UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN DISTINTOS USOS DE SUELO, EN EL SECTOR LAS MERCEDES DEL CANTÓN ISIDRO AYORA

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de
INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR
VÁSQUEZ RODRÍGUEZ RAISA AZUCENA

TUTOR
ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO, M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN DISTINTOS USOS DE SUELO, EN EL SECTOR LAS MERCEDES DEL CANTÓN ISIDRO AYORA, realizado por la estudiante VÁSQUEZ RODRÍGUEZ RAISA AZUCENA; con cédula de identidad N°0952169795 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO, M.Sc.

Guayaquil, 25 de octubre del 2021

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "DETERMINACIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN DISTINTOS USOS DE SUELO, EN EL SECTOR LAS MERCEDES DEL CANTÓN ISIDRO AYORA", realizado por la estudiante VÁSQUEZ RODRÍGUEZ RAISA AZUCENA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

_____

ING. MOROCHO ROSERO LUIS, M.Sc.
PRESIDENTE

_____	_____
ING. GONZALEZ SOTO FERNANDO, M.Sc.	ING. ARCOS JÁCOME DIEGO, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL	**EXAMINADOR PRINCIPALIZADO**

Guayaquil, 25 de octubre del 2021

Dedicatoria

A Dios por permitirme cumplir los anhelos de mi corazón, por no soltar de mi mano en los momentos difíciles.

A mis padres, Ruperto Vásquez y Azucena Rodríguez, que con mucho esfuerzo, amor y paciencia han estado para mí en cada etapa de mi vida; gracias a su apoyo he podido culminar mi carrera, a ellos les dedico este logro.

A mis abuelitos Genaro Rodríguez, Rosa Miranda y Edilma Paredes, por su amor y anhelo de ver a su nieta cumplir su meta.

A mis padrinos, Guillermo Vásquez y Laura Zambrano, por la buena voluntad, consideración, aprecio y cariño brindado por años.

A mi fiel amiga Nina, por estos años de compañía y amor desinteresado.

Agradecimiento

Gracias a mi tutor Ing. Diego Arcos, por el tiempo brindado, por su generosidad y apoyo para la culminación de mi trabajo de tesis, gracias por el empuje y por no dejarme desistir en momentos complicados.

Gracias a los Ingenieros Luis Morocho y Jussen Facuy, por el tiempo y apoyo brindado, por aportar con conocimientos y ser guías en el desarrollo de este trabajo.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo VÁSQUEZ RODRÍGUEZ RAISA AZUCENA en calidad de autora del proyecto realizado, sobre "DETERMINACIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN DISTINTOS USOS DE SUELO, EN EL SECTOR LAS MERCEDES DEL CANTÓN ISIDRO AYORA" para optar el título de INGENIERA AMBIENTAL por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, octubre 25 del 2021

VÁSQUEZ RODRÍGUEZ RAISA AZUCENA
C.I. 0952169795

Índice general

PORTADA 1

APROBACIÓN DEL TUTOR 2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN 3

Dedicatoria 4

Agradecimiento 5

Autorización de Autoría Intelectual 6

Índice general 7

Índice de tablas 12

Índice de figuras 14

Resumen 16

Abstract 17

1. Introducción 18

1.1 Antecedentes del problema 19

1.2 Planteamiento y formulación del problema 21

1.2.1 Planteamiento del problema 21

1.2.2 Formulación del problema 23

1.3 Justificación de la investigación 23

1.4 Delimitación de la investigación 24

1.5 Objetivo general 25

1.6 Objetivos específicos 25

1.7 Hipótesis 25

2. Marco teórico 26

2.1 Estado del arte 26

2.2 Bases teóricas 27

2.2.1 Biodiversidad 27

2.2.2 Ecosistema 28

2.2.3 Ecosistemas terrestres 28

2.2.4 Biodiversidad del suelo 29

2.2.5 El suelo 29

2.2.6 Calidad del suelo 30

2.2.6.1 Atributos de la calidad del suelo 31

2.2.6.1.1 Fertilidad 31

2.2.6.1.2 Productividad 31

2.2.6.1.3 Sostenibilidad 31

2.2.6.1.4 Calidad ambiental 32

2.2.7 Contaminación del suelo 32

2.2.7.1 Contaminación del suelo de origen puntual y difusa 33

2.2.7.1.1 Contaminación puntual 33

2.2.7.1.2 Contaminación difusa 33

2.2.7.2 Tipos de procesos de degradación del suelo 34

2.2.7.2.1 Procesos de degradación física 34

2.2.7.2.2 Procesos de degradación química 34

2.2.7.2.3 Procesos de degradación biológica 34

2.2.8 Bioindicadores del suelo 34

2.2.9 Organismos del suelo 35

2.2.9.1 Clasificación de los organismos del suelo según la FAO 36

2.2.9.2 Macroorganismos del suelo **36**

2.2.9.3 Características de los grupos de macrofauna edáfica *39*

2.2.9.3.1 Lombrices de tierra **39**

2.2.9.3.2 Babosas y caracoles **39**

2.2.9.3.3 Cochinillas **40**

2.2.9.3.4 Milpiés **40**

2.2.9.3.5 Ciempiés **40**

2.2.9.3.6 Cucarachas **41**

2.2.9.3.7 Escarabajos **41**

2.2.9.3.8 Tijeretas **41**

2.2.9.3.9 Hormigas **42**

2.2.9.3.10 Termitas **42**

2.2.9.3.11 Mariposas **43**

2.2.10 Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo . **43**

2.2.11 Medición de la biodiversidad **44**

2.2.11.1 Índices que miden la biodiversidad *45*

2.2.11.2 Métodos de medición al nivel de especies *45*

2.2.11.2.1 Índice de Shannon **46**

2.2.11.2.2 Índice de equidad **46**

2.2.11.2.3 Índice de Simpson **46**

2.2.11.2.4 Índice de Margalef **46**

2.2.11.2.5 Riqueza taxonómica **46**

2.3 Marco legal **47**

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador **47**

2.3.2 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental **47**

2.3.3 Ley de gestión ambiental 48

2.3.4 Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre 48

2.3.5 Código Orgánico del Ambiente 49

2.3.6 Acuerdo Ministerial 061, Reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria 50

2.3.7 Resolución 113 – Norma complementaria para facilitar la aplicación de la Decisión 436, Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (2009) 50

3. Materiales y métodos 52

3.1 Enfoque de la investigación 52

3.1.1 Tipo de investigación 52

3.1.2 Diseño de investigación 52

3.2 Metodología 53

3.2.1 Variables 53

***3.2.1.1 Variable independiente* 53**

***3.2.1.2 Variables dependientes* 53**

3.2.2 Diseño experimental 53

3.2.3 Recolección de datos 53

***3.2.3.1 Recursos* 53**

***3.2.3.2 Métodos y técnicas* 54**

***3.2.3.2.1 Muestreo* 55**

***3.2.3.2.2 Procedimiento* 56**

***3.2.3.2.3 Análisis de las muestras de suelo* 56**

3.2.4 Análisis estadístico 63

4. Resultados 64

4.1 Identificación de la macrofauna de los distintos usos de suelo a nivel de Orden y Familia mediante varias claves dicotómicas y el conteo de las poblaciones de macrofauna 64

4.2 Análisis de los efectos que tienen los distintos usos de suelo sobre la composición y abundancia de la macrofauna edáfica mediante índices de biodiversidad 69

4.2.1 Análisis de pH – suelo agrícola 69

4.2.2 Análisis de pH – suelo de pastoreo 71

4.2.3 Análisis de pH – suelo forestal 72

4.2.4 Determinación de la textura 75

4.2.5 Contenido de materia orgánica 86

4.2.6 Resultados de los índices de biodiversidad (Shannon, Simpson, Margalef y equidad) 89

4.3 Propuesta de un programa de siembra para la recuperación de la calidad de suelos afectados por actividades antropogénicas 91

5. Discusión 96

6. Conclusiones 99

7. Recomendaciones 100

8. Bibliografía 101

9. Anexos 112

9.1 Anexo 1. Figuras complementarias 112

9.2 Anexo 2. Tabla complementaria 123

Índice de tablas

Tabla 1. Grupos funcionales de macroorganismos del suelo 37

Tabla 2. Grupos que componen la macrofauna del suelo 38

Tabla 3. Recursos 54

Tabla 4. Identificación y conteo especies de macrofauna edáfica 65

Tabla 5. Especies recolectadas en el uso de suelo agrícola por puntos de muestreo 66

Tabla 6. Especies recolectadas en el uso de suelo forestal por puntos de muestreo 66

Tabla 7. Total de especies de macrofauna edáfica recolectadas en la zona de estudio 67

Tabla 8. Valores obtenidos de la medición de pH del suelo agrícola 70

Tabla 9. Valores obtenidos de la medición de pH del suelo de uso para pastoreo 71

Tabla 10. Valores obtenidos en la medición de pH del suelo forestal 72

Tabla 11. Análisis estadístico ANOVA 74

Tabla 12. Correlación de Pearson entre el pH y los índices de biodiversidad .. 75

Tabla 13. Lectura del termómetro y del densímetro en muestra de suelo agrícola 76

Tabla 14. Lectura del termómetro y del densímetro en muestra de suelo para pastoreo 77

Tabla 15. Lectura del termómetro y del densímetro en muestra de suelo forestal 78

Tabla 16. Lecturas del hidrómetro de las muestras de suelo corregidas con el factor de correción según su temperatura 80

Tabla 17. Resultados obtenidos del cálculo de los porcentajes de arena, limo y arcilla en los usos de suelo agrícola, pastoreo y forestal 82
Tabla 18. Textura - Análisis estadístico Kruskal Wallis 83
Tabla 19. Análisis de varianza en textura (arcilla y limo)..... 84
Tabla 20. Correlación de Spearman entre la textura (arena) y los índices de biodiversidad 85
Tabla 21. Correlación de Pearson entre la textura (arcilla y limo) y los índices de biodiversidad 86
Tabla 22. Medición del contenido de materia orgánica en los usos de suelo ... 87
Tabla 23. Materia orgánica - Análisis estadístico 88
Tabla 24. Correlación de Spearman entre la materia orgánica y los índices de biodiversidad 88
Tabla 25. Índices de biodiversidad en los usos de suelo agrícola y forestal 89
Tabla 26. Índices de biodiversidad - Análisis estadístico 91
Tabla 27. Tabla general con los valores obtenidos de los parámetros químicos e índices de biodiversidad..... 123

Índice de figuras

Figura 1. Procedimiento para la determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo. 55

Figura 2. Procedimiento para muestreo según el Protocolo de Muestreo para la Macrofauna del suelo, del TSBF. 56

Figura 3. Representación correspondiente a cada de una de las clases de macroinvertebrados hallados en cada uso de suelo (agrícola, pastoreo y forestal) 68

Figura 4. Distribución de las especies de macrofauna en los usos de suelo agrícola, pastoreo y forestal 69

Figura 5. Resultados de las mediciones de pH del uso de suelo agrícola 71

Figura 6. Resultados de las mediciones de pH en el uso de suelo de pastoreo 72

Figura 7. Resultados de las mediciones de pH en el uso de suelo forestal 73

Figura 8. Resultados de Shannon, Simpson, Margalef y Equidad en los usos de suelo agrícola y forestal 90

Figura 9. Uso de suelo agrícola, cultivo de pitahaya..... 112

Figura 10. Uso de suelo para pastoreo 112

Figura 11. Herramientas de campo empleadas para la toma de muestras de suelo..... 113

Figura 12. Almacenamiento de las muestras de suelo en bolsas de papel 113

Figura 13. Claves de identificación para artrópodos 114

Figura 14. Claves de identificación para hexápodos..... 115

Figura 15. Claves de identificación para insectos sin alas..... 116

Figura 16. Claves de identificación para insectos ocasionalmente sin alas.... 117

Figura 17. Claves de identificación para insectos con alas..... 118

Figura 18. Claves para la identificación de otros insectos alados 119

Figura 19. Claves para la identificación de otros órdenes..... 120

Figura 20. Claves para la identificación de arácnidos..... 121

Figura 21. Triángulo textural según la clasificación de la USDA..... 122

Figura 22. Test de normalidad (Q-Q Plot) en programa InfoStat/L 122

Resumen

Este estudio se centró en la determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo (agrícola, pastoreo y forestal) mediante un muestreo y análisis de laboratorio. Para cumplir con los objetivos planteados, se realizó una visita in-situ a la zona de estudio donde se procedió con la demarcación de la parcela, posteriormente se tomaron muestras y se recolectaron especies de macrofauna. Una vez recolectadas las especies, se elaboraron claves dicotómicas para su identificación a nivel de orden y familia; se logró determinar que los macroinvertebrados recolectados en el área de estudio corresponden a 8 familias pertenecientes a 7 órdenes, de los cuales, el orden *Hymenoptera* fue el predominante. Luego, se evaluaron los parámetros químicos de pH, textura y materia orgánica, de los cuales se obtuvieron los siguientes valores: agrícola (pH: 6,08 – 6,60; textura: franco arcillo arenoso; materia orgánica: 13,36 g/L – 22,44 g/L), pastoreo (pH: 6,99 – 7,80; textura: franco; materia orgánica: 12,50 g/L – 19,69 g/L), forestal (pH: 6,80 – 7,41; textura: franco arenoso; materia orgánica: 25,09 g/L – 50,64 g/L). Adicional, se emplearon los índices de biodiversidad de Shannon, Simpson, Margalef y equidad cuyos resultados se correlacionaron con la información obtenida de los parámetros químicos. De acuerdo con los resultados, se concluye que las diferentes actividades antropogénicas en los usos de suelo (agricultura y ganadería) afectan a la calidad del suelo y por ende a las poblaciones de macroinvertebrados.

Palabras clave**:** calidad del suelo, correlación, índices de biodiversidad, macroinvertebrados, parámetros.

Abstract

This study was focused on the determination of the edaphic macrofauna in different land uses (agricultural, grazing and forest) by means of sampling and laboratory analysis. In order to meet the objectives, an in-situ visit was done to the study area where the plot was demarcated, samples were taken and macrofaunal species were collected. Once the species were collected, dichotomous keys were elaborated for their identification at the order and family level; it was determined that the macroinvertebrates collected in this area according to 8 families belonging to 7 orders, being order *Hymenoptera* the predominant one. Then, the chemical parameters of pH, texture and organic matter were evaluated, getting the following results: agricultural (pH: 6.08 - 6.60; texture: sandy clay loam; organic matter: 13.36 g/L - 22.44 g/L), grazing (pH: 6.99 - 7.80; texture: loam; organic matter: 12.50 g/L - 19.69 g/L), forestry (pH: 6.80 - 7.41; texture: sandy loam; organic matter: 25.09 g/L - 50.64 g/L). In addition, the Shannon, Simpson, Margalef and equity biodiversity indices were used and the results were correlated with the information obtained from the chemical parameters. Based on the results, it is concluded that the different anthropogenic activities in land use (agriculture and livestock) affect soil quality and therefore macroinvertebrate populations.

Key words: soil quality, correlation, biodiversity indices, macroinvertebrates, parameters.

1. Introducción

El suelo, es un recurso natural que proporciona sustento a una diversidad de especies y es el lugar donde ocurren los procesos fundamentales de los ecosistemas (Ciclo del agua, carbono, nitrógeno y fósforo) (Veloz, 2016).

Por otra parte, la fauna del suelo involucra a aquellos organismos que pasan toda su vida o parte de ella en el interior del suelo, sobre el área instantánea de este, en la hojarasca superficial, en troncos caídos en estado de descomposición y en otros ambientes de características similares (Dávila, 2019).

El objeto de estudio en la presente investigación se enfocará en los macroinvertebrados y en su importancia como indicadores de la salud o calidad de suelo. Es importante mencionar que la macrofauna agrupa a los invertebrados más visibles y cuya longitud es igual o superior a los 10mm, asimismo poseen un diámetro mayor a 2mm, lo que permite que estos sean de fácil observación tanto en la superficie como en el interior del suelo (Dávila, 2019). Muchas de las especies de macrofauna edáfica son vitales en el suelo porque contribuyen a la transformación de sus propiedades, entre los organismos que encontramos están: las lombrices de tierra (Annelida: *Oligochaeta*), las termitas (Insecta: *Isoptera*) y las hormigas (Insecta: *Hymenoptera*), estas especies actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua, la humificación y mineralización de la materia orgánica (Cabrera, 2012).

Dentro de la macrofauna edáfica existen otros miembros como: milpiés (*Diplopoda*), ciempiés (*Chilopoda*), arañas (*Araneae*), escarabajos (*Coleoptera*), cochinillas (*Isopoda*), grillos (*Orthoptera*), cucarachas (Dictyoptera: *Blattaria*), caracoles (Mollusca: Gastropoda), chinches (*Hemíptera*), larvas de moscas (*Diptera*) y larvas de mariposas (*Lepidoptera*), pueden incluir un millar de especies

en un solo ecosistema y alcanzar densidades y biomasas de más de un millón de individuos; estos organismos ejecutan variadas funciones en el ecosistema al igual que las especies mencionadas con anterioridad y pueden ser divididas en varias clases, utilizando diversas clasificaciones funcionales Brown *et al*., (2014).

Frecuentemente se considera a los grupos de macrofauna edáfica como propuestas para ser usados como indicadores de la calidad biológica del suelo por su papel en los procesos del ecosistema, su sensibilidad ante las condiciones ambientales y por ser un componente determinante de la biota del suelo, además de ser un indicativo de su biodiversidad y de los efectos de cambio de uso y prácticas de manejo del mismo Bignell *et al.,* (2011).

La calidad del suelo es la capacidad que tiene un suelo de funcionar con su ecosistema y su uso, para sostener la productividad de las plantas y animales y también para favorecer su salud; además de mejorar la calidad del agua y del aire, en general la calidad del ambiente (Stivers, 2017).

