptera de 80 a 40 individuos, luego el orden Diptera de 86 a 74 individuos y el orden Pulmonata de 83 a 36 individuos como se presenta en la Figura 23.



**Figura 23.** Abundancia del pastizal convencional

#### 4.1.2.4. Densidad

Durante el primer año la densidad fue de 211 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con aliso, 200 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con acacia y 228 individuos por m<sup>2</sup> en el pastizal convencional. Mientras que en el segundo año la densidad fue de 291 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con aliso, 154 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con acacia y 167 individuos por m<sup>2</sup> en el pastizal convencional.

##### 4.1.2.4.1. Densidad del Orden Haplotaxida

La densidad en el primer año fue de 158 lombrices por m<sup>2</sup> en el SSP con aliso, 140 lombrices por m<sup>2</sup> en el SSP con acacia y 162 lombrices por m<sup>2</sup> en el pastizal convencional, mientras que el segundo año la densidad fue de 231 lombrices por m<sup>2</sup> en el SSP con aliso, 93 lombrices por m<sup>2</sup> en el SSP con acacia y 111 lombrices por m<sup>2</sup> en el pastizal convencional.

## 4.2. DISCUSIÓN

Mediante el índice de Shannon se obtuvo valores de 0,976 y 0,825 en el SSP con aliso, 1,122 y 1,374 en el SSP con acacia y 1,121 y 1,228 en el pastizal convencional. Mientras que en el estudio de Meneses y Reina (2015) el índice de Shannon Wiener presentó valores de 1,82 en un sistema silvopastoril y 1,60 en un pastizal convencional, siendo valores superiores a los obtenidos en la presente investigación. Sin embargo, Zaldívar *et al.* (2009) mencionan que los SSP contribuyen a la mayor diversidad de macroinvertebrados del suelo debido a que la presencia de árboles crea el ambiente adecuado para la vida de distintos organismos. De modo que en la investigación de Hernández *et al.* (2008) en sistemas silvopastoriles con diez años de explotación y un monocultivo, se determinó que la mayor diversidad de macrofauna le corresponde a los SSP.

Al estudiar la diversidad de la macrofauna edáfica en cuatro usos de suelo (bosque primario, sistema forestal de eucalipto, sistema forestal de pino y campo abierto) el coeficiente de similitud de Jaccard estableció dos grupos, el primero formado por los sistemas forestales de eucalipto y pino, y el segundo formado por el bosque primario y el campo abierto (Vilca, 2018), mientras que en el presente estudio Jaccard establece en el primer año que el SSP con aliso y el SSP con acacia forman un grupo, y el pastizal convencional se aleja de ellos, en cambio, en el segundo año el SSP con aliso y el pastizal convencional forman un grupo y el SSP con acacia se aleja, esto se debe a que los sistemas comparten características por lo tanto forman hábitats similares lo que provoca que compartan las mismas especies de macroinvertebrados.

Se encontraron un total de 6 clases y 13 órdenes siendo la clase Insecta representada por el mayor número de órdenes (Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Orthoptera) en todos los sistemas, mientras que en el estudio de Castillo (2016) se encontraron un total de 4 clases y 11 órdenes pese a que uno de los ecosistemas estudiados fue vegetación natural, igualmente la clase Insecta representó el mayor número de órdenes (Coleoptera, Diplura, Orthoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Neuroptera, Psocoptera y Thysanoptera).

Así mismo, los órdenes más representativos fueron Haplotaxida, Aranea, Diptera, Coleoptera, Pulmonata, Lepidoptera y Orthoptera, sin embargo, en otra investigación realizada por Zaldívar *et al.* (2007) en un sistema silvopastoril, una asociación de gramíneas

con leguminosas herbáceas y un sistema de monocultivo se encontró que los órdenes más representativos fueron Haplotaxida, Hymenoptera, Isoptera y Juliformia esta diferencia se le atribuye a la especie arbórea utilizada y que las condiciones agroecológicas son diferentes a las del presente estudio.