1.1 Antecedentes del problema

Los plaguicidas son productos químicos que se utilizan en la agricultura para proteger a los cultivos contra insectos, hongos, malezas y otras plagas (OMS, 2016). Se ha determinado que los plaguicidas son potencialmente tóxicos y perjudiciales para la salud de las personas e incluso llegan a ocasionar un desbalance en la naturaleza, desequilibrando los sistemas ecológicos (poblaciones animales, vegetales y microbianas), estas alteraciones en el suelo y en los sistemas biológicos intervienen en la fertilidad y por ende en la calidad del suelo. La persistencia en el suelo de estos agroquímicos va a depender de sus propiedades físico-químicas, de sus características y de las condiciones climáticas; estos intervienen en la disminución de la actividad de las enzimas, influyendo en la mayor

parte de las reacciones bioquímicas (mineralización de la materia orgánica, nitrificación, denitrificación, reacciones redox y la metanogénesis) (Rodas, 2017).

Según Rojas, Montero y Zequeira (2016), los conflictos de uso del territorio se dan por el uso inadecuado de los suelos, provocando una mayor afectación en ellos, ya sea por factores como la deforestación, la ganadería, entre otros. Los factores mencionados anteriormente, son los principales problemas de la mala calidad de las tierras, en donde hay tanto sobreutilización como subutilización. La minería es otro factor incidente en la problemática de conflicto del uso del suelo, que provoca múltiples impactos ambientales como la afectación a la zona vegetal, la contaminación de aguas superficiales, aguas subterráneas, afecta a la disponibilidad del recurso hídrico y además produce la esterilización del suelo ocasionando un desequilibrio en la cadena trófica con la desaparición de la biota presente.

Rojas *et al*., (2016) llegaron a la conclusión en investigaciones realizadas de que la macrofauna edáfica es un factor biológico subestimado al momento de evaluar los impactos que ocasiona la explotación minera, por otra parte han establecido que la misma es excelente como indicador en la calidad de los suelos.

Para Rendón, Artunduaga, Ramírez, Quiroz y Leiva (2011), la macrofauna del suelo no es muy considerada al momento de establecer las diferentes prácticas agrícolas por lo que puede verse afectada por actividades como la labranza y el uso de insumos químicos, lo que se refleja en la disminución o eliminación de la biomasa de estas poblaciones. La diversidad, número y funciones de los macroinvertebrados puede ser vulnerada por los cambios ambientales, en este caso al cambio ambiental en las condiciones del suelo, relacionados a la labranza,

la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, las quemas, la tala y otras actividades que se realizan en los sistemas de cultivo.

Ruiz, Feijoo y Rodríguez (2010) señalan que, la perturbación del suelo por actividades de labranza, sistemas de cultivo, la aplicación de químicos y la introducción de plantaciones de especies exóticas, influyen directamente sobre las especies de macroinvertebrados. Estudios realizados en plantaciones de pino y ciprés demostraron que, la baja riqueza de especies macroinvertebradas puede estar asociada con la homogeneidad de la hojarasca, la composición química y la presencia de sustancias tóxicas, entre otras.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El suelo se constituye como un recurso único, esencial e irremplazable para todos los organismos terrestres, incluido el hombre; independientemente de su origen tiene como función ser el soporte para la vegetación, brindando las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas. De acuerdo con Navarro y Navarro (2014), los organismos presentes en el suelo juegan un papel fundamental en el proceso de edafización, además de favorecer al desarrollo y estabilidad de la estructura del suelo, aumentar la porosidad, mejorar el drenaje, influir en el microclima y proteger al suelo frente a la erosión.

Para Martínez, Ojeda, Hernández, Martínez y De la O (2011), el uso continuo de una o más sustancias químicas en el suelo ocasiona que este pierda su capacidad de amortiguamiento y que como consecuencia pase de ser un sistema protector a ser un problema para el agua, la atmósfera y los organismos, además de que se produce un desequilibrio en los ciclos biogeoquímicos, alterando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Según lo señalado anteriormente esta

problemática en el suelo deriva en un empeoramiento de sus propiedades, la disminución de su masa, la disminución de la producción y el aumento de los gastos de explotación (se necesita mayor cantidad de abonos y cada vez hay menos producción), infertilidad total y desertificación de territorio.

Los plaguicidas son sustancias usadas de manera constante y mayoritaria en zonas agrícolas para controlar plagas e incluso insectos y ácaros que afectan a la producción de alimentos, productos agrícolas, madera, etc. Estas sustancias complejas una vez en contacto con el ambiente pasan por una serie de transformaciones a nivel físico, químico y biológico, para después conducir a la degradación parcial o total de los compuestos que en sus diversas formas perjudican a los diferentes niveles de un ecosistema. De acuerdo con García y Rodríguez (2012), en estudios realizados en México, pusieron en evidencia que existen alrededor de 900 plaguicidas e insecticidas químicos, estos son empleados en cultivos de maíz, algodón, papa, chile, tomate, frijol, trigo, entre otros, con cantidades que van desde 395 hasta 13,163 ton de plaguicidas al año. La aplicación de estos compuestos químicos es una de las principales fuentes de contaminación ambiental en el país.

Espinoza y Tinoco (2015), mediante una investigación realizada en Ecuador, en la Provincia de El Oro, concluyeron que el uso de plaguicidas se ejecuta de manera indiscriminada sin tomar precauciones en el empleo de los mismos, afectando a la salud de las personas que manipulan estas sustancias y también de las personas que habitan cerca de las zonas agrícolas.

De acuerdo con Caicedo, Benavides, Carvajal y Ortega (2018), en una investigación preliminar realizada también en Ecuador, en un sistema silvopastoril de una finca en la Provincia de Carchi, mediante un análisis específico sobre la

biota del suelo en función de sus índices de biodiversidad, se midieron los niveles de productividad de los sistemas silvopastoriles y se dedujo que estos dependen de las condiciones climáticas, edáficas y la presencia de fauna del suelo. La presencia de la biota en el suelo es importante ya que de esta depende su fertilidad y estabilidad. Los estudios realizados en esta zona valieron para identificar la variación poblacional de las especies entre los sistemas silvopastoriles de acuerdo a las mejores relaciones simbióticas, es decir, que por medio de esto se puede demostrar la variación en la calidad de los hábitats.

Por último, la variación de las poblaciones de macrofauna edáfica, son una respuesta a las modificaciones que se dan por los distintos usos de suelo que están relacionados directamente con las actividades humanas que se realizan en la cobertura vegetal, actividades como la agricultura, ganadería, pastoreo, entre otras; y por causas naturales como la radiación solar y lluvias, que ocasionan alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo la actividad agrícola afecta a la población y diversidad de macrofauna edáfica?

1.3 Justificación de la investigación

Las especies de macrofauna edáfica juegan un papel importante en la productividad de los agroecosistemas y principalmente del suelo, considerándose como benefactores por su capacidad de modificar el ambiente superficial y edáfico en el cual se desarrollan las plantas.

El factor principal de la crisis ambiental existente es la agricultura convencional que provoca una baja sostenibilidad de la agricultura, degradación del suelo, pérdida de la biodiversidad por la disminución de los ecosistemas y alteraciones en

el ciclo hidrológico, además de la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Es fundamental mantener la calidad de los suelos y su productividad, aunque en la actualidad sea un desafío para la agricultura moderna. Para Noguera, Reyes y Mendieta (2017), el empleo de la macrofauna edáfica en la evaluación de los efectos de las prácticas de manejo agroecológico es viable ya que son de fácil recolección y además se puede visualizar como la presencia de estas especies influyen en el incremento de carbono en suelo, que a su vez favorece a la supervivencia y a la actividad microbiana, contribuyendo a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

Suárez, Duran y Rosas (2015) señalan que los beneficios que genera la presencia de la macrofauna edáfica para la sostenibilidad de los agroecosistemas y del recurso suelo principalmente son diversos, entre ellos, el incremento en la dinámica de la materia orgánica, cambios en algunas de las propiedades físicas del suelo y promueve la actividad de los microorganismos para la descomposición química.

Para Cabrera, Murillo, Adame y Fernández (2019), la abundancia, diversidad y función de la macrofauna edáfica junto con otras aptitudes permiten considerarla como un indicador ecológico, siendo un determinante en la fertilidad del suelo y en el funcionamiento global del sistema edáfico, por esto se propone el uso de estas especies como indicadores de la calidad del suelo al ser vulnerables y presentar una respuesta rápida a los cambios en la cobertura vegetal.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** el estudio se realizará en el sector de las Mercedes en la parte sur del Cantón Isidro Ayora, perteneciente a la Provincia del Guayas. Sus coordenadas son:

Latitud 2°04'14.68"S; Longitud 80°09'43.47"W

- **Tiempo:** el proyecto tiene una duración de 3 meses.
- **Población:** la zona de estudio cuenta con un total de 30 habitantes.

1.5 Objetivo general

Determinar la macrofauna edáfica en distintos usos del suelo mediante un muestreo y análisis de laboratorio como indicador de la calidad de suelo en el sector de Las Mercedes del Cantón Isidro Ayora.

1.6 Objetivos específicos

- Identificar la macrofauna de los distintos usos de suelo a nivel de Orden y Familia mediante varias claves dicotómicas y el conteo de las poblaciones de macrofauna.
- Analizar los efectos que tienen los distintos usos de suelo sobre la composición y abundancia de la macrofauna edáfica mediante índices de biodiversidad.
- Proponer un programa de siembra para la recuperación de la calidad de suelos afectados por actividades antropogénicas.

1.7 Hipótesis

Las distintas actividades agrícolas afectan a la diversidad y población de especies de macrofauna edáfica.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Sánchez y Reinés (2012), señalan que la fauna edáfica, sus funcionalidades, así como su interacción con la fertilidad del suelo tienen que ser estudiados para efectuar un mejor uso del potencial de las especies nativas de la zona de estudio y para elaborar el diseño de técnicas de desempeño que permitan incrementar la productividad de forma sustentable.

Para Anderson y Ingram (1993), la macrofauna en el suelo produce beneficios para la sostenibilidad de los agroecosistemas, entre ellos, el aumento en la dinámica de la materia orgánica y cambios de varias de las propiedades físicas del suelo. Para determinar la macrofauna edáfica, Tropical Soil Biology, propone emplear la metodología que se encuentra en su manual de métodos y cuyo trabajo está basado en el Programa de biología y fertilidad de suelos tropicales (TSBF), que además cuentan con el respaldo de la Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo y forman parte de la Unión Internacional de Ciencias Biológicas y del Programa El Hombre y la Biósfera de la UNESCO.

Suárez *et al.,* (2015) sugieren la metodología propuesta por Tropical Soil Biology que consiste en, tomar muestras al azar en cuatro monolitos, tanto en época lluviosa aproximadamente por el mes de mayo y en época seca o de mínima precipitación, la finalidad del proceso anterior es realizar una comparación del efecto de la estacionalidad de la precipitación, en la composición de la macrofauna. Luego, los invertebrados recolectados se conservan en alcohol al 70% y se separan según su morfología, para identificarlos con un estereoscopio hasta el nivel de orden, apoyándose con manuales especializados.

De acuerdo con Lang *et al*.,(2011) en años recientes se ha incrementado la atención sobre la evaluación de bioindicadores de la calidad del suelo por parte de la comunidad científica, debido a las preocupaciones que se dan entorno a la degradación del suelo y la necesidad de gestionar de una manera sostenible los suelos. Con estas investigaciones se evalúa la relación entre el uso del suelo y la macrofauna edáfica, con la finalidad de obtener un balance ecológico y un desarrollo sustentable del recurso suelo.

Jones (2009) demostró que las termitas estan relacionadas con el ciclo del carbono y con el nivel de fertilidad del suelo, además comprobó que las lombrices, miriápodos y otros invertebrados son sensibles a los químicos agrícolas; las lombrices producen cambios positivos en el suelo mejorando su estructura, porosidad y reduciendo pérdidas de nitrógeno.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Biodiversidad

La biodiversidad es el resultado de un proceso evolutivo que se revela en la existencia de distintos modos de ser para la vida, es la diversidad o variedad biológica. La mutación y selección son determinantes de las características y la cantidad de diversidad existentes en un lugar y momento dado; se presentan diferencias de los fenotipos a nivel genético, morfológico, fisiológico y etológico, diferencias en las formas de desarrollo, demografía y en las historias de vida. La diversidad biológica abarca toda la escala de organización de los seres vivos (Halffter, 1995).

El concepto de biodiversidad hace referencia a la diversidad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que encontramos en un espacio determinado.

2.2.2 Ecosistema

Martínez, Stephen y Búrquez (2010) definen al ecosistema como una unidad funcional de la naturaleza, es decir, involucra a todos los organismos que viven en un área determinada y que interactúan entre sí y con el ambiente que los rodea. Los ecosistemas, son sistemas termodinámicamente abiertos que mantienen un constante intercambio de materia y energía con su entorno, están constituidos por un componente biótico y un componente abiótico.

Los procesos que permiten que las especies interactúen entre ellas y con su entorno son:

- Depredación
- Parasitismo
- Competencia
- Simbiosis

Las especies del ecosistema (bacterias, hongos, plantas y animales), dependen unas de otras, las relaciones que se forman entre estas especies y su medio derivan en el flujo de materia y energía del ecosistema (Velásquez, 2014).

2.2.3 Ecosistemas terrestres

Valladares, Peñuelas y Calabuig (2005) señalan que los ecosistemas terrestres son sistemas que ejecutan tres funciones generales (productivas, ambientales y sociales). En su función productiva se encargan de proveer bienes naturales renovables tales como: alimentos, productos madereros y no madereros, entre otros; entre las funciones ambientales sobresalen los servicios ecosistémicos, el mantenimiento de la biodiversidad, la regulación de la composición atmosférica y del clima, la regulación de los ciclos biogeoquímicos, la conservación del suelo, la regulación del ciclo del agua y el almacenaje de carbono. Por último, en las

funciones sociales se dan los usos recreativos y educativos, las oportunidades para la investigación, entre otras. Los ecosistemas terrestres son considerados como reguladores del clima tanto a nivel global como local, interviniendo decisivamente en los ciclos biogeoquímicos y en las características de la atmósfera.

2.2.4 Biodiversidad del suelo

El suelo es un hábitat que alberga una gran variedad de organismos dentro de los tres dominios taxonómicos, sin importar el sistema de clasificación la diversidad de la biota del suelo es elevada en todos los niveles de análisis. Para Swift, Bignell, Moreira y Huising (2012), la biota será evaluada por su contribución en los procesos del ecosistema aportando al mantenimiento y a la productividad de los mismos, por su influencia en la calidad y salud del suelo.

De acuerdo con Flores y Gerez (1994), la alta diversidad biológica es un producto combinado de las variaciones en cuanto a topografía y clima de un determinado lugar, estas se mezclan las unas con otras dando origen a un conjunto de condiciones ambientales y microambientales, a esto se suma la historia geológica del área.

2.2.5 El suelo

El elemento suelo es un recurso no renovable que proporciona distintos servicios ecosistémicos o ambientales, de los cuales se puede mencionar su relación en la participación con los ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.), que son piezas claves para la vida y que además por efecto de la energía disponible pasan continuamente de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta (Orjuela, 2016).

Entre las funciones o servicios que presta el suelo se encuentran las siguientes: producción de alimentos y biomasa (da soporte y suministro de nutrientes para las

plantas), escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos (brindan condiciones estables para la vida en la tierra), almacenamiento o fijación de carbono (con la participación de plantas y organismos el carbono se transforma en materia orgánica), almacenamiento y filtración de agua (se da por medio del ciclo hidrológico, el suelo influye en la calidad del agua), soporte de las actividades humanas y fuentes de materias primas, reserva de biodiversidad (gran número de organismos que viven en su superficie y al interior del suelo) (Orjuela, 2016).

2.2.6 Calidad del suelo

García, Moreno, Hernández y Polo (2002) señalan que en condiciones naturales, el suelo se encuentra cubierto por una vegetación que le aporta una gran cantidad de materia orgánica y de nutrientes, provocando una mejora en su estructura y manteniéndolo en equilibrio, en ese caso se puede decir que los suelos mantienen una calidad adecuada. De acuerdo con Bautista, Etchevers, Castillo y Gutiérrez (2004), quienes interpretan a la calidad del suelo como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. La salud del suelo se le puede atribuir al estado de sus propiedades dinámicas como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos o productos microbianos.

Para Bautista *et al*., (2004) el concepto de calidad del suelo se asocia con el de sostenibilidad, de hecho, la calidad del suelo ha sido percibida de muchas formas, pero principalmente se lo relaciona con la capacidad del suelo para funcionar, además de ser utilizada como instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental.

2.2.6.1 Atributos de la calidad del suelo

2.2.6.1.1 Fertilidad

El término calidad del suelo hace referencia a la capacidad que posee el recurso suelo para proveer los elementos esenciales que requieren las plantas para su metabolismo, es decir, un suelo fértil posee una reserva apropiada y equilibrada de nutrientes, lo suficiente para soportar los requerimientos de las especies vegetales. Según Khalajabadi (2008), la fertilidad puede ser natural y adquirida, en el primer caso se refiere a las condiciones propias de los suelos no intervenidos y en los cuales existe un balance entre el suelo y la vegetación que soporta; en el segundo caso supone todo lo contrario, ya que asocia a suelos cultivados o suelos intervenidos (uso de abonos, enmiendas, prácticas de manejo).

2.2.6.1.2 Productividad

Se entiende que la productividad del suelo es un aspecto complejo que involucra las características y propiedades del suelo, en sentido estricto, con prácticas culturales y con características y propiedades de otros elementos ambientales interrelacionados mutuamente. Para algunos autores la productividad es un concepto netamente ligado a lo económico, en cambio otros lo conciben en el sentido de que su potencial de producción agraria o forestal puede mantenerse y ser necesaria para evaluar su susceptibilidad de aprovechamiento. En cualquier caso, está directamente relacionada con el clima y el suelo (Andalucía, 2000).

2.2.6.1.3 Sostenibilidad

El uso sostenible del suelo permite mantenerlo como un recurso, con el fin de que se obtengan beneficios en un tiempo determinado, en este caso a largo plazo y que no produzca su degradación. Díaz y Domingo (2011) señalan que para conseguir un uso sostenible del suelo se requieren dos tipos de medidas, las

medidas preventivas y las medidas correctoras; las primeras son las que se deben adoptar antes de que se produzca el proceso de degradación del suelo, mientras que las últimas deben adoptarse después de que el suelo haya sufrido una alteración para su posible recuperación.

Por otra parte, la vinculación del uso y la gestión sostenible con los numerosos ámbitos del desarrollo sostenible buscan detener la degradación de la tierra y el agotamiento de los nutrientes del suelo, además de establecer marcos para la gestión sostenible de la tierra y de los suelos. Es necesario fomentar la gestión sostenible de los suelos para contribuir a su salud y a la estabilidad de los ecosistemas (FAO, 2015).

2.2.6.1.4 Calidad ambiental

El ambiente para su estudio puede dividirse en distintos medios o sistemas, se lo puede dividir como un sistema o medio físico y un medio socioeconómico; dentro del sistema físico se puede encontrar subsistemas como el biótico (flora y fauna), el abiótico (aire, tierra y agua) y por último el paisaje, mientras que el sistema socioeconómico se constituye por las estructuras y condiciones sociales (población, infraestructuras, salud, saneamiento). Todos estos subsistemas se denominan factores ambientales y tienen que ver con la dinámica y los procesos propios del ambiente. Por lo tanto, la calidad del ambiente será alguna forma de resultado obtenido de ponderar el conjunto de calidades de los factores ambientales relevantes y su progreso (Martín, 2010).

2.2.7 Contaminación del suelo

Se conoce que el suelo es un cuerpo natural y dinámico que cubre la superficie de la tierra y que constituye uno de los recursos naturales más importantes debido a las múltiples funciones que realiza. Al alcanzar su estado de madurez y equilibrio

el suelo mantiene su dinamismo por mucho tiempo, pero este estado puede verse afectado principalmente por acción antrópica (agricultura, industria, minería, ganadería, etc.), estas modificaciones en el suelo producen efectos negativos como la degradación, que es un proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir (Ballesta, 2017).

2.2.7.1 Contaminación del suelo de origen puntual y difusa

Para Rodríguez, McLaughlin y Pennock (2019), la contaminación del suelo puede resultar de actividades planeadas como de actividades involuntarias, estas pueden contener la introducción directa de contaminantes, así como procesos ambientales complejos que pueden llevar a una contaminación indirecta del suelo a través de medios como el agua.

Según la FAO existen dos tipos de contaminación, la contaminación de suelo de origen puntual y la contaminación difusa.

2.2.7.1.1 Contaminación puntual

De acuerdo con Rodríguez *et al*., (2019), este tipo de contaminación puede ser causado por un evento o circunstancia en específico o eventos dentro de un área determinada donde los contaminantes son liberados al suelo y estos son fácilmente identificados.

2.2.7.1.2 Contaminación difusa

La contaminación difusa se caracteriza por su propagación por áreas muy extensas donde termina por acumularse en el suelo. Los autores Rodríguez *et al*., (2019) señalan que muy al contrario de la contaminación puntual, aquí no se presenta una única fuente de contaminación, ni es de fácil identificación; se presenta donde la emisión, transformación y dilución de contaminantes en otros medios ha ocurrido previo a su transferencia al suelo.

2.2.7.2 Tipos de procesos de degradación del suelo

2.2.7.2.1 Procesos de degradación física

La degradación física del suelo se refiere a los cambios en su estructura y cuya manifestación es la pérdida o disminución de su capacidad para absorber y almacenar agua (SEMARNAT, 2008).

2.2.7.2.2 Procesos de degradación química

León y Carrasco (2016) señalan que la degradación química es el agotamiento de la fertilidad química natural del suelo que involucra los procesos de reducción de fertilidad, acidificación, sodificación y acumulación de compuestos tóxicos, además de la salinización, pérdida de nutrientes y pérdida de materia orgánica.

2.2.7.2.3 Procesos de degradación biológica

La pérdida de la biodiversidad y de la materia orgánica son los efectos más notables debidos a la ocurrencia de los procesos de degradación biológica lo que influye sobre las diferentes funciones del suelo (transformación, reciclado, asimilación de nutrientes). El uso intensivo del suelo y la aplicación inadecuada de tecnologías son las causas principales de los procesos de degradación biológica en suelos de uso agrícola (Piscitelli, 2015).

2.2.8 Bioindicadores del suelo

La calidad y salud del suelo son conceptos equivalentes, pueden definirse como la capacidad de este medio para funcionar como un sistema vivo dentro de un ecosistema, sustentando su productividad biológica, la calidad ambiental y mantener la salud de las plantas, animales e incluso del ser humano; los organismos vivos presentes en el suelo son indispensables para la sostenibilidad ambiental y en general para todo el medio edáfico. Estos indicadores deben cumplir con una serie de requisitos:

- Ser fácilmente medibles
- Ser sensibles al estrés
- Responder de forma predecible
- Adelantarse a los cambios más o menos reversibles del suelo
- Tener una baja variabilidad en su respuesta.

Seleccionar a los indicadores correctos que cumplan estos requisitos es de vital importancia para la recuperación de los suelos degradados o contaminados (Machuca, 2010).

2.2.9 Organismos del suelo

El suelo hospeda a numerosas especies que van desde los organismos visibles como los insectos y lombrices, hasta las bacterias y hongos microscópicos, estas especies son de vital importancia para el suelo y en la mayoría de las ocasiones para los agricultores. En la actualidad, por medio de investigaciones realizadas se reconoce que las lombrices son buenos constituyentes como indicadores de la salud del suelo, ocasionando cambios importantes en sus propiedades (Crespo, 2013). Entre los organismos que encontramos en el suelo tenemos: coleópteros coprófagos, las cochinillas (isópodos), los milpiés (milípedos), los ciempiés (centípedos), las babosas (moluscos), los caracoles (basommatophora), y los colémbolos (collembola), que son los llamados descomponedores primarios, básicamente estas especies se comen las partículas más grandes de los residuos de las plantas y luego en contacto con otros organismos las descomponen (Crespo, 2013).

Estudios publicados demuestran que existen cerca de 126 especies de diversos grupos, que se alimentan a partir de la deposición de aproximadamente 18 especies de mamíferos. Una hectárea de suelo vivo en algunos casos puede

contener, 1011 kg de lombrices, 1090 kg de hongos, 682 kg de bacterias, 60.5 kg de protozoos, 404.5 kg de artrópodos, algas y otros pequeños mamíferos, comprender el funcionamiento del ciclo biológico de cada organismo permitirá realizar un manejo eficiente del recurso suelo para optimizar la actividad biológica (Crespo, 2013).

2.2.9.1 Clasificación de los organismos del suelo según la FAO

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO por sus siglas en inglés, clasifica a los organismos del suelo de la siguiente manera:

- Microorganismos: dentro de los microorganismos tenemos a bacterias y hongos, con un tamaño menor a 5 µm y dentro de la microfauna se encuentran los protozoarios y nematodos con un tamaño menor a 100 µm.
- Macroorganismos: Dentro de esta clasificación encontramos a las hormigas, lombrices, milpiés, cochinillas, termitas, escarabajos, caracoles, babosas, etc., con un tamaño mayor de 2 mm, y por ultimo las algas con un tamaño de 10 µm, respectivamente.

De acuerdo con Mora, Silva y Escobar (2019), algunos de los organismos mencionados anteriormente son vitales para el suelo, las bacterias, hongos y actinomicetos por ejemplo son importantes en la relación suelo-planta, además son los responsables de incrementar o disminuir el suministro de nutrientes, aportando en la sostenibilidad de los agroecosistemas.

2.2.9.2 Macroorganismos del suelo

Los macroorganismos del suelo se caracterizan por tener un diámetro mayor a 2mm, como se ha mencionado anteriormente estos organismos desempeñan un papel clave en varios procesos, algunos de ellos tienen que ver con la fertilidad del

suelo, la regulación en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y estructura del suelo. Por lo general se enmarca a los macroorganismos como una población de organismos reguladores dentro del sistema de regulación biológica.

Para Decaens *et al*., (2001), ciertos organismos del suelo, principalmente las lombrices, termitas y hormigas son los denominados ingenieros del ecosistema, ya que se encargan de producir estructuras como turrículos, nidos y galerías que modifican el ambiente donde viven, influyendo en la descomposición y la dinámica de la materia orgánica.

Tabla 1. Grupos funcionales de macroorganismos del suelo

Grupos funcionales	Características
Detritívoros	• Viven en la hojarasca, superficie e interior del suelo. • Intervienen en la descomposición de la materia orgánica. • Claves en el reciclaje de nutrientes.
Herbívoros o depredadores	• Viven en el interior y en la superficie del suelo. • Los herbívoros se alimentan de plantas vivas. • Los depredadores modifican el equilibrio de sus poblaciones.
Ingenieros del suelo	• Relacionados con los cambios físicos que provocan al medio edáfico. • Su mayoría habita en el interior del suelo, siendo los responsables de la formación de poros, oxigenación e infiltración del agua. • Influyen en el proceso de formación de la estructura del suelo.

Veloz, 2016

Tabla 2. Grupos que componen la macrofauna del suelo

Nombre común	Grupo taxonómico (clase, orden o familia)	Grupo funcional
Lombrices de tierra	Orden: Haplotaxida Familia: Lumbricidae Especie: *L. terrestris*	Detritívoros e ingenieros del suelo
Babosas y caracoles	Orden: Pulmonata Familia: Subulinidae Especie: *Subulina octona*	Detritívoros Depredadores
Cochinillas	Orden: Isopoda Familia: Trachelipidae	Detritívoros
Milpiés	Clase: Diplopoda Familia: Diplópodos	Detritívoros
Ciempiés	Clase: Chilopoda Orden: Scutigeromorpha	Depredadores
Arañas	Clase: Arachnida Orden: Araneae	Depredadores
Cucarachas	Clase: Insecta Orden: Dictyoptera	Detritívoros Herbívoros Omnívoros
Escarabajos	Clase: Insecta Orden: Coleoptera	Detritívoros Herbívoros Depredadores
Tijeretas	Clase: Insecta Orden: Dermaptera	Detritívoros Depredadores
Chinches y salta hojas	Clase: Insecta Orden: Hemiptera	Herbívoros
Hormigas	Clase: Insecta Orden: Hymenoptera	Omnívoros Depredadores e ingenieros del suelo
Termitas o comejenes	Clase: Insecta Orden: Isoptera	Detritívoros e ingenieros del suelo
Mariposas y orugas	Clase: Insecta Orden: Lepidoptera	Herbívoros
Grillos y saltamontes	Clase: Insecta Orden: Orthoptera	Herbívoros

Veloz, 2016

2.2.9.3 Características de los grupos de macrofauna edáfica

2.2.9.3.1 Lombrices de tierra

Las características morfológicas principales de las lombrices de tierra son que poseen un color rojo- rosado, tienen un tamaño que va desde los 7 a los 12 cm, su madurez sexual la alcanzan entre las 10 y 12 semanas (considerándose adulta a los 6 meses), su peso oscila entre 1 a 2.5 gramos, se desarrollan en ambientes con temperaturas óptimas de 25 °C con una de humedad de 70 – 80% y en el suelo un pH de 6.8 a 7.2 (Torres, 2010).

Para Domínguez, Aira y Gómez (2009) las lombrices de tierra son anélidos oligoquetos clitelados macroscópicos que habitan en el suelo, estos invertebrados influyen de manera significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, participan en la modificación de la estructura del suelo y en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes.

De acuerdo con Momo, Falco y Craig (2003), las lombrices de tierra pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad ambiental del suelo ya que estos poseen una movilidad moderada, ciclos de vida largos y una baja dispersión a escala mesogeográfica.

2.2.9.3.2 Babosas y caracoles

La clasificación tradicional de la clase Gastropoda divide a sus miembros en tres subclases (Prosobranchia, Opishobranchia y Pulmonata), a la clase Gastropoda pertenecen los caracoles y babosas terrestres. Son moluscos con un alargamiento en su parte dorso - ventral con una concha enrollada, poseen una cabeza diferenciable del resto del cuerpo, presentan una torsión o un giro de la masa visceral en su etapa larval esto hace que el ano se coloque del mismo lado que la

boca, sobre la cabeza. Su alimentación se basa en hojas, tallos, frutos, raíces y bulbos (Gutiérrez, 2016).

2.2.9.3.3 Cochinillas

Las cochinillas son insectos que poseen un cuerpo blando, plano, oval, que se alimenta principalmente de cactáceas. Las hembras miden unos 5mm de largo y no poseen alas a diferencia de los machos que tienen un diminuto tamaño y poseen alas. Su alimentación se basa en material vegetal muerto, excrementos, entre otros SAG (s.f).

2.2.9.3.4 Milpiés

Los milpiés pertenecen a la clase diplopoda, son un grupo de artrópodos que se diferencian de los miriápodos ya que poseen un cuerpo que está formado por diplosegmentos, esto es producto de la fusión de los escleritos de dos segmentos, el prozona y el metazona. Sus diplosegmentos a excepción de los primeros cuatro o cinco, presentan los dos pares de patas correspondientes a los segmentos que lo forman. Bueno y Rojas (1999) mencionan que los milpiés cumplen un papel importante en el suelo ya que participan de manera activa en su dinámica, modifican su estructura, incrementan su porosidad y la capacidad de retención del agua, de esta manera facilitan los procesos de transporte de nutrientes.

2.2.9.3.5 Ciempiés

Cupul (2013), indica que los ciempiés pertenecen al Subphylum *Myriapoda*, estos artrópodos son animales solitarios que se caracterizan por poseer un cuerpo comprimido dorsoventralmente que mide alrededor de 1 a 10 cm y que se divide en cabeza, tronco multisegmentado y un segmento terminal de composición incierta, cada segmento del tronco tiene un par de patas que se extienden por los lados; son depredadores consumados de otros artrópodos, pero los grandes

ejemplares de hasta 30 cm depredan anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Al igual que otras especies de macrofauna son parte importante del suelo.

2.2.9.3.6 Cucarachas

De acuerdo con Ponce *et al.,* (2005), las cucarachas pertenecen al grupo de los insectos teniendo como principal característica la adaptación a un sinnúmero de hábitats, por lo general se les encuentra en las regiones tropicales y en la actualidad se conocen cerca de 3.500 especies. Esta especie presenta una gran variedad de formas, tamaños y colores; su forma es aplanada dorsoventralmente y con tegumento liso, variado en color (color café castaño hasta el negro), sus antenas son filiformes y multiarticuladas.

2.2.9.3.7 Escarabajos

Alonso (2015) menciona que las características morfológicas de los escarabajos adultos son que poseen cabeza, tórax y abdomen, se cree que debido a la existencia de pterotórax cubierto por élitros (alas rígidas y duras característica de los insectos coleópteros que sirven de protección a modo estuche), el cuerpo parece dividirse en una parte anterior (cabeza y protórax) y una posterior bajo los élitros. La alimentación de los coleópteros es diversa, así como su modo de vida; en cuanto a su alimentación van desde el omnivorismo hasta alimentaciones estrictamente carnívoras, fitófagas, micetófagas o saprófagas.

2.2.9.3.8 Tijeretas

Este grupo de insectos se caracteriza por presentar los cercos del extremo del abdomen endurecidos, en forma de pinza, además esta especie es fundamentalmente depredadora ya que se alimenta de otros insectos en especial de los pulgones y las cochinillas, lo que los convierte en importantes aliados de la agricultura (París, 2015). La alimentación del orden de los dermápteros se basa por

ser omnívora, pero hay excepciones con las especies más primitivas que son predadoras por motivos de lucha biológica, en general la mayoría de los dermápteros son saprófagos, detritívoros o fitófagos (se alimentan de pétalos de flores) (Mesa, 2015).

2.2.9.3.9 Hormigas

Las hormigas pertenecen al grupo de los Himenópteros, familia *Formicidae*, dentro de la superfamilia *Vespoidea*, por lo general se las encuentra en todos los ambientes, desde el subsuelo hasta las copas de los árboles, aunque la mayoría habita en nidos subterráneos, en la hojarasca o en la madera en descomposición depositada en el suelo, es decir que mantienen una estrecha relación con el suelo. Estas especies son uno de los grupos más abundantes y diversos dentro de la macrofauna del suelo, se encuentran en ecosistemas naturales y en agroecosistemas donde desempeñan un papel muy importante como depredadoras, herbívoras o detritívoras, además de participar en los procesos fisicoquímicos del suelo, incluyendo el proceso de descomposición y el reciclaje de nutrientes (Fernández, 2001).

2.2.9.3.10 Termitas

Las termitas pertenecientes al orden de los isópteras son un grupo de insectos de pequeño tamaño de aproximadamente 4 a 15 mm, los adultos presentan diferentes formas lo que las convierte en polimórficas, se caracterizan por vivir en colonias organizadas con división de tareas, conformadas por castas reproductivas y no reproductivas. Su hábitat principalmente es dentro de la madera muerta ya sea en troncos o partes muertas de árboles vivos, allí encuentran alimento y refugio. Masciocchi, Lantschner y Villacide (2019) señalan que estos insectos son una parte importante de los macroinvertebrados edáficos al poseer un papel importante como

descomponedores de la materia orgánica, en zonas tropicales son los principales agentes que participan en la incorporación de la materia orgánica al suelo, mejorando y aumentando el rendimiento de los cultivos.