Durante el primer año de investigación la mayor abundancia corresponde al pastizal convencional, le sigue el SSP con aliso seguido del SSP con acacia pero en el segundo año el SSP con aliso tiene la mayor abundancia seguido por el pastizal convencional y luego el SSP con acacia, así en el segundo año con respecto al primero en el SSP con aliso hubo un aumento en abundancia mientras que en el SSP con acacia y el pastizal convencional hubo una disminución en abundancia, sin embargo en la investigación de Sánchez, Hernández y Simón (2003) realizada en dos SSP y un pastizal convencional durante tres años de estudio observaron un aumento de la abundancia en el tercer año con respecto al primero en las tres unidades lecheras.

Por otra parte, el orden Haplotaxida representa el 71,55% de la abundancia total al ser el orden más dominante, al igual que en la investigación de Lok, Crespo, Frómeta y Fraga (2005) en pastizales con *leucaena leucocephala* donde encontraron que las lombrices de tierra predominaron, esto se le atribuye a la presencia de árboles en los pastizales puesto que estimulan a la macrofauna del suelo, principalmente a las lombrices de tierra las cuales mejoran las propiedades físico-químicas del suelo y estimulan al desarrollo de otros organismos (Sánchez y Hernández, 2011).

En una investigación de Suárez *et al.* (2015) se estudió la composición de la macrofauna en cuatro arreglos agroforestales denominados AB, CH, CP y UV, durante dos épocas, determinando variaciones en el número de taxones e individuos, así se encontraron órdenes exclusivos para algunos arreglos, por ejemplo Homoptera y Dermaptera en UV y Raphidioptera en CH, al igual que en este estudio, en los sistemas se presentan algunos órdenes exclusivos como el orden Isopoda no se encuentra presente en el SSP con aliso pero si en los otros dos sistemas, el orden Hirudinea únicamente se encuentra en el SSP con acacia y el orden Dermaptera solo se encuentra en el SSP con aliso, mientras que las variaciones en número de individuos es notoria en todos los órdenes, así la macrofauna edáfica es bastante sensible a las prácticas agropecuarias por lo que es considerada como indicador del estado de salud del suelo, además su variación en abundancia y composición de sus comunidades se ve afectada por el tipo de vegetación (Castro, 2017).

En la investigación de García *et al.* (2014) encontraron 347,73 individuos por m<sup>2</sup> en sistemas silvopastoriles, mientras que Cabrera, Robaina y Ponce de León (2011) encontraron 581 individuos por m<sup>2</sup> en pastizales. Estos resultados son superiores a los obtenidos en la presente investigación, pues en el segundo año la densidad fue de 291 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con aliso, 154 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con acacia y 167 individuos por m<sup>2</sup> en el pastizal convencional. Esto se le atribuye a que el primer estudio se efectuó en un SSP con 10 años de explotación, mientras que los SSP con aliso y acacia fueron estudiados durante el primer y segundo año de implementación por lo que aún se encuentran en desarrollo.