2.2.9.3.11 Mariposas

Sada y Madero (2011) mencionan que las mariposas son insectos que poseen tres segmentos: cabeza con un par de antenas, tórax con dos pares de alas y tres pares de patas y abdomen, estas pertenecen al orden Lepidóptera y este a su vez se divide en dos subórdenes, *Heterocera* (mariposas nocturnas) y *Rhopalocera* (mariposas diurnas); este último suborden se divide en dos grandes superfamilias, las *Papilionoideas* y las *Hesperoideas*, ambas con sus respectivas familias. Las mariposas en sus alas tienen escamas que son las que dan su color y patrón distintivo a cada una de las especies, el color de estos insectos se debe a los pigmentos que se encuentran en sus escamas. Se conoce que estas especies tienen una metamorfosis completa que atraviesan en cuatro etapas (huevo, oruga, crisálida o capullo y adulto o mariposa).

2.2.10 Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo

De acuerdo con Rendón *et al*., (2011) los macroinvertebrados del suelo son fundamentales ya que cumplen un papel clave en los procesos que determinan la fertilidad y la estructura física del suelo, entre otras funciones, es importante tener en cuenta los siguientes beneficios y consideraciones:

- Regulan las características de disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- A mayor presencia, abundancia y diversidad de macrofauna, mejor es el ciclaje de nutrientes y crecimiento de plantas.
- En suelos infértiles, los efectos que producen los macroinvertebrados en los procesos bióticos son muy intensos. En algunas investigaciones se ha

llegado a la conclusión de que los macroinvertebrados son los ingenieros del suelo.

- Las lombrices son las especies de mayor interés en el grupo de los macroinvertebrados, ya que estas por su presencia y abundancia desempeñan un valioso rol en cuanto a la estructura del suelo; sus galerías facilitan el crecimiento de las raíces y sus excrementos retienen agua y además contienen una importante cantidad de nutrientes para las plantas.
- Está demostrado que, en sistemas tropicales los macroinvertebrados intervienen en los procesos que determinan la conservación y fertilidad del suelo al mantener en equilibrio la disponibilidad de minerales y favorecer la estructura del suelo, mejorando las condiciones de vida, la abundancia y composición de otras comunidades del suelo.
- Tienen efectos positivos sobre el microclima y la aireación, en el movimiento y retención del agua, en el intercambio gaseoso y en las propiedades químicas y nutricionales del mismo.
- Los macroinvertebrados al poseer una alta sensibilidad a las perturbaciones los convierte en excelentes indicadores del impacto humano sobre el ambiente.

2.2.11 Medición de la biodiversidad

La biodiversidad tiene varios componentes que se expresan en diferentes escalas, se conoce que la diversidad es algo propio de los seres vivos por lo tanto se facilita la medición de la biodiversidad si se trata de manera jerárquica, es decir, genes, especies, comunidades. Para la medición de la biodiversidad se han establecido diferentes índices, para utilizar cualquiera de ellos primero se debe establecer en dependencia de las características a evaluar en los sistemas

estudiados. Al estudiar comunidades se pueden evaluar diferentes parámetros como:

- Diversidad
- Riqueza de especies
- Abundancia
- Dominancia (Ortiz, 2016).

2.2.11.1 Índices que miden la biodiversidad

Para medir la diversidad biológica existen más de 20 índices de diversidad, cada uno con sus ventajas y desventajas. Es importante mencionar que se dividen en dos grupos:

- Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica).
- Métodos basados en la estructura de la comunidad (distribución proporcional del valor de importancia de cada especie) (Mendoza, 2013).

2.2.11.2 Métodos de medición al nivel de especies

En cada unidad geográfica se encuentra un número variable de comunidades es por esto que, para tener una mejor comprensión sobre los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa, beta y gamma son de gran utilidad para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas. Se denomina diversidad alfa a la riqueza de especies de una comunidad en particular considerada homogénea, mientras que la diversidad beta es el grado de cambio en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje y por último la diversidad gamma se refiere a la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, es decir que es el resultante de las diversidades alfa y beta (Moreno, 2001).

2.2.11.2.1 Índice de Shannon

El índice de Shannon fue desarrollado para medir la probabilidad de seleccionar todas las especies en la proporción con que existen en la población (Somarriba, 1999).

2.2.11.2.2 Índice de equidad

De acuerdo con Zarco, Valdez, Ángeles y Castillo (2010) el índice de equidad se emplea para comparar cuantitativamente un estudio con otros, ya que aquí solo se considera el número de especies (S) y el total de individuos (N) en las muestras estudiadas.

2.2.11.2.3 Índice de Simpson

Según los autores Salmerón, Geada y Fagilde (2017) el índice de Simpson, es un índice de dominancia que representa la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a la misma especie.

2.2.11.2.4 Índice de Margalef

En el índice de Margalef es una medida que estima la biodiversidad de una comunidad con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Solano, 2017).

2.2.11.2.5 Riqueza taxonómica

Los más importante es presentar valores tanto de la riqueza como de algún índice de la estructura de la comunidad para que estos parámetros sean complementarios en la descripción de la diversidad. Por tanto, la medición de la riqueza específica es la manera más útil y sencilla para describir la biodiversidad, básicamente consiste en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (UCIPFG, 2005).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Publicada en el Registro Oficial No. 449 el 20 de octubre de 2008

Capítulo primero

Art. 276 El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Sección quinta

Suelo

Art. 409 Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410 El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria (Ecuador, 2012).

2.3.2 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental

Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 418 el 10 de septiembre de 2004

De la prevención y control de la contaminación de los suelos

Art. 10 Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.

Art. 11 Para los efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación, las substancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.

Art. 12 Los Ministerios de Agricultura y Ganadería y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, limitarán, regularán o prohibirán el empleo de substancias, tales como plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, desfoliadores, detergentes, materiales radioactivos y otros, cuyo uso pueda causar contaminación (Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana, 2004).

2.3.3 Ley de gestión ambiental

Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 418 el 10 de septiembre de 2004

Capítulo IV

De la participación de las instituciones del Estado

Art. 13 Los consejos provinciales y los municipios, dictarán políticas ambientales seccionales con sujeción a la Constitución Política de la República y a la presente Ley. Respetarán las regulaciones nacionales sobre el Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas para determinar los usos del suelo y consultarán a los representantes de los pueblos indígenas, afroecuatorianos y poblaciones locales para la delimitación, manejo y administración de áreas de conservación y reserva ecológica.

Capítulo II

De la evaluación de impacto ambiental y del control ambiental

Art. 23 La evaluación del impacto ambiental comprenderá:

a) La estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada (SILEC, 2012).

2.3.4 Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre

Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 418 el 10 de septiembre de 2004

Capítulo III

De la conservación de la flora y fauna silvestre

Art. 73 La flora y fauna silvestres son de dominio del Estado y corresponde al Ministerio del Ambiente su conservación, protección y administración, para lo cual ejercerá las siguientes funciones:

b) Prevenir y controlar la contaminación del suelo y de las aguas, así como la degradación del medio ambiente (Nacional, 2004).

2.3.5 Código Orgánico del Ambiente

Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 983 el 12 de abril de 2017

Título II

De los derechos, deberes y principios ambientales

Art. 5 Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;

5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;

Capítulo II

De las facultades ambientales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados

Art. 26 Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental.

En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

8. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido;

Capítulo V

Manejo y conservación de bosques naturales

Art. 109 Disposiciones generales para el manejo forestal sostenible. Las disposiciones generales deberán orientarse a:

3. Conservar la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el paisaje;

7. Prevenir, evitar y detener la erosión o degradación del suelo (MAE, 2017).

2.3.6 Acuerdo Ministerial 061, Reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria

Publicada en el Registro Oficial No. 316 el lunes 4 de mayo de 2015

Parágrafo II Del suelo

Art. 212 Calidad de Suelos Para realizar una adecuada caracterización de este componente en los estudios ambientales, así como un adecuado control, se deberán realizar muestreos y monitoreos siguiendo las metodologías establecidas en el Anexo II y demás normativa correspondiente. La Autoridad Ambiental Competente y las entidades del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, en el marco de sus competencias, realizarán el control de la calidad del suelo de conformidad con las normas técnicas expedidas para el efecto. Constituyen normas de calidad del suelo, características físico-químicas y biológicas que establecen la composición del suelo y lo hacen aceptable para garantizar el equilibrio ecológico, la salud y el bienestar de la población.

Art. 213 Tratamiento de Suelos Contaminados Se lo ejecuta por medio de procedimientos validados por la Autoridad Ambiental Competente y acorde a la norma técnica de suelos, de desechos peligrosos y demás normativa aplicable. Los sitios de disposición temporal de suelos contaminados deberán tener medidas preventivas eficientes para evitar la dispersión de los contaminantes al ambiente.

Art. 214 Restricción Se restringe toda actividad que afecte la estabilidad del suelo y pueda provocar su erosión (MAE, 2015).

2.3.7 Resolución 113 – Norma complementaria para facilitar la aplicación de la Decisión 436, Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (2009)

Resolución 113

El director ejecutivo de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro – AGROCALIDAD

Considerando:

Que el **Art. 5 (Cap. III)** de la **Decisión 436** señala que la Autoridad Nacional Competente establecerá con las autoridades de los sectores salud y ambiente y otras que correspondan del respectivo país, los mecanismos de interacción que sean necesarios para el cumplimiento de los requisitos y procedimientos de registro y control establecidos en la presente decisión, sin perjuicio de las competencias que corresponden a cada entidad en el control de todas las actividades vinculadas con plaguicidas químicos de uso agrícola, en el ámbito nacional;

Que la **Resolución 630** de la Comunidad Andina (Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola) señala que, de conformidad con el artículo 70 de la Decisión 436, se debe adoptar el Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola para su aplicación en los países miembros (ANC, 2009).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

- **Investigación documental:** para el desarrollo de esta investigación se recurrió a fuentes de información bibliográfica como: libros, documentos, revistas científicas, manuales y artículos científicos.
- **Investigación de campo y laboratorio:** esta investigación fue de campo, debido al contacto directo con el ambiente donde se efectuó el estudio en cuestión, mediante la toma de muestras y el posterior análisis de las mismas en un laboratorio.
- **Investigación descriptiva:** en el estudio se llevó a cabo una descripción exacta de las actividades a desarrollar, los procesos involucrados en la investigación y que metodologías se emplearon, dando lugar a conocer lo que provocan determinadas situaciones y efectos negativos en el recurso suelo.
- **Investigación experimental:** la investigación es de carácter experimental ya que se manejaron las actividades de manera metódica y se emplearon técnicas para recabar la información y los datos necesarios que se requieren en el estudio, con el fin de revelar de qué modo o por qué se producen ciertas situaciones o cambios en el suelo.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo - experimental; descriptiva ya que por medio de la observación directa se realizó una descripción sobre los macroinvertebrados edáficos, además se identificó a la macrofauna presente en los distintos usos de suelo junto con sus características y su influencia como

indicadores en la calidad del suelo; experimental ya que por medio del método cuantitativo se consiguió y procesó el conjunto de datos obtenidos, empleando técnicas o instrumentos estadísticos para su posterior descripción y análisis porcentual.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente

- Comunidad de macroinvertebrados edáficos encontrados (Unidad/Parcela).

3.2.1.2 Variables dependientes

- Usos de suelo (agrícola, pastoreo y forestal).
- Parámetros químicos del suelo (pH, textura, materia orgánica).
- Índices de biodiversidad (índices de Shannon, de equidad, Simpson, Margalef).

3.2.2 Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) en tres usos de suelo con 5 repeticiones en cada uno.

3.2.3 Recolección de datos

La toma de muestras se realizó según el Manual de Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales (TSBF).

3.2.3.1 Recursos

En esta investigación se utilizaron diversos recursos para la obtención de los datos. A continuación, se detallarán cada uno de ellos:

Tabla 3. Recursos

Recursos	Detalles
Materiales de campo	Barreno, 1 bandeja de plástico, 10 frascos de vidrio de 50 o 100 ml, guantes, bolsas de papel, cuaderno, lápiz
Recursos bibliográficos	Libros, páginas web, tesis de grado, revistas y artículos científicos, manuales o guías metodológicas.
Recursos tecnológicos	Cámara digital (celular).
Recursos de laboratorio	Agua destilada Vasos precipitados de 100 ml, 500 ml y 1 L Probetas de 100 ml y 1000 ml Agitador magnético Medidor multiparamétrico - Hach Espectrofotómetro de luz visible DR 2700 - Hach Tamiz 2,0 mm Balanza - Sartorius Estufa – Koleco Termómetro, hidrómetro para suelos Mortero.
Reactivos	Hexametafosfato de sodio, dicromato de potasio, H_2SO_4

Vásquez, 2021

3.2.3.2 Métodos y técnicas

La primera parte del trabajo investigativo se llevó a cabo mediante el método de síntesis bibliográfica, ya que la información es obtenida a partir de diferentes fuentes documentales como libros, manuales, tesis, artículos científicos, revistas

científicas, entre otros. Estos permitieron realizar una clara descripción en cada una de las fases de la investigación, producto del análisis y descripción de la información obtenida.

Asimismo, se empleó el método cualitativo para la identificación y clasificación de los macroinvertebrados edáficos, donde se evaluaron las características de los individuos hallados de esta manera se determinó la taxonomía de cada uno de ellos a nivel de orden y familia.

Adicionalmente, luego de proceder con la identificación de la macrofauna edáfica se utilizó el método cuantitativo por medio de un conteo de los macroorganismos, los mismos que permitieron aplicar los índices biológicos y por los cuales se hizo posible otorgar un valor numérico para indicar sus niveles de tolerancia, ayudando a descifrar si existe algún fenómeno o acontecimiento (actual o pasado) que altere su ambiente.

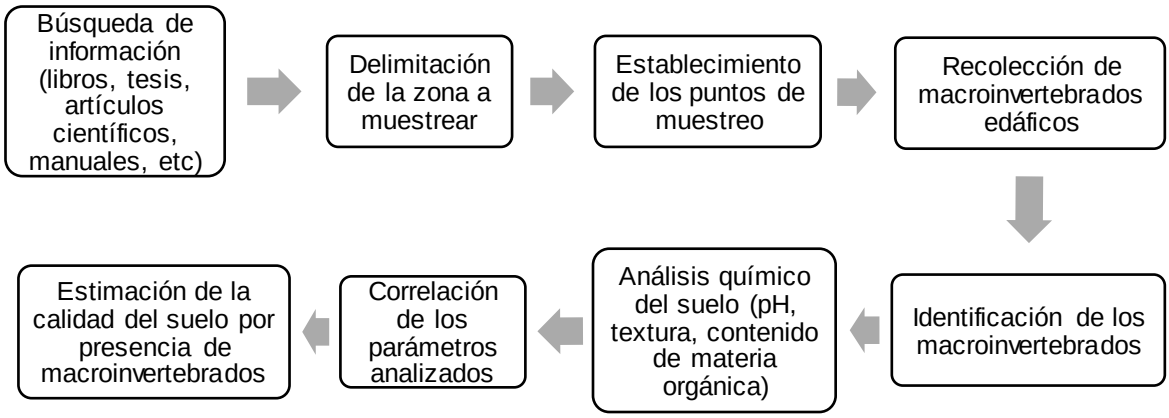

Figura 1. Procedimiento para la determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo.
Vásquez, 2021

3.2.3.2.1 Muestreo

Por otra parte, para la toma de muestras primero se demarcó la parcela in situ, es importante mencionar que para esto se seleccionaron tres usos de suelo (suelos de uso agrícola, forestal y pastoreo). Después de ubicar los puntos de muestreo,

se realizó la recolección de las muestras para determinar la biodiversidad de macroinvertebrados presentes en el suelo, como guía se utilizó el Manual de Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales.

Según Tropicales (2015), es recomendable muestrear un mínimo de 5 monolitos de suelo, para un mayor éxito en la toma de muestras según el manual es aconsejable que sean de preferencia 10 monolitos de 25x25x30 cm, uno o dos meses después del inicio de la epoca lluviosa.

3.2.3.2.2 Procedimiento

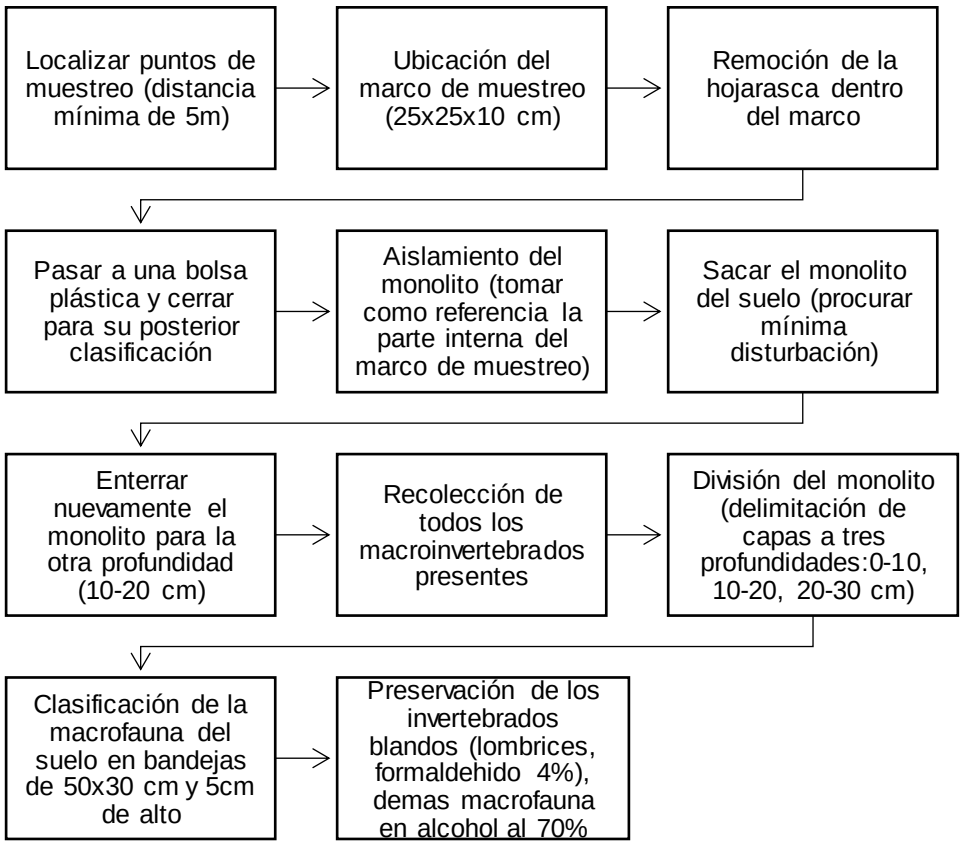

Figura 2. Procedimiento para muestreo según el Protocolo de Muestreo para la Macrofauna del suelo, del TSBF.
Vásquez, 2021

3.2.3.2.3 Análisis de las muestras de suelo

Una vez trasladadas las muestras de suelo desde la zona muestreada (Sector las Mercedes, Isidro Ayora) hasta el laboratorio de suelos y agua de la Universidad

Agraria del Ecuador, cede Guayaquil, se procedió con los análisis químicos del suelo. Para lo cual se tomó como guía el Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminado y el texto de Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo, es importante mencionar que se realizaron algunas modificaciones en los procedimientos.

Procedimiento del análisis de pH

De acuerdo con Fernández *et al*., (2006) el procedimiento para analizar el pH es el siguiente:

1. En una balanza se pesaron 4g de suelo tamizado y se lo colocó en un vaso precipitado de 100 ml.
2. Se agregaron 100 ml de agua destilada y se agitó por un tiempo estimado de 5 minutos.
3. Luego se dejó reposar por aproximadamente10 minutos.
4. Finalmente se procedió a medir el pH del suelo.
5. El proceso se repitió para cada muestra de suelo.

Procedimiento del análisis de textura

- **Método de Bouyoucos**

Ortiz (2016) señala que para la determinación de la textura por el método de Bouyoucos se debe cumplir con los siguientes pasos:

1. Se tomaron 50 g de suelo seco, los cuales se tamizarán a través de una malla de 2 mm.
2. El suelo tamizado se colocó en un vaso precipitado de 1 L donde se le agregó agua destilada hasta la mitad de su capacidad.
3. Se adicionó 10 ml de hexametafosfato de sodio y luego se agitó por 5 minutos.

4. La mezcla se transfirió a una probeta de 1000 ml, donde se terminó de completar con agua destilada hasta la línea de aforo.
5. Se realizó la primera lectura con el hidrómetro a los 40 segundos del inicio de la sedimentación, posterior se tomó la temperatura con un termómetro.
6. Después de 2 horas se volvió a tomar la segunda lectura con el hidrómetro y termómetro.
7. El procedimiento se repitió para cada muestra de suelo de cada uso seleccionado.
8. Finalmente, con todas las lecturas se hicieron los respectivos cálculos para conocer los porcentajes de arena, limo y arcilla de cada muestra y así determinar su clase textural.

Procedimiento del análisis de MO

1. Se pesó 1 g de suelo tamizado en un vaso precipitado.
2. Después se agregaron 5 ml de dicromato de potasio con una pipeta y se agitó bien la mezcla.
3. Adicionalmente se añadieron 15 ml de H_2SO_4 a la muestra, agitando y dejando reposar por un tiempo de media hora.
4. Se dejó reposar la muestra por 1 hora y se adicionó 35 ml de agua destilada.
5. Por último, se calibró el espectrofotómetro para medir la concentración de C a 600nm (McKean, 1993).

Una vez realizado el muestreo y el análisis de los parámetros químicos del suelo para complementar la investigación se cumplió con los objetivos previamente establecidos y se aplicó algunos índices de biodiversidad. Para el primer objetivo específico de la investigación que consistió en la identificación de la macrofauna a nivel de orden y familia (solo para la clase Insecta) presente en los distintos usos

de suelo (suelos de uso agrícola, forestal, pastoreo) y con el segundo objetivo que trata de un análisis de los efectos que tienen los distintos usos de suelo agrícola sobre la composición y abundancia de la macrofauna, se aplicaron los índices de Shannon, de equidad, Simpson y Margalef que se detallan a continuación:

- **Índice de diversidad de Margalef**

Con el índice de Margalef se transformó el número de especies obtenidas por muestra a una proporción a la cual las especies se añadieron por expansión de la muestra.

$$I = \frac{(\mathrm{s} - 1)}{\mathrm{Ln}\ N}$$

I= biodiversidad

s= número de especies presentes

N= Número total de individuos encontrados

Ln= logaritmo neperiano de un número

Prieto, Molina y Dueñas (2017) indican que el mínimo valor que se puede adoptar es cero y esto solo ocurre cuando existe una especie en la muestra (s=1, por lo que s-1=0). Los valores inferiores a dos son considerados como zonas bajas de biodiversidad, mientras que los valores superiores a cinco son un indicativo de alta biodiversidad.

- **Índice de Shannon**

Para entender un poco el índice de Shannon y basándonos en el presente estudio se puede decir por ejemplo que, al emplear la fórmula y realizar el proceso de muestreo, se va a medir la probabilidad de obtener una muestra de suelo con un total de 15 macroinvertebrados de los cuales 4 pertenecen a la especie X, 3 a la especie Y, 3 pertenecen a la especie W y 5 pertenecen a la especie Z.

$$\mathrm{H} = -\Sigma\, pi\, \log(pi)$$

P_i: proporción de cada especie en la población (abundancia relativa)

Log: logaritmo natural

Σ: sumatoria sobre las “S” especies de la población

S: número total de especies

n: número de individuos de la especie i

N: población total de la colección.

Cabe resaltar que la base del logaritmo no es importante puede ser base 10, base 2 o base “e” (2.7182), la base de los logaritmos naturales es la más utilizada en la actualidad (Somarriba, 1999).

Para calcular el tamaño de la población se sumarán a los individuos de todas las especies, es decir:

$$N = \Sigma n_i$$

Este índice permitirá hacer comparaciones rápidas y sujetas a comprobación estadística entre la diversidad de los distintos usos de suelo.

- **Índice de equidad**

La equidad se mide como la abundancia de una especie dominante, su fórmula es la siguiente:

$$J = H/Hmáx = H/ln\ S$$

J: equidad

H: índice de Shannon – Wiener

H máx: diversidad máxima

Ln: logaritmo natural

S: número de especies de la muestra

Soler, Berroterán, Gil, y Acosta (2012), mencionan que la equidad se acerca a cero cuando determinada especie domina sobre todas las demás en la comunidad y que se acerca a uno cuando todas las especies comparten abundancias similares.

- **Índice de Simpson**

Por medio de este índice se pudo cuantificar la biodiversidad existente en cada uso de suelo, es decir, se tomó en cuenta la cantidad y abundancia de cada una de las especies presentes en la zona de muestreo.

$$D = \frac{\Sigma \mathrm{n}\ (\mathrm{n} - 1)}{\mathrm{N}\ (\mathrm{N} - 1)}$$

D: índice de Simpson

n: número total de organismos de una especie

N: número total de organismos de todas las especies.

Briceño (2020), resalta que el valor de D oscila entre 0 y 1, es decir, si el valor de D da 0 significa que la diversidad es infinita y si el valor de D da 1 entonces significa que no hay diversidad.

Por último, para cumplir con el tercer objetivo planteado que consiste en la propuesta de un programa de siembra para la recuperación de la calidad de suelos afectados por actividades antropogénicas se proponen las siguientes actividades en conjunto con la guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos:

- **Programa de siembra**

Como primera actividad a implementar en el programa será una resiembra que consistirá en reemplazar a aquellos árboles muertos o aquellos árboles torcidos por actividades de carácter antropogénico realizadas cerca de su ubicación.

Objetivo general:

Contribuir a la reforestación con especies arbustivas para la recuperación de la calidad de los suelos.

Actividades:

1. Por medio de la observación directa, diagnosticar la situación y pérdida forestal del sector.
2. Establecer que especies arbustivas se plantarán.
3. Determinar cuántos árboles se sembrarán.

El programa de siembra busca obtener resultados favorables en cuanto a la recuperación de la calidad de los suelos y a su vez proteger a las zonas frágiles por medio de sistemas forestales que impulsen el uso sustentable de los recursos en función de la implementación de la reforestación.

Beneficios de la implementación de las cercas vivas:

1. Las barreras arbustivas retienen sedimentos arrastrados como consecuencia de las aguas lluvias, lo que favorece en la disminución de la pérdida del suelo y por tanto la erosión.
2. Estos sistemas requieren de poco mantenimiento.
3. A largo plazo evitan la pérdida de fertilidad del suelo.
4. La incidencia de plagas disminuye notablemente ya que las cercas vivas sirven de refugio y alimentación para los reguladores naturales (parasitoides y predadores), como consecuencia de esto se reduce el uso de insecticidas y fungicidas.
5. Las cercas vivas generan limites formales y tenencia de la tierra (marcaje del territorio) siendo un aliado para la conservación del suelo.

6. En el caso de uso del suelo para la conservación, ayudan a controlar y regular la degradación natural del suelo por condiciones naturales extremas (relieve o hidrografía) (FAO, 2018).

3.2.4 Análisis estadístico

Para cumplir con la parte estadística, se utilizó el programa InfoStat/L, un software libre de aplicación general para análisis estadístico. Como primer punto se realizó una evaluación por medio del Q–Q plot, que es un gráfico estadístico de probabilidad normal y que precisamente permitió comparar si el conjunto de datos seguía una distribución normal o no.

Para datos con una distribución normal se aplicó la prueba paramétrica ANOVA, la cual sirvió para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. También, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson; esta correlación sirvió para estudiar la relación entre dos variables, los valores que comprende la correlación están entre -1 y +1; en el caso de que el coeficiente sea igual a 1 o -1 se considerará que la correlación entre las variables es perfecta, si el coeficiente es mayor que 0 la correlación es positiva, pero si el coeficiente es menor a 0, entonces es negativa. Puede pasar que el coeficiente sea igual a 0, en este caso se puede afirmar que no existe relación lineal entre las variables.

Por último, para datos que no cumplen con una distribución normal se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para realizar comparaciones de tres o más grupos y el coeficiente de correlación de Spearman para expresar el grado de asociación entre dos variables.

4. Resultados

4.1 Identificación de la macrofauna de los distintos usos de suelo a nivel de Orden y Familia mediante varias claves dicotómicas y el conteo de las poblaciones de macrofauna

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación se realizaron visitas a la zona de estudio (sector de Las Mercedes), donde se seleccionaron tres usos de suelo de acuerdo al lugar. Los usos de suelo que se consideraron fueron de tipo agrícola, de pastoreo y forestal, es importante mencionar que dentro del territorio las actividades predominantes son la agricultura y la ganadería.

La agricultura está presente en la zona de estudio a lo largo del año con cultivos de mango, pitahaya, maracuyá, plátano, guanábana, maíz, maní, tamarindo, marañón y papaya. Dentro del uso de suelo agrícola se escogió el cultivo de pitahaya, este es uno de los tantos presentes en la zona y que sobresale del resto de cultivos. Por otra parte, la ganadería es otra de las actividades que se practica en la zona de estudio por medio de la reproducción de los animales y la cría con fines de producción para el consumo de las personas. Por último, se escogió el uso de suelo forestal el cual sirvió como referente al ser un área que no presenta intervención antropogénica y que permitió realizar comparaciones con los otros usos de suelo mencionados anteriormente.

Para la toma de muestras se empleó un barreno, esta herramienta permitió obtener una cantidad y profundidad de muestra por punto bastante homogénea; cada muestra de suelo extraída se almacenó en bolsas de papel para su posterior análisis. Asimismo, por medio de la toma de muestras se pudo realizar la recolección de los macroinvertebrados presentes en cada uso de suelo. La

identificación se llevó a cabo con la ayuda de claves dicotómicas, es importante mencionar que estas claves son una secuencia lógica de frases alternativas que utilizan características como las patas, las alas, el cuerpo, también características sobre sus hábitos, hábitat y origen para distinguir familias, géneros, especies y otros taxones (Morales, 2019).

Tabla 4. Identificación y conteo especies de macrofauna edáfica

Nombre común	Clase	Orden	Familia	Uso de suelo	Total de población por parcela
Hormiga	Insecta	*Hymenoptera*	*Formicidae*	Agrícola Forestal	20 50
Escarabajo de la alfombra negra	Insecta	*Coleoptera*	*Dermestidae*	Forestal	15
Gallinita ciega	Insecta	*Coleoptera*	*Scarabaeidae*	Forestal Agrícola	2 7
Tijereta	Insecta	*Dermaptera*	*Forciculidae*	Forestal	10
Langosta voladora	Insecta	*Orthoptera*	*Acrididae*	Agrícola	10
Ciempiés	Chilopoda	*Scolopendromorpha*	*Scolopendridae*	Forestal	10
Caracol	Gastropoda	*Pulmonata*	*Achatinidae*	Forestal	10
Cucaracha de tierra	Insecta	*Blattodea*	*Blaberidae*	Forestal	5

Vásquez, 2021

Tabla 5. Especies recolectadas en el uso de suelo agrícola por puntos de muestreo

Especies	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5
Hormiga	0	10	3	4	3
Escarabajo	0	0	0	0	0
Gallinita ciega	2	0	0	4	1
Tijereta	0	0	0	0	0
Langosta	2	2	3	1	2
Ciempiés	0	0	0	0	0
Caracol	0	0	0	0	0
Cucaracha	0	0	0	0	0

Vásquez, 2021

Tabla 6. Especies recolectadas en el uso de suelo forestal por puntos de muestreo

Especies	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5
Hormiga	10	10	12	8	10
Escarabajo	6	2	0	3	4
Gallinita ciega	0	0	0	1	1
Tijereta	3	1	2	1	3
Langosta	0	0	0	0	0
Ciempiés	2	1	2	3	2
Caracol	0	3	2	2	3
Cucaracha	1	0	0	3	1

Vásquez, 2021

En la Tabla 4, se cumple con la identificación de la macrofauna edáfica a nivel de orden y familia. Las especies recolectadas se preservaron en alcohol al 75% en diferentes recipientes de vidrio, para luego proceder con la identificación de las mismas. Para lograr el primer objetivo específico de la investigación, por medio de la observación directa se reconocieron ciertas características de los macroorganismos hallados, posteriormente se elaboraron claves dicotómicas como una guía al momento de realizar la identificación; de esta forma se pudo determinar a qué clase, orden y familia pertenecía la macrofauna encontrada en los distintos usos de suelo establecidos. Asimismo, en la Tabla 5 y Tabla 6 se muestra el conteo de especies de macrofauna en los usos suelo agrícola y forestal por puntos de muestreo.

Tabla 7. Total de especies de macrofauna edáfica recolectadas en la zona de estudio

Clase	Total de macrofauna por clases
Insecta	119
Chilopoda	10
Gastropoda	10
Total de especies recolectadas	139

Vásquez, 2021

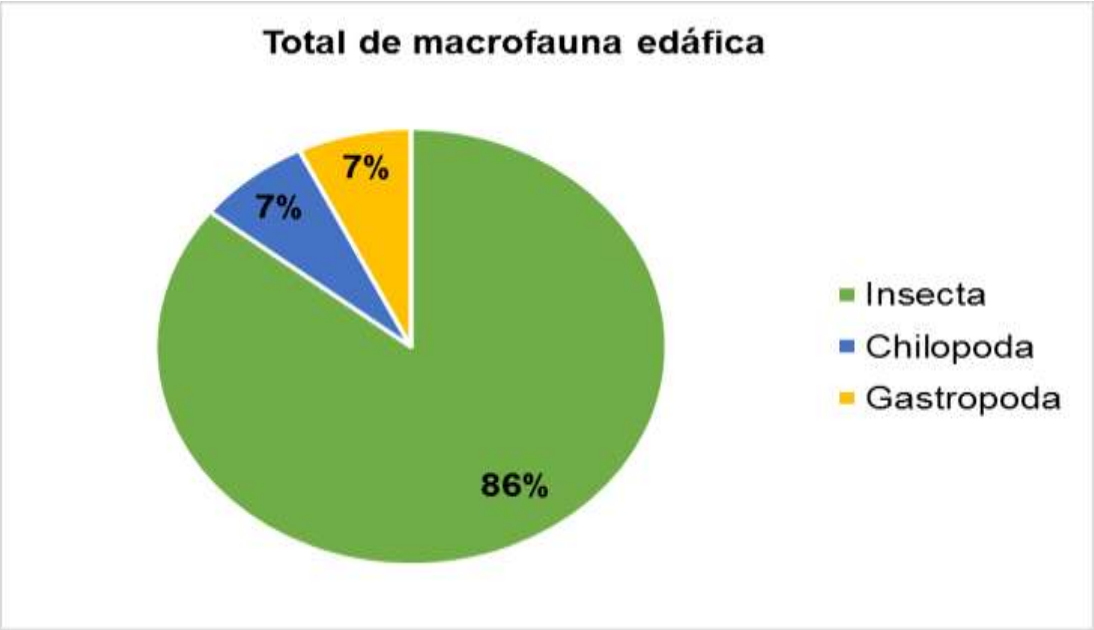

Figura 3. Representación correspondiente a cada de una de las clases de macroinvertebrados hallados en cada uso de suelo (agrícola, pastoreo y forestal) Vásquez, 2021

En la Figura 3, se muestra el porcentaje obtenido del conteo de las poblaciones de macrofauna edáfica, se puede observar que en su mayoría la clase Insecta representa el 86% de las poblaciones, seguida de las clases Chilopoda y Gastropoda con el 7% respectivamente. De las especies encontradas en la zona de estudio tenemos escarabajos, tijeretas, langostas voladoras, ciempiés, cucarachas de tierra, caracoles y hormigas, estas últimas, se encuentran en gran parte del territorio. Como se visualiza en la Figura 4, la macrofauna se distribuye mayoritariamente en la zona forestal, mientras que en la zona agrícola solo se encontró rastros de 3 especies (hormigas, gallinitas ciegas y langostas) con poblaciones mínimas, por último, en el uso de suelo destinado a pastoreo las poblaciones de macrofauna fueron nulas.