Así mismo la densidad de lombrices de tierra por m<sup>2</sup> en el primer año fue de 158 individuos por m<sup>2</sup> en el SSP con aliso y en el segundo año fue de 231 lombrices por m<sup>2</sup> lo que corrobora la investigación de Camer y Rodríguez (2015) realizada durante dos años, donde la cantidad de lombrices en un SSP al inicio del experimento fue de 95 lombrices por m<sup>2</sup> y al final del período experimental aumentó a 315 lombrices por m<sup>2</sup>. Sin embargo, la densidad en el SSP con acacia disminuye de 140 a 93 lombrices por m<sup>2</sup>, al igual que el pastizal convencional de 162 a 111 lombrices por m<sup>2</sup>. Esta diferencia puede deberse a que los árboles de aliso presentan un mayor desarrollo con respecto a los árboles de acacia, lo que genera mayor producción de materia orgánica, existe mayor sombra aumentado el contenido de humedad lo cual genera el ambiente ideal para el desarrollo de lombrices de tierra, mientras que en el pastizal convencional no hay presencia de árboles y se sigue utilizando fertilizantes químicos lo cual limita el desarrollo del orden Haplotaxida, así las lombrices de tierra a través de su densidad pueden ser utilizadas como indicadores biológicos.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- En el primer año en abundancia de la macrofauna edáfica no se encontraron diferencias significativas entre los tres sistemas estudiados, pero en el segundo año existieron diferencias significativas, y en riqueza de la macrofauna edáfica existieron diferencias significativas en los dos años de estudio.
- La diversidad de la macrofauna edáfica es similar en los tres sistemas en los dos años de estudio, calificándolos como poco diversos, correspondiéndole en el primer año el valor más alto según el índice de Shannon Wiener al SSP con acacia y el índice de Margalef al SSP con aliso y en el segundo año según los dos índices ecológicos el valor más alto únicamente le corresponde al SSP con acacia.
- La diversidad beta para el primer año establece mayor semejanza entre el SSP con aliso y el SSP con acacia, mientras que en el segundo año el SSP con aliso y el pastizal convencional son más similares.
- En un total de 6755 individuos se identificaron 6 clases y 13 órdenes de los cuales los órdenes más representativos fueron Haplotaxida, Araneae, Diptera, Coleoptera, Pulmonata, Lepidoptera y Orthoptera.
- El orden Haplotaxida es considerado el más dominante al estar representado por el 71,55% de la abundancia total siendo considerado indicador biológico de calidad del suelo pues tiene la capacidad de desarrollarse en condiciones menos favorables que el resto de órdenes encontrados.
- Para el segundo año el SSP con aliso mejora la abundancia de la macrofauna con respecto al SSP con acacia y al pastizal convencional contribuyendo al desarrollo de las poblaciones de macroinvertebrados especialmente del orden Haplotaxida.
- En el SSP con aliso la densidad total también mejora en el segundo año con 291 individuos por metro cuadrado, y la densidad de lombrices de tierra aumenta a 231 por metro cuadrado, mientras que en el resto de sistemas estudiados la densidad baja en el segundo año.

- Se encontraron órdenes exclusivos para los sistemas estudiados como el orden Hirudinea únicamente se encuentra en el SSP con acacia, el orden Dermaptera solo se encuentra en el SSP con aliso y el orden Isopoda se encuentra en El SSP con acacia y en el pastizal convencional, el resto de órdenes son compartidos por todos los sistemas estudiados.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Determinar la diversidad de la macrofauna edáfica en los sistemas silvopastoriles con aliso y acacia, en los años posteriores.
- Investigar el efecto de otras especies forrajeras en SSP sobre la macrofauna edáfica en la Provincia del Carchi.
- Relacionar la taxonomía y funcionalidad de la macrofauna con las condiciones climáticas y tipos de suelo.
- Identificar la composición de la macrofauna edáfica a niveles más específicos como familias y especies.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROCALIDAD. (2015). *Instructivo de muestreo para el laboratorio de entomología*.
- Aguirre Segura, A., & Barranco Vega, P. (2015). Orden Orthoptera. *IDE@ - SEA(46)*, 5-10.
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 112.
- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villarreal, H. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Anderson, J. M., & Ingram I, J. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: a handbook of methods* (2da ed.). Reino Unido.
- Andrade C, M. G., Campos Salazar, L. R., González Montaña, L. A., & Pulido B, H. W. (2017). Santa María Mariposas Alas y Color. *Serie de Guías de Campo del Instituto de Ciencias Naturales(2)*, 10.
- Arias, F. G. (1999). *El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración* (3ra ed.). Caracas: Episteme.
- Badillo Solís, A., Pérez Rodríguez, R., & Lamothe Argumedo, R. (1998). Taxonomía e Importancia Ecológica de las "Sanguijuelas" (Annelida: Hirudinea) en Tres Embalses del Estado de Tlaxcala. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural(48)*, 58.
- Bourrut Lacouture, H. (2015). Lombrices en la tierra. *Año internacional de los suelos FAO*, (pág. 1).
- Brown, G. G., Fragoso, C., Barois , I., Rojas, P., Patrón, J. C., Bueno, J., . . . Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)(1)*, 79-83.