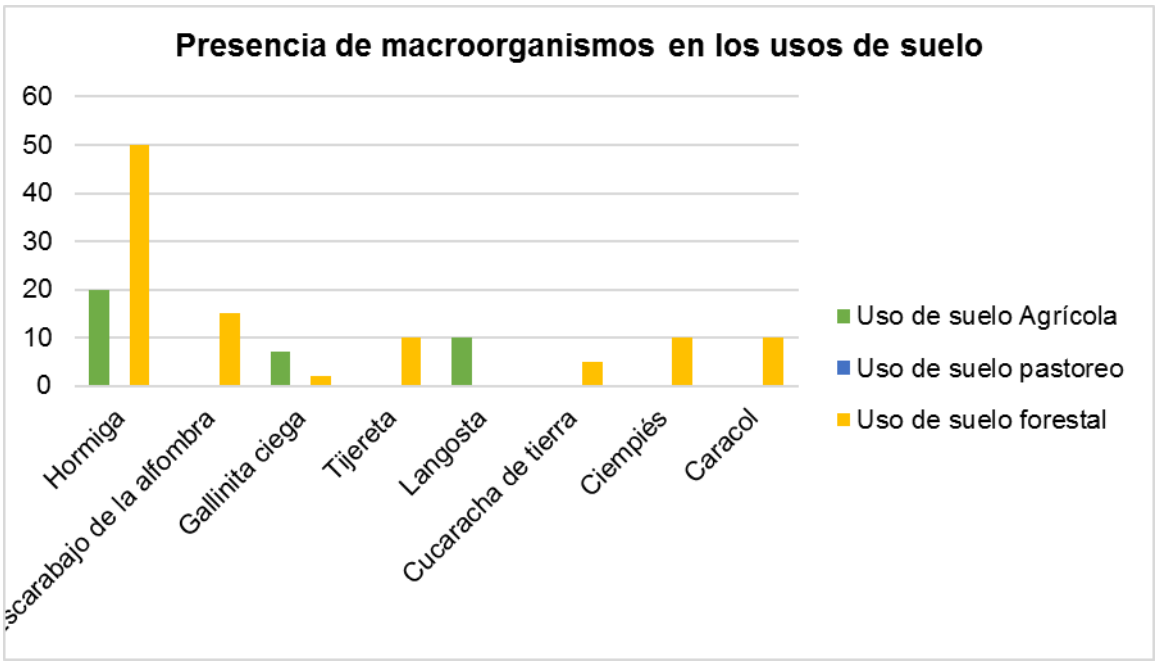

Figura 4. Distribución de las especies de macrofauna en los usos de suelo agrícola, pastoreo y forestal
Vásquez, 2021

4.2 Análisis de los efectos que tienen los distintos usos de suelo sobre la composición y abundancia de la macrofauna edáfica mediante índices de biodiversidad

En base a la metodología planteada en el presente estudio con ciertas modificaciones propias de la experimentación, se procedió con los análisis de las muestras de suelo recolectadas de los 5 puntos establecidos en cada uso de suelo, con un total de 15 muestras que se utilizaron para evaluar los parámetros químicos de pH, textura y contenido de materia orgánica.

4.2.1 Análisis de pH – suelo agrícola

Para el análisis de pH se emplearon 4g de suelo previamente tamizado y 100 ml de agua destilada. Se obtuvieron las siguientes lecturas del medidor multiparamétrico:

Tabla 8. Valores obtenidos de la medición de pH del suelo agrícola

Puntos	pH
P1	6,08
P2	6,11
P3	6,48
P4	6,45
P5	6,60

Vásquez, 2021

En la Tabla 8 se puede apreciar los valores obtenidos de la medición del pH en las muestras del uso de suelo agrícola, con valores que van desde 6,08 como valor mínimo hasta 6,60 como valor máximo. Según Osorio (2012), el pH del suelo se categoriza desde "extremadamente ácido" hasta "muy alcalino" lo que va a depender del valor de la medición. Los valores se encuentran en los siguientes rangos:

- 5.5 – 6.0 (moderadamente ácido)
- 6.0 – 6.5 (ligeramente ácido)
- 6.5 – 7.3 (neutro)

De acuerdo con INTAGRI (2018), cuando el suelo posee un pH mayor a 6.5 se produce una precipitación de compuestos insolubles de hierro, manganeso, cobre y zinc que en su mayoría no son asimilados por las raices de las plantas; en suelos con un pH menor a 6.5 la afectación se da en la solubilidad y disponibilidad de fosfato, sulfato y molibdato; por último, en suelos ácidos se restringe la nitrificación y la descomposición de la materia orgánica.

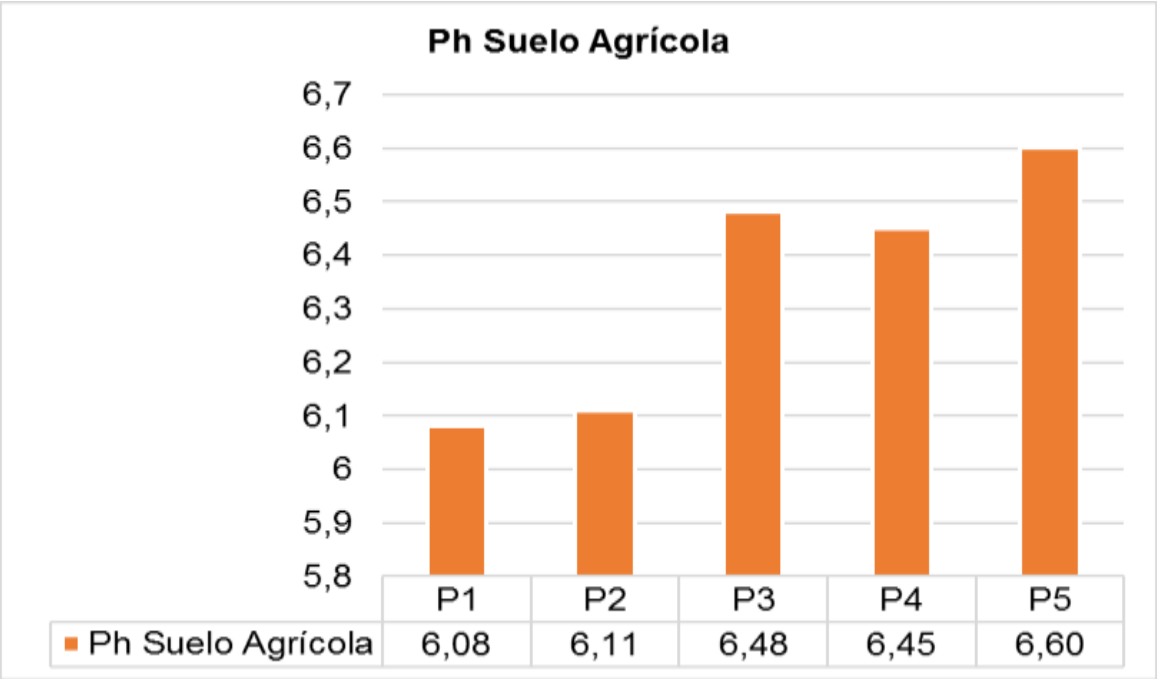

Figura 5. Resultados de las mediciones de pH del uso de suelo agrícola
Vásquez, 2021

4.2.2 Análisis de pH – suelo de pastoreo

Los valores que se muestran en la Tabla 9 son un indicativo de que el pH esta entre “neutro” y “alcalino”, lo que supone la presencia de altos niveles de calcio y magnesio.

Tabla 9. Valores obtenidos de la medición de pH del suelo de uso para pastoreo

Puntos	pH
1	7,03
2	6,99
3	7,56
4	7,49
5	7,80

Vásquez, 2021

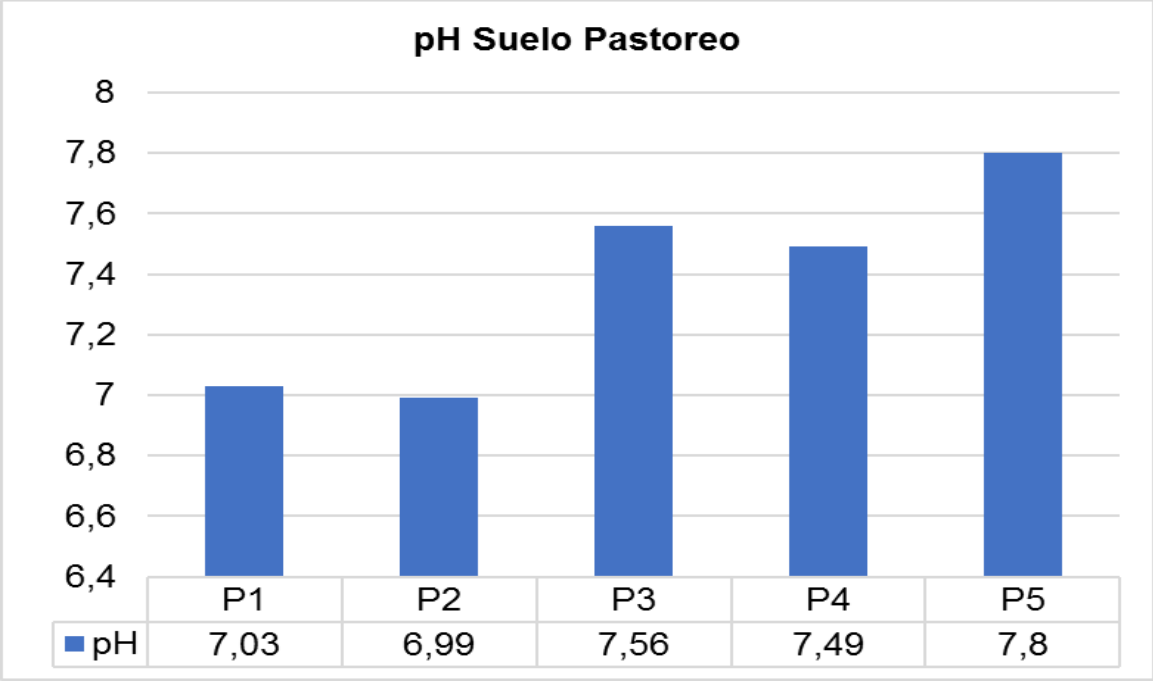

Figura 6. Resultados de las mediciones de pH en el uso de suelo de pastoreo
Vásquez, 2021

4.2.3 Análisis de pH – suelo forestal

En la Tabla 10 se muestra mayoritariamente valores que indican que el pH del suelo forestal es “neutro”, lo que se considera como un suelo ideal.

Tabla 10. Valores obtenidos en la medición de pH del suelo forestal

Puntos	pH
1	6,86
2	7,19
3	7,41
4	6,80
5	7,22

Vásquez, 2021

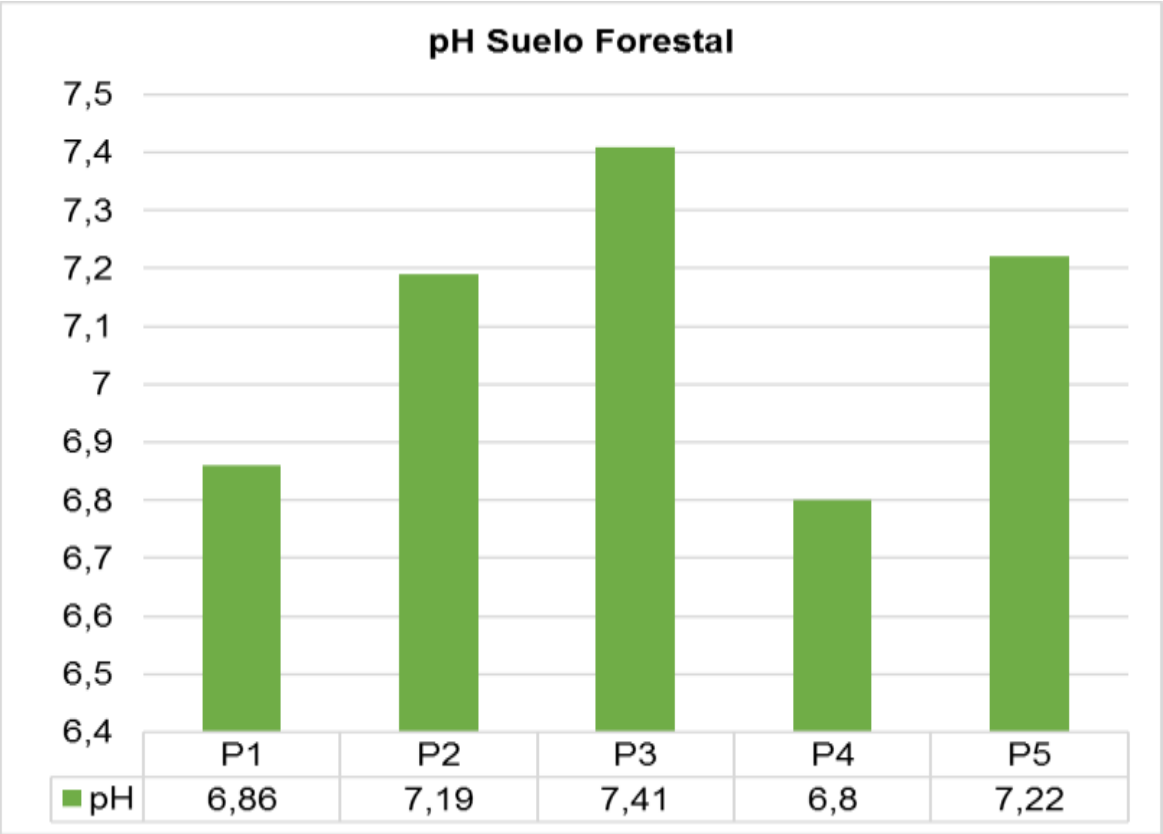

Figura 7. Resultados de las mediciones de pH en el uso de suelo forestal
Vásquez, 2021

Análisis estadístico ANOVA para pH

En la Tabla 11 se visualiza el test paramétrico de análisis de varianza para analizar el parámetro de pH en los tres usos de suelo (agrícola, pastoreo y forestal), donde el valor de p es menor al nivel de significancia (p= 0,0003 < 0,05) rechazándose la hipótesis nula. Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes, por lo tanto, el valor de la media del uso de suelo agrícola es diferente en comparación a las otras medias.

Tabla 11. Análisis estadístico ANOVA

Fuente de variación	Medias	n	E.E	CM	F	p-valor		
Uso de suelo				1,42	17,36	0,0003		
Agrícola	6,34	5	0,13				A	
Forestal	7,10	5	0,13					B
Pastoreo	7,37	5	0,13					B

Vásquez, 2021

Correlación entre pH y los índices de biodiversidad

En la Tabla 12, se describen los valores resultantes de aplicar el análisis de correlación de Pearson. Esta correlación establece que cuando el valor de “r” es igual a 1, existe una correlación positiva perfecta, por el contrario, cuando “r” es menor a 0 la correlación es negativa. De los valores obtenidos entre la correlación del pH con los índices de biodiversidad, se puede decir que existe una correlación negativa que va de débil a moderada, lo que significa que al haber una alteración en el pH del suelo la población de macrofauna va a disminuir.

Tabla 12. Correlación de Pearson entre el pH y los índices de biodiversidad

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	p-valor
pH	Índice de Shannon	-0,37	0,1770
pH	Índice de Simpson	-0,53	0,0426
pH	Índice de Margalef	-0,15	0,5831
pH	Índice de equidad	-0,68	0,0050

Vásquez, 2021

4.2.4 Determinación de la textura

En la determinación de la textura del suelo se empleó el método granulométrico de Bouyoucos o del hidrómetro, para obtener información cuantitativa sobre los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en las muestras de suelo. El agente dispersante utilizado en el análisis textural fue el hexametafosfato de sodio $(NaPO_3)_6$, del cual se disolvieron 50g en 800 ml de agua destilada.

Para este método se realizaron dos mediciones para cada muestra; la primera medición con el densímetro y la toma de temperatura se dio a los 40s, luego la segunda medición a las 2h, repitiendo el proceso anterior.

Tabla 13. Lectura del termómetro y del densímetro en muestra de suelo agrícola

Puntos	Medición	Temperatura(°C)	Lectura del densímetro (40s) (2h)
1	1	27°C	14gL
1	2	24°C	10gL
2	1	28°C	12gL
2	2	24°C	10gL
3	1	27°C	12gL
3	2	24°C	9gL
4	1	28°C	10gL
4	2	24°C	7gL
5	1	27°C	10gL
5	2	24°C	5gL

Vásquez, 2021

Tabla 14. Lectura del termómetro y del densímetro en muestra de suelo para pastoreo

Puntos	Medición	Temperatura(°C)	Lectura del densímetro (40s) (2h)
1	1	27°C	20gL
1	2	25°C	12gL
2	1	28°C	18gL
2	2	25°C	12gL
3	1	28°C	18gL
3	2	25°C	10gL
4	1	27°C	20gL
4	2	25°C	10gL
5	1	28°C	20gL
5	2	25°C	7gL

Vásquez, 2021

Tabla 15. Lectura del termómetro y del densímetro en muestra de suelo forestal

Puntos	Medición	Temperatura(°C)	Lectura del densímetro (40s) (2h)
1	1	26°C	10gL
1	2	24°C	7gL
2	1	27°C	10gL
2	2	24°C	4gL
3	1	27°C	7gL
3	2	25°C	4gL
4	1	26°C	12gL
4	2	24°C	7gL
5	1	28°C	10gL
5	2	24°C	4gL

Vásquez, 2021

Una vez obtenidas las lecturas, se procede con el cálculo para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla para lo cual se emplearán las siguientes fórmulas:

$$\%\ \text{limo} + \%\text{arcillas} = \left(\frac{\text{L1}}{\text{g de suelo}}\right) * 100$$

$$\%\ \text{Arena} = 100 - (\%limos + \%arcillas)$$

$$\%\ \text{Arcillas} = \left(\frac{\text{L2}}{\text{g de suelo}}\right) * 100$$

$$\%\ \text{Limos} = (\%limos + \%arcillas) - \%arcillas$$

Donde, L1 y L2 corresponden a las lecturas del hidrómetro tomadas a los 40 segundos y 2 horas respectivamente; T1 y T2 representan las temperaturas tomadas en el mismo lapso de tiempo que las lecturas. Por cada grado de temperatura después de los 20 °C, se agregaron 0.3 a la lectura del hidrómetro, tal y como se muestra en la Tabla 16, el valor adicional (0.3) corresponde al factor de corrección (Nieto, 2016).

Tabla 16. Lecturas del hidrómetro de las muestras de suelo corregidas con el factor de correción según su temperatura

Uso de suelo	Muestra	Número de lectura	Lectura del hidrómetro	Temperatura	Lectura corregida
Agrícola	1	1	14gL	27°C	16,1gL
Agrícola	1	2	10gL	24°C	11,2gL
Agrícola	2	1	12gL	28°C	14,4gL
Agrícola	2	2	10gL	24°C	11,2gL
Agrícola	3	1	12gL	27°C	14,1gL
Agrícola	3	2	9gL	24°C	10,2gL
Agrícola	4	1	10gL	28°C	12,4gL
Agrícola	4	2	7gL	24°C	8,2gL
Agrícola	5	1	10gL	27°C	12,1gL
Agrícola	5	2	5gL	24°C	6,2gL
Pastoreo	1	1	20gL	27°C	22,1gL
Pastoreo	1	2	12gL	25°C	13,5gL
Pastoreo	2	1	18gL	28°C	20,4gL
Pastoreo	2	2	12gL	25°C	13,5gL
Pastoreo	3	1	18gL	28°C	20,4gL
Pastoreo	3	2	10gL	25°C	11,5gL
Pastoreo	4	1	20gL	27°C	22,1gL
Pastoreo	4	2	10gL	25°C	11,5gL
Pastoreo	5	1	20gL	28°C	22,4gL
Pastoreo	5	2	7gL	25°C	8,5gL
Forestal	1	1	10gL	26°C	11,8gL
Forestal	1	2	7gL	24°C	8,2gL
Forestal	2	1	10gL	27°C	12,1gL
Forestal	2	2	4gL	24°C	5,2gL
Forestal	3	1	7gL	27°C	9,1gL
Forestal	3	2	4gL	25°C	5,5gL
Forestal	4	1	12gL	26°C	13,8gL
Forestal	4	2	7gL	24°C	8,2gL
Forestal	5	1	10gL	28°C	12,4gL
Forestal	5	2	4gL	24°C	5,2gL

Vásquez, 2021

Según los valores corregidos que se describen en la Tabla 16, los porcentajes de arena, limo y arcilla para el uso de suelo agrícola en el punto 1 son los siguientes:

$$\%\ \text{limo} + \%\text{arcillas} = \left(\frac{16{,}1}{50\text{g}}\right) * 100$$

$$\%\ \text{limo} + \%\text{arcillas} = 32{,}2$$

$$\%\ \text{Arena} = 100 - (32{,}2)$$

$$\%\ \text{Arena} = 67{,}8$$

$$\%\ \text{Arcillas} = \left(\frac{11{,}2}{50\text{g}}\right) * 100$$

$$\%\ \text{Arcillas} = 22{,}4$$

$$\%\ \text{Limos} = (32{,}2) - 22{,}4$$

$$\%\ \text{Limos} = 9{,}8$$

La sumatoria de los porcentajes obtenidos (%arena + %arcilla + %limo) deben ser igual al 100%, el mismo cálculo se aplica para los otros usos de suelo quedando los resultados de la siguiente manera:

Tabla 17. Resultados obtenidos del cálculo de los porcentajes de arena, limo y arcilla en los usos de suelo agrícola, pastoreo y forestal

Uso de suelo	Punto de muestreo	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural
Agrícola	1	67,8	22,4	9,8	Franco arcillo arenoso
Agrícola	2	71,2	22,4	6,4	Franco arcillo arenoso
Agrícola	3	71,8	20,4	7,8	Franco arcillo arenoso
Agrícola	4	75,2	16,4	8,4	Franco arenoso
Agrícola	5	75,8	12,4	11,8	Franco arenoso
Pastoreo	1	55,8	27	17,2	Franco
Pastoreo	2	59,2	27	13,8	Franco
Pastoreo	3	59,2	23	17,8	Franco
Pastoreo	4	55,8	23	21,2	Franco
Pastoreo	5	55,2	17	27,8	Franco
Forestal	1	76,4	16,4	7,2	Franco arenoso
Forestal	2	75,8	10,4	13,8	Franco arenoso
Forestal	3	81,8	11	7,2	Franco arenoso
Forestal	4	72,4	16,4	11,2	Franco arenoso
Forestal	5	75,2	10,4	14,4	Franco arenoso

Vásquez, 2021

Análisis estadístico no paramétrico Kruskal Wallis

Como se observa en la Tabla 18, se evaluó estadísticamente el parámetro de textura (arena) aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, concluyendo que existen diferencias entre las medianas, así como el valor de p que es menor al nivel de significancia (0,05).

Tabla 18. Textura - Análisis estadístico Kruskal Wallis

Variable	Uso de suelo	N	Medias	Desviación estándar	Medianas	gl	H	p
Text. Arena	Agrícola	5	72,36	3,25	71,80	2	10,82	0,0043
Text. Arena	Forestal	5	76,32	3,43	75,80			
Text. Arena	Pastoreo	5	57,04	1,99	55,80			

Vásquez, 2021

Análisis estadístico paramétrico ANOVA

Para realizar el análisis estadístico de la textura en arcilla y limo se empleó la prueba paramétrica, análisis de varianza, al comparar los valores de p con el nivel de significancia (0,05) se puede observar en la Tabla 19 que en ambos casos “p” es menor a 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias no son iguales.

Tabla 19. Análisis de varianza en textura (arcilla y limo)

Fuentes de variación	Medias	n	E.E	CM	F	p-valor		
Uso de suelo				137,97	9,05	0,0040		
Forestal	12,92	5	1,75				A	
Agrícola	18,80	5	1,75				A	B
Pastoreo	23,40	5	1,75					B
Uso de suelo				163,37	11,05	0,0019		
Agrícola	8,84	5	1,72				A	
Forestal	10,76	5	1,72				A	
Pastoreo	19,56	5	1,72					B

Vásquez, 2021

Correlación entre textura y los índices de biodiversidad

En la Tabla 20 se presenta la correlación de Spearman entre la textura (arena) hallada en los usos de suelo (agrícola, pastoreo y forestal) y los índices de biodiversidad (macroinvertebrados). El resultado indica que los valores de la correlación entre la textura (arena) y los índices de Shannon, Simpson y Margalef son de 0,87 y el p valor que es <0,0001, siendo este último menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Asimismo, se rechaza la Ho para la relación entre la textura (arena) y el índice de equidad.

En la Tabla 21 se muestra la correlación entre las variables textura (arcilla y limo) y los índices de biodiversidad por medio de la correlación de Pearson, donde se pudo observar que los valores de Pearson son menores a 0 y por ende negativos, es decir que van de una correlación negativa moderada a alta, de igual manera los valores de p son menores al nivel de significancia (0,05).

Tabla 20. Correlación de Spearman entre la textura (arena) y los índices de biodiversidad

Variable (1)	Variable (2)	Spearman	p-valor
Textura arena	Índice de Shannon	0,87	<0,0001
Textura arena	Índice de Simpson	0,87	<0,0001
Textura arena	Índice de Margalef	0,87	<0,0001
Textura arena	Índice de equidad	0,55	0,0336

Vásquez, 2021

Tabla 21. Correlación de Pearson entre la textura (arcilla y limo) y los índices de biodiversidad

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	p-valor
Textura arcilla	Índice de Shannon	-0,75	0,0012
Textura arcilla	Índice de Simpson	-0,69	0,0042
Textura arcilla	Índice de Margalef	-0,78	0,0007
Textura arcilla	Índice de equidad	-0,58	0,0229
Textura limo	Índice de Shannon	-0,70	0,0036
Textura limo	Índice de Simpson	-0,77	0,0008
Textura limo	Índice de Margalef	-0,57	0,0251
Textura limo	Índice de equidad	-0,80	0,0003

Vásquez, 2021

4.2.5 Contenido de materia orgánica

De acuerdo con la metodología establecida, para la determinación del contenido de materia orgánica de las muestras de suelo (agrícola, pastoreo y forestal), se tomó las 5 muestras por cada uso de suelo, con un total de 15 muestras. Realizando los respectivos cálculos se precisaron las dosis necesarias de los reactivos para los análisis de laboratorio, donde se emplearon 75 ml de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y 150 ml de ácido sulfúrico puro (H_2SO_4). Por medio de un

espectrofotómetro se midió la concentración de Carbono a 600 nm, obteniéndose las siguientes lecturas:

Tabla 22. Medición del contenido de materia orgánica en los usos de suelo

Número de lecturas	Uso de suelo agrícola	Uso de suelo de pastoreo	Uso de suelo forestal
1	13,36 g/L	12,50 g/L	47,11 g/L
2	16,69 g/L	19,69 g/L	50,64 g/L
3	22,44 g/L	14,90 g/L	44,76 g/L
4	15,53 g/L	15,27 g/L	31,08 g/L
5	13,69 g/L	18,14 g/L	25,09 g/L

Vásquez, 2021

Análisis estadístico Kruskal Wallis

En la Tabla 23 se muestra el test de Kruskal Wallis, entre las medianas del uso de suelo agrícola y de pastoreo no existe mayor diferencia, mientras que la diferencia de la mediana del uso de suelo forestal en relación a las otras es significativamente amplia, asimismo el valor de p es menor al nivel de significancia (0,05).

Tabla 23. Materia orgánica - Análisis estadístico

Uso de suelo	N	Medias	Desviación estándar	Medianas	gl	H	p		
Agrícola	5	16,34	3,67	15,53	2	9,38	0,0092	A	
Forestal	5	39,74	11,04	44,76				A	
Pastoreo	5	16,10	2,83	15,27					B

Vásquez, 2021

Correlación entre el contenido de materia orgánica y los índices de biodiversidad

En la Tabla 24 se puede apreciar la correlación existente entre la materia orgánica y los índices de biodiversidad (macrofauna), lo que indica que la relación es positiva entre las variables (débil a moderada). Por otra parte, para los valores de p de las correlaciones entre la materia orgánica y los índices de Shannon, Simpson y Margalef al ser menores que el nivel de significancia (0,05) se rechaza la Hipótesis nula, lo contrario sucede en la correlación entre MO y el índice de equidad.

Tabla 24. Correlación de Spearman entre la materia orgánica y los índices de biodiversidad

Variable (1)	Variable (2)	Spearman	p-valor
Materia orgánica	Índice de Shannon	0,72	0,0026
Materia orgánica	Índice de Simpson	0,72	0,0026
Materia orgánica	Índice de Margalef	0,72	0,0026
Materia orgánica	Índice de equidad	0,02	0,9467

Vásquez, 2021

4.2.6 Resultados de los índices de biodiversidad (Shannon, Simpson, Margalef y equidad)

En la Figura 8, se puede observar los resultados obtenidos de los índices de biodiversidad en los usos de suelo agrícola y forestal, el uso de suelo de pastoreo no fue considerado ya que no se encontró presencia de macrofauna en los 5 puntos donde se tomaron las muestras de suelo. El índice de Shannon muestra valores de 1,028 y 1,569 para los usos de suelo agrícola y forestal respectivamente, donde 1,028 es < a 1,5 lo que significa que la diversidad de especies es baja, mientras que 1,569 indica un ligero aumento en la diversidad con respecto a 1,5, es decir que puede pasar de diversidad baja a media. El índice de Simpson con valores de 0,6156 y 0,7135, van de una diversidad media en la zona agrícola a una diversidad alta en el uso de suelo forestal; los resultados se interpretan usando una escala de significancia entre 0-1. Para el índice de Margalef se obtuvieron valores de 0,5539 y 1,297, donde ambos valores sugieren una baja diversidad de especies; por último, para el índice de equidad hay que considerar que cuando los valores se acercan a cero, determinada especie domina sobre las otras y que cuando se acerca a uno, las especies comparten abundancias por lo tanto 0,9359 y 0,8062 son valores que se acercan a uno, es decir que las especies comparten abundancias similares.

Tabla 25. Índices de biodiversidad en los usos de suelo agrícola y forestal

Uso de suelo	Índice de Shannon	Índice de Simpson	Índice de Margalef	Índice de equidad
Agrícola	1,028	0,6156	0,5539	0,9359
Forestal	1,569	0,7135	1,297	0,8062

Vásquez, 2021

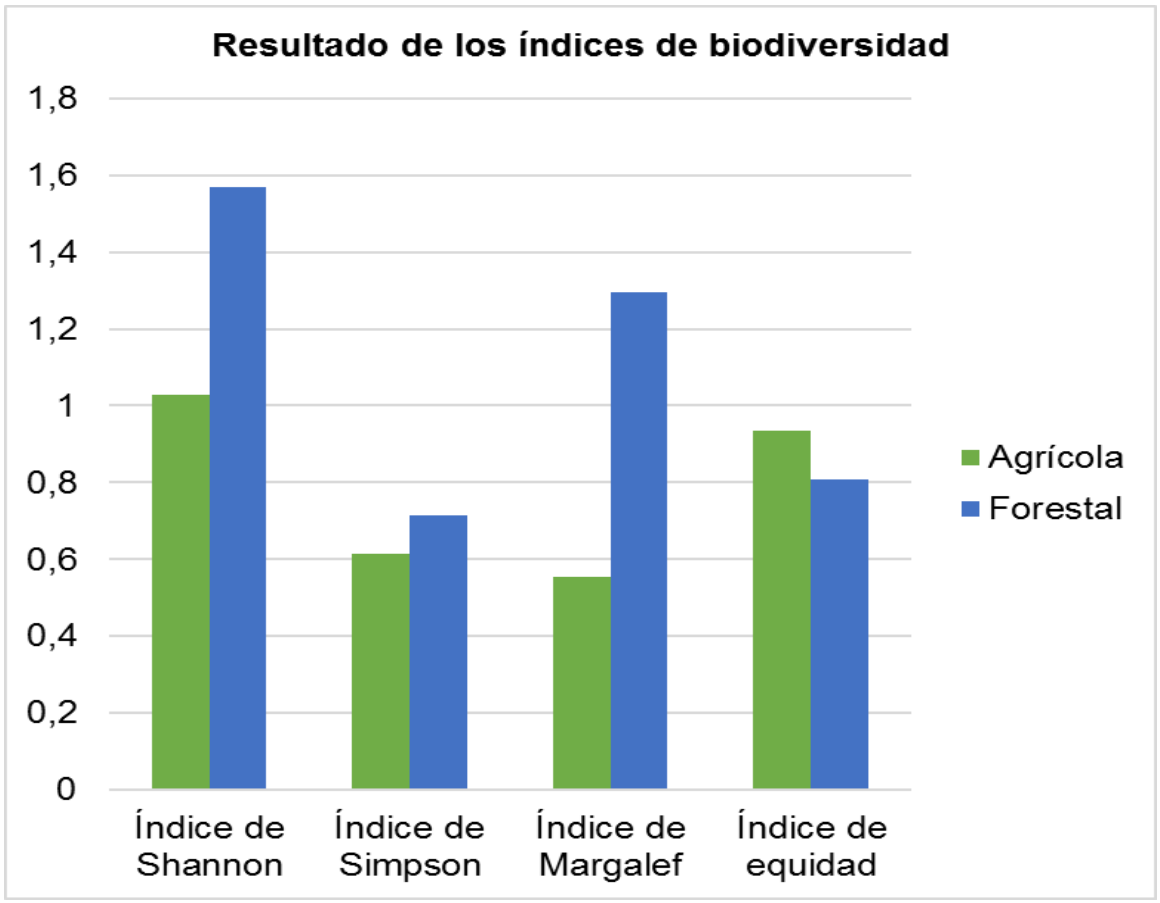

Figura 8. Resultados de Shannon, Simpson, Margalef y Equidad en los usos de suelo agrícola y forestal
Vásquez, 2021

Análisis estadístico Kruskal Wallis

Como se aprecia en la Tabla 26, los valores obtenidos del análisis estadístico de los índices de biodiversidad por medio del test de Kruskal Wallis indican semejanzas tanto en sus medias como en las medianas, es decir que sus distribuciones son simétricas; sin embargo, los valores de p son menores al nivel de significancia (0,05).