- Buitrago Guillen, M. E., Ospina Daza, L. A., & Narváez Solarte, W. (2018). Sistemas silvopastoriles: Alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol.Cient.Mus.Hist.Nat.U.de Caldas*, 22(1), 37.
- Cabrera Dávila, G. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. Ruffor.
- Cabrera, G., Robaina, N., & Ponce de León, D. (2011). Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 313-318.
- Camer Rey, A., & Rodríguez Díaz, H. (2015). Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 28(1), 99.
- Cantera, X., Cánovas, C., Garrido, F., & Mantel, S. (2015). El suelo un paseo por la vida. *NaturalMente*(8), 19.
- Carles, M., Hjorth, T., & Andersen . (2015). Orden Diptera. *IDE@ - SEA*(63), 6.
- Castillo Santos, R. G. (2016). *Diversidad y abundancia de macrofauna edáfica en tres sistemas de uso de suelo Illpa-PUNO*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Castro, J. (2017). *Papel de la fauna edáfica en el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas*. Tesis doctoral, Universidad de Vigo.
- Chapman, A. D. (2009). *Numbers of Living Species in Australia and the World* (2da ed.). Canberra, Australia.
- Conway, G. R. (1987). The Properties of Agroecosystems. *Agricultural systems*, 24, 95.
- Crespo, G. (2008). Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4), 329.

- Crespo, G. (2015). Factores que infuyen en el reciclaje de nutrientes en pastizales permanentes, avances en el desarrollo de su modelación. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(1), 7.
- Decaens, T., Jiménez, J. J., Rangel, A. F., Cepeda, A., Moreno, A. G., & Lavelle, P. (2001). La Macrofauna del Suelo en la Sabana Bien Drenada de los Llanos Orientales. En G. Rippstein, G. Escobar, & F. Motta, *Agroecología y Biodiversidad de las Sabanas en los Llanos Orientales de Colombia* (pág. 111).
- Dirzo, R. (1990). La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿qué sabemos? *Ciencias*(4), 49.
- FAO. (2015). El suelo es un recurso no renovable, su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. *Año Internacional de los Suelos*, 1.
- Fauchald, K. (1997). Filo Anélidos (Anlneida): Los gusanos segmentados. En *The polychaete worms, Definitions and Keys to the Orders, Families and Genera* (pág. 429). Los Ángeles, California.
- Fernández Gayubo, S., & Pujade Villar, J. (2015). Orden Hymenoptera. *IDE@ - SEA*(59), 1-12.
- Flores Muriel, L. A., & Umaña Arboleda, J. A. (2006). *Evaluación de la adaptación, comportamiento y efecto en la pradera de la acacia negra (Acacia decurrens), de la acacia japonesa (Acacia melanoxylon), y del aliso (Alnus acuminata), como cerca viva en un sistema de producción de ganado de leche*. Tesis de pregrado, Universidad de la Salle, Bogota, Colombia.
- García Barros, E., Romo, H., Sarto Monteys, V., Munguira, M. L., Baixeras, J., Vives Moreno, A., & Yela García, J. L. (2015). Orden Lepidoptera. *IDE@ - 2015*(65), 8.
- García, L. (2015). Orden Isopoda. *IDE@ - SEA*(78), 5.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2014). Efecto de diferentes usos de la tierra en la composición y la abundancia de la macrofauna edáfica, en la provincia de Matanzas. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 313-316.

- Giraldo V, L., & Bolívar V, D. (1999). *Evaluación de un Sistema Silvopastoril de Acacia decurrens Asociada con Pasto kikuyo Pennisetum clandestinum, en Clima Frío de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Departamento de producción animal, Medellín.
- Giribet, G. (2015). Orden Scolopendromorpha. *IDE@ - SEA*(30), 3-4.
- Golicher, D. (2012). *¿Cómo cuantificar la diversidad de especies?* Obtenido de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31871660/como\\_cuantificar\\_la\\_diversidad\\_de\\_spp.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1535053463&Signature=ZBkIojYDc6iYDGr5hXJzKy0XIEU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DComo\\_cua](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31871660/como_cuantificar_la_diversidad_de_spp.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1535053463&Signature=ZBkIojYDc6iYDGr5hXJzKy0XIEU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DComo_cua)
- Goula, M., & Mata, L. (2015). Orden Hemiptera. *IDE@ - SEA*(53), 12-13.
- Grijalva, J., Espinosa, F., & Hidalgo, M. (1995). *Producción y utilización de pastizales en la región interandina del Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Halffter, G. (1994). ¿Qué es la biodiversidad? *Boletín de la Institución Catalana de Historia Natural*(62), 7.
- Hernández Chávez, M., Sánchez Cárdenas, S., & Simón Guelmes, L. (2008). Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. *Zootecnia Trop.*, 26(3), 319-321.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2004). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Herrera Mesa, L. (2015). Orden Dermaptera. *IDE@ - SEA*(42), 1-5.
- Jiménez, F., & Vargas, A. (1998). *Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- King, R. (2004). *Isopods*. Southeastern Regional Taxonomic Center, South Carolina Department of Natural Resources, Carolina del Sur. Obtenido de Southeastern Regional Taxonomic Center.

- Lema Veloz, N. (2016). *Determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo en tres agroecosistemas de la comunidad de Naubug*. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Loewe, V., Pinilla, J. C., & González, M. (2009). Usos y mercado de la madera del aromo australiano (acacia melanoxyton). *Chile forestal*(344), 46.
- Lok, S., Crespo, G., Frómeta, E., & Fraga, S. (2005). Evaluación del comportamiento de algunos indicadores agrofísicos, biológicos y productivos en dos agroecosistemas de pastizales con la utilización o no de *Leucaena leucocephala*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(3), 364.
- Mahecha, L. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 226-227.
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 12. Recuperado el 20 de Agosto de 2017
- Mahecha, L., Gallego, L. A., & Peláez, F. J. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 219-220.
- Marín, E., Feijoo, A., & Peña, J. (2001). Cuántificación de la macrofauna en un vertisol bajo diferentes sistemas de manejo en el Valle del Cauca, Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 31(2), 234. Obtenido de Cuántificación de la macrofauna en un vertisol bajo diferentes sistemas de manejo en el Valle del Cauca, Colombia.
- Martínez Carretero, E. (1992). Recursos naturales, biodiversidad, conservación y uso sustentable. *Botánica y fitosociología*, 11.
- Mejía Narváez, M. (2018). *Composición de las comunidades de coleópteros en sistemas silvopastoriles (acacia, aliso), pasto y un bosque de referencia como indicadores de diversidad biológica en la Parroquia el Carmelo- Carchi- Ecuador*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán.

- Melic, A., Barrientos, J. A., Morano, E., & Urones, C. (2015). Orden Araneae. *IDE@-SEA*(11), 3-7.
- Meneses Estrada, E. V., & Reina López, A. N. (2015). *Cuantificación de macrofauna del suelo en un sistema silvopastoril comparado con un sistema convencional en una zona de bosque seco tropical (bs-T)*. Tesis de pregrado, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.
- Molina E, O. (1977). El manejo de sus potreros. *Programa de Ganadería Lechera y Pastos* (pág. 3). Quito: INIAP.
- Monge Nájera, J. (1996). Moluscos del suelo como plagas agrícolas y cuarentenarias. *X Congreso Nacional Agronómico/ Congreso de Suelos*, (págs. 51-53). San José, Costa Rica.
- Murgueitio R, E. (1999). Reconversión ambiental y social de la ganadería bovina en Colombia. *World Animal Review*(93), 7-8.
- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*, 15(10).
- Narváez Jaramillo, J. (2018). *Las actividades agroturísticas y el desarrollo turístico en la finca San Vicente*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán.
- Navas Panadero, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*(19), 113-121.
- Noni, G., & Trujillo, G. (1986). Degradación del suelo en el Ecuador. Principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso. 383. Obtenido de Degradación del suelo en el Ecuador; Principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso.
- Ospina Penagos, C., Hernández Restrepo, R., Gómez Delgado, D., Godoy Bautista, J., Aristizábal Valencia, F., Patiño Castaño, J., & Medina Ortega, J. (2005). El aliso o cerezo *Alnus acuminata* H.B.K. ssp. *acuminata*. *Guías silviculturales para el manejo*

*de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana*, (págs. 5-6).

Padilla Álvarez, F., & Cuesta López, A. E. (2003). *Zoología Aplicada*. Madrid, España: Díaz de Santos.

Padilla, C., Crespo, G., & Sardiñas, Y. (2009). Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4), 351. Obtenido de Revista Cubana de Ciencia Agrícola.

Peri, P. (2015). 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles y VIII Congreso Internacional Sistemas Agroforestales., (pág. 601).

Pezo, D., & Ibrahim, M. (1999). *Sistemas silvopastoriles*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Piza, P., Jiménez, A., & Prieto, J. (2011). Estado del arte de algunos sistemas de producción ganadera de clima frío en Colombia y el mundo. *Inventum*(11), 49.

Pla Sentís, I. (2015). Problemas de degradación de suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos. *X Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo*, (pág. 1). Ecuador.

Prieto, M., Molina Victor, & Dueñas, D. (2017). Evaluación de dos índices de diversidad para definir sustentabilidad biológica en una finca agrícola, del cantón Urdaneta. *FADMI*(1), 29.

Ramirez, J. C., & Schlatter, J. (1998). Análisi de variables de sitio para estimar el establecimiento en Chile de *Acacia melanoxylon* R. Br. *Bosque*, 19(2), 48-49.

Reátegui López, G. (2013). *Efecto de la tala y quema en los macroinvertebrados del suelo en el sector Supte San Jorge- Tingo María, Perú*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.

Rosero, J. (2011). Pastos y Forrajes en Alimentación del Ganado. *Tierra adentro*, 2. Obtenido de <http://revistatierraadentro.com/index.php/ganaderia/194-pastos-y-forrajes?format=pdf>

Sánchez Matta, L., Amado Saavedra, G. M., Criollo Campos, P. J., Carvajal Salcedo, T., Roa Triana, J., Cuesta Peralta, A., . . . Barreto de Escovar, L. (2009). *El aliso (alnus*

*acuminata H.B.K.) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano. Colombia: Copoica.*

Sánchez, S., & Hernández, M. (2011). Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 34(3), 359.

Sánchez, S., Hernández, M., & Simón, L. (2003). Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la empresa nazareno. *Pastos y Forrajes*, 26(2), 132.

Soca, M., Simón, L., Roque, E., Soca, M., & García, D. (2006). Influencia de la macrofauna edáfica en la desaparición de las excretas en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes 2006*, 29, 169.

Sotelo, M., Suárez Salazar, J. C., Álvarez Carrillo, F., Castro Núñez, A., Calderón Soto, V. H., & Arango, J. (2017). Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico. Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable? *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*(448), pág. 6.

Suárez Salazar, J. C., Duran Bautista, E. H., & Rosas Patiño, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agronómica*, 64(3), 214-218.

Suquilanda V, M. B. (2008). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.*, (pág. 1). Quito.

Tellería, J. L. (2013). Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*(10), 16.

Vega, A. M., Herrera, R. S., Rodríguez, G., Sanchez, S., Lamela, L., & Santana, A. A. (2014). Evaluación de la macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(2), 189-190.

Vilca Valqui, N. C. (2018). *Influencia de los sistemas de producción en la diversidad de macrofauna edáfica en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas,*

*Amazonas*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza, Chachapoyas, Perú.

Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., Ríos, N., & Sepúlveda, C. (2009). Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. En C. J. Sepúlveda, & M. Ibrahim, *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central* (pág. 103). Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Yeates, D. K., & Wiegmann, B. M. (1999). Congruence and controversy: Toward a higher-level phylogeny of Diptera. *Annual Review Entomology*, 44, 398-399.

Zaldívar Suárez, N., Benítez Jiménez, D., Pérez Machado, B., Fernández Verdecia, Y., Montecelos Zamora, Y., & Licea Castro, L. (2009). Efecto de la vegetación sobre la biodiversidad de macroinvertebrados del suelo en ecosistemas ganaderos. *Granma Ciencia.*, 13(1), 1-3.

Zaldívar, N., Pérez, B. E., Fernández, Y., & Licea, L. (2007). Macrofauna edáfica en tres sistemas ganaderos. *Centro Agrícola*, 34(2), 76-78.

Zarazaga, M. Á. (2015). Orden Coleóptera. *IDE@ - SEA*(55), 5-9.

## VII. ANEXOS

**Anexo 1-** Sistema silvopastoril con aliso



**Anexo 2-** Sistema silvopastoril con acacia



**Anexo 3-** Pastizal convencional



**Anexo 4-** Metodología propuesta por el programa “Tropical Soil Biology and Fertility” (TSBF)