Tabla 26. Índices de biodiversidad - Análisis estadístico

Variable	Uso de suelo	N	Medias	Medianas	gl	H	p		
Índice Shannon	Agrícola	5	1,03	1,03	2	12,50	0,0009	A	B
Índice Shannon	Forestal	5	1,57	1,57					B
Índice Simpson	Agrícola	5	0,62	0,62	2	12,50	0,0009	A	B
Índice Simpson	Forestal	5	0,71	0,71					B
Índice Margalef	Agrícola	5	0,55	0,55	2	12,50	0,0009	A	B
Índice Margalef	Forestal	5	1,30	1,30					B
Índice equidad	Agrícola	5	0,94	0,94	2	12,50	0,0009	A	B
Índice equidad	Forestal	5	0,81	0,81					B

Vásquez, 2021

4.3 Propuesta de un programa de siembra para la recuperación de la calidad de suelos afectados por actividades antropogénicas

Se propone implementar un programa de siembra para la recuperación de la calidad de suelos afectados por las actividades antropogénicas, es decir que se

implementarán buenas prácticas para el uso y manejo sostenible de los suelos (FAO, 2018).

Para la elaboración de esta propuesta, se utilizará la Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de suelos en áreas rurales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El programa constará de 4 fases, las cuales se detallan a continuación:

- **Fase 1 (identificación) y fase 2 (diagnóstico)**

De acuerdo con Ortegón, Pacheco y Prieto (2005), en esta fase se debe realizar un análisis de la situación de la zona a intervenir para crear una visión de la situación deseada, de esta manera se seleccionarán estrategias que posteriormente serán implementadas. Por lo tanto, en esta fase se Identificará la problemática actual de la zona de estudio; en caso de presentarse una problemática se documentará la situación. Por otra parte, la etapa de diagnóstico deriva de la anterior fase, por medio de esta se identifica y caracteriza la problemática permitiendo buscar posibles soluciones para mitigar los impactos que se hallen en la zona de estudio. En esta fase se analizará la problemática en el suelo y en general de las actividades que se realizan, por medio de esto se elaborará un diagnóstico sobre las prácticas no sostenibles en los usos de suelo que se encuentren en la zona de intervención.

- **Fase 3 (planificación) y fase 4 (implementación)**

Una vez evaluadas las dos fases iniciales y en caso de ser necesaria la implementación del programa que va a depender de la situación o del impacto causado en la zona de estudio, se prepararán las actividades y todos los detalles involucrados en el programa con el fin de dar cumplimiento a la propuesta. En conjunto con los habitantes del sector se ejecutará de manera participativa el

programa de siembra para la recuperación de la calidad de suelos afectados por actividades antropogénicas. Adicionalmente se llevará a cabo un seguimiento para verificar como evoluciona la situación de la zona perjudicada.

El programa de siembra constará de las siguientes actividades que irán según el orden y de acuerdo a las fases mencionadas anteriormente:

1. Establecer en qué tipo de ecosistema se va a desarrollar el programa de siembra. Este programa es aplicable para la ecorregión del bosque seco tropical, por lo general estas regiones se encuentran amenazadas por la expansión de la actividad ganadera, reemplazo de los bosques por zonas de cultivos, entre otras amenazas.
2. Por medio de visitas a la zona de intervención se identificará si existe o no una problemática, de existir, se evaluará y cuantificará que tan grande es la afectación.
3. Distinguir que usos de suelo se encuentran en la zona de estudio y registrar cuáles son las prácticas no sostenibles que se desarrollan en cada uno de los usos del sector a intervenir.
4. La información que se recopile se analizará y se sistematizará mediante la elaboración de un documento de síntesis donde quedará constancia de los procedimientos aplicados en la zona.
5. Se elaborará un diagnóstico de la situación y de la pérdida forestal del sector.
6. Se realizará una valoración general sobre la dinámica del suelo relacionada con los siguientes aspectos:

- Compactación
- Erosión
- Infiltración del agua
- Estructura del suelo
- Materia orgánica

- Cobertura vegetal, entre otros.

Se sugiere que la valoración se diligencie desde la fase inicial hasta el fin del desarrollo del programa, manteniendo revisiones periódicas.

7. Se delimitará la zona a recuperar y se establecerá que especie arbustiva se plantará, para fines de este programa de siembra se implementarán barreras o cercas vivas con la especie arbustiva *Jatropha curcas* (piñón), de acorde a la ecorregión del bosque seco tropical. Esta especie se adapta a cualquier tipo de suelo; desde suelos con alta fertilidad hasta suelos en proceso de degradación. Las características del piñón son las siguientes:

- Es de fácil adaptación.
- Puede crecer y mantenerse en lugares con precipitaciones que varíen desde los 200 mm hasta los 2000 mm al año.
- Es resistente a la sequía.
- Puede cultivarse en terrenos planos y en laderas.
- La temperatura óptima va desde los 25 a 35 °C (IICA, 2013).

Para la siembra del piñón hay que considerar los siguientes aspectos:

- El método de siembra; la siembra puede realizarse de forma directa o indirecta, ya sea por reproducción sexual (semillas) o reproducción asexual (estacas). Para este programa la siembra será por medio de estacas.
- Las estacas se obtendrán de árboles en plena madurez reproductiva, entre los meses de agosto y noviembre.
- Para siembra de cercas vivas, las estacas deben hacerse antes del inicio de la época invernal.
- Las estacas deben mantener una distancia de un metro entre ellas y se deben enterrar a una profundidad menor a los 20 cm, para evitar pudriciones.

- La siembra del piñón irá acompañada con una especie forestal (Fernán Sánchez – *Triplaris cumingiana*), lo que garantizará que las condiciones del suelo mejoren en tierras degradadas y secas.

- Para la siembra se recomienda utilizar el método de siembra en hilera simple, que consiste en conservar una distancia de 2 metros entre planta de piñón y dejando un espacio de 6 metros para la asociación con la especie forestal (IICA, 2013).

8. Ejecución del programa de siembra.

5. Discusión

Los resultados del primer objetivo de la investigación mostraron que, se encontró mayor cantidad de macrofauna edáfica en el uso de suelo forestal, cabe indicar que la parte forestal de la zona de estudio no sufre ningún tipo de intervención por parte del hombre; para el uso de suelo agrícola, se evidenció menor proporción; mientras que en el uso de suelo dedicado al pastoreo no se registró presencia de macrofauna. Esto concuerda con Cabrera *et al*. (2019) mediante una investigación en el estado de Veracruz (México), señalan que el uso de suelo asociado a las actividades agrícolas y ganaderas son factores claves en la afectación a la biodiversidad edáfica, debido a los impactos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La macrofauna edáfica por lo general está determinada por la intensidad del cambio inducido con respecto al ecosistema natural, esto conlleva a que varios autores propongan el uso de estos macroorganismos como indicadores de la calidad del suelo.

Las especies encontradas en el uso de suelo agrícola fueron las pertenecientes al orden *Hymenoptera, Coleoptera* y *Orthoptera*, de igual manera en el uso de suelo forestal se hallaron los órdenes *Hymenoptera, Coleoptera, Dermaptera, Scolopendromorpha, Pulmonata* y *Blattodea*. La clase Insecta fue la más predominante en la zona de estudio con un total de 119 individuos, de las cuales las más representativas fueron las hormigas con un total de 70 individuos recolectados, estas especies juegan un papel importante en los ecosistemas al ser las encargadas de transportar nutrientes, descomponer la materia orgánica, airear el suelo e incluso dispersar semillas. Del mismo modo, Moran y Alfaro (2015) mediante su estudio sobre la diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de *Moringa oleífera* en la finca Santa Rosa concluyeron en base a sus

resultados que cuando las poblaciones de hormigas son elevadas, son capaces de transportar gran cantidad de hojas al interior del suelo, influyendo en sus propiedades físicas, por lo que se considera un grupo importante por sus funciones de forrajear y anidar en el suelo, enriqueciéndolo con el retorno de nutrientes.

Para el análisis de los efectos que tienen los distintos usos de suelo sobre la macrofauna edáfica se analizaron los parámetros químicos de pH, textura y contenido de materia orgánica, además de los índices de biodiversidad de Shannon, Simpson, Margalef y equidad.

El pH registró un valor máximo de 6,60 y un valor mínimo de 6,08 en el uso de suelo agrícola, lo que refleja un suelo que va de ligeramente ácido a neutro; en el uso de suelo para pastoreo se registraron valores desde 6,99 hasta 7,80, variando entre neutro y alcalino; mientras que en uso de suelo forestal se obtuvieron valores entre 6,80 y 7,41, indicando que el suelo es mayoritariamente neutro por lo tanto se le considera un suelo ideal.

Por otra parte, se encontraron suelos con texturas franco arcillo arenosas (arena 71,8%, arcilla 20,4%, limo 7,8%), suelos francos (arena 59,2%, arcilla 27%, limo 13,8%) y francos arenosos (arena 76,4%, arcilla 16,4%, limo 7,2). El contenido de materia orgánica para el uso de suelo agrícola registró valores entre 13,36 g/L - 22,44 g/L, para el uso de suelo de pastoreo y forestal se obtuvieron valores entre 12,50 g/L - 19,69 g/L, y 25,09 g/L - 50,64 g/L, respectivamente.

Por último, los resultados de los índices de biodiversidad presentaron variaciones en la diversidad y abundancia de la macrofauna, al no encontrarse poblaciones de estos organismos en el uso de suelo de pastoreo solo se consideraron los usos de suelo agrícola y forestal. El índice de Shannon mostró valores de 1,028 y 1,569, en el primer caso la diversidad de especies es baja por

ser menor a 1,5, mientras que 1,569 indica un ligero incremento en la diversidad; asimismo en el índice de Simpson se observan valores de 0,6156 y 0,7135 que van de una diversidad media a una diversidad alta en el uso de suelo forestal; por medio del índice de Margalef se determinó una baja diversidad de especies ya que los valores obtenidos en ambos usos de suelos (0,5539 y 1,297) están por debajo de 2; para la equidad los valores se acercaban a uno (0,9359 y 0,8062), esto significa que las especies comparten abundancias similares. De igual manera Martinez (2019), en su estudio sobre la relación de la macrofauna con las propiedades del suelo en diferentes sistemas de uso, una mayor cantidad de macrofauna en un bosque secundario obedece a la cobertura vegetal que proporciona mayor biomasa, mientras que en los usos de suelo donde se encontró menor cantidad de organismos tendría que ver con el efecto que ocasiona la aplicación de insumos químicos como herbicidas y fungicidas. Comparando con el presente estudio, se hallan similitudes en los resultados y se concluye que la macrofauna es más abundante en las áreas forestales.

Finalmente, se planteó una propuesta de un programa de siembra con especies arbustivas para la recuperación de la calidad de los suelos afectados por las actividades antropogénicas. De acuerdo con Botero y Russo (s.f), los arbustos y árboles mejoran las condiciones físicas del suelo, causando un efecto positivo en áreas degradadas por la compactación del suelo, la mecanización o por el pisoteo continuo del ganado. Asimismo, Villa, Martins, Delgado, Oliveira y Mota (2015) sugieren que, la plantación de árboles en zonas degradadas es relativamente eficiente en comparación con otras estrategias de uso del bosque, debido a que se produce una mejora en la fertilidad de los suelos y además favorece a la acumulación de carbono a corto plazo.

6. Conclusiones

Se concluye que en los tres usos de suelos establecidos (agrícola, pastoreo y forestal), existe mayor presencia de poblaciones de macrofauna edáfica en la zona forestal del área de estudio con especies pertenecientes a los órdenes *Hymenoptera, Coleoptera, Dermaptera, Scolopendromorpha, Pulmonata* y *Blattodea,* marcando una gran diferencia en comparación a los usos de suelo agrícola donde se encontraron los órdenes *Hymenoptera, Coleoptera y Orthoptera*, mientras que en el uso de suelo dedicado al pastoreo no se encontró presencia de macroinvertebrados.

Al analizar los valores obtenidos de los parámetros químicos del suelo (pH, textura y materia orgánica), se evidencia que existe una correlación negativa entre los parámetros y los índices de biodiversidad, es decir que, al existir alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, la población de macrofauna disminuye, esto se ve reflejado en los usos de suelo agrícola y pastoril, como resultado del uso de insumos químicos como plaguicidas, herbicidas e insecticidas y por la excesiva actividad ganadera que se genera en la zona de estudio.

Por último, se planteó una propuesta de un programa de siembra como alternativa para recuperar la calidad de los suelos afectados por las actividades antropogénicas, la misma es aplicable para la ecorregión del bosque seco tropical que presente un deterioro en el suelo ya sea por degradación, erosión, acidificación, compactación del suelo y deforestación. Al implementar el programa de siembra con especies arbustivas y forestales, se garantizará la mejora en las condiciones físicas y en la fertilidad del suelo.

7. Recomendaciones

Se debe incentivar a la elaboración de trabajos de investigación sobre el uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo, estos organismos son los responsables del correcto funcionamiento de los suelos, lo que los convierte en excelentes marcadores biológicos, sensibles a las alteraciones de las propiedades del suelo. Para los muestreos y recolección de macroinvertebrados se recomienda realizarlos tanto en época seca como en época lluviosa en otras ecorregiones del país, para analizar el comportamiento de estas especies con respecto a los usos de suelo, de esta manera se obtendrá un conocimiento más amplio sobre la influencia de determinados factores en las poblaciones de macrofauna edáfica.

Para analizar la influencia de los usos de suelo sobre la macrofauna edáfica, se sugiere evaluar parámetros físicos y químicos del suelo como carbonatos de calcio, fósforo y potasio disponible, conductividad eléctrica y cationes intercambiables para tener un precedente de lo que sucede, el tipo de elementos predominantes y los nutrientes disponibles para las plantas, para mejorar la productividad y evitar la pérdida de la calidad del suelo.

Para la propuesta, se sugiere mejorar el programa de siembra de acuerdo con la afectación que se presente en el lugar a intervenir, se debe considerar ampliar el programa para otras ecorregiones y se debe probar con otras especies arbustivas nativas de la zona, que sean adecuadas para la implementación de cercas vivas.

8. Bibliografía

Alonso, M. (2015, junio). Clase Insecta - Orden coleoptera *Revista IDE@-SEA*. Recuperado de http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_55.pdf

ANC. (14 de octubre de 2009). Resolución 11 - Norma complementaria para facilitar la aplicación de la Decisión 436, Norma andina para el regisro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola. Recuperado de https://bit.ly/2Z7FtSF

Andalucía, J. (2000). *Ambientes semiáridos del sureste andaluz: el Altiplano estepario.* Obtenido de Consideraciones acerca de la productividad de los suelos: https://bit.ly/3lPTVre

Anderson, J. y Ingram, J. (1993). *Biología y fertilidad del suelo tropical: un manual de métodos*. Obtenido de Wallingford: CAB Internacional: https://searchworks.stanford.edu/view/2836042

Ayora, G. (2014). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Obtenido de https://bit.ly/3pbIGex

Ballesta, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. España: Mundi - Prensa.

Bautista, A., Etchevers, J., Castillo, R. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas, 13*(2). Obtenido de: https://bit.ly/3n345E7

Bignell, D., Constantino, R., Csuzdi, C., Karyanto, A., Konaté, S., Louzada, J. y Zanetti, R. (2011). *Manual de biología de suelos tropicales*. Macrofauna. Recuperado de: https://bit.ly/2YTIRQJ

Botero, R. y Russo, R. (s.f.). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. En Escuela de agricultura de la región tropical húmeda. Conferencia

electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Recuperado de https://bit.ly/2YXRZng

Briceño, K. (2020). *Índice de Simpson: fórmula, interpretación y ejemplo*. Recuperado de Fómula: https://www.lifeder.com/indice-simpson/

Bueno, J. y Rojas, P. (1999). Fauna de Milpies (Arthropoda: Diplopoda) edáficos de una selva alta de Los Tuxtlas. *Acta Zoológica Mexicana, (76)*, 59-83. Recuperado de: https://bit.ly/3jemnBf

Cabrera, H., Murillo, F., Adame, J. y Fernández, J. (2019). Impacto del uso del suelo sobre la meso y macrofauna edáfica en caña de azúcar y pasto. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales, 22*(1), 33-43. Obtenido de Introducción: https://bit.ly/3paTXMg

Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. *Pastos y Forrajes, 35*(4). Recuperado de: http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n4/pyf01412.pdf

Caicedo, D., Benavides, H., Carvajal, L. y Ortega, J. (2018). Población de macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera: Análisis preliminar. *La granja. Revista de ciencias de la vida, 27*(1), 77-85. Recuperado de: https://bit.ly/3DMybTd

Crespo, G. (2013). Funciones de los organismos del suelo en el ecosistema de pastizal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 47*(4), 329-334. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/1930/193029815001.pdf

Congreso Nacional (10 de Septiembre de 2004). Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre. Recuperado de https://bit.ly/3n1EOKG

Cupul, F. (2013). La diversidad de los ciempiés (Chilopoda). *Dugesiana, 20*(1). doi: https://doi.org/10.32870/dugesiana.v20i1.4076

Dávila, G. (2019). *Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba.* Recuperado de: https://bit.ly/3pgEMRJ

Decaens, T., Jiménez, J., Rangel, A., Cepeda, A., Moreno, A. y Lavelle, P. (2001). *Agroecología y Biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia.* Recuperado de: https://bit.ly/3FYPPVs

Díaz, J. y Domingo, E. (2011). *Los suelos.* Uso sostenible. Recuperado de: https://bit.ly/3DN4cuk

Domínguez, J., Aira, M. y Gómez, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas, 18*(2). Recuperado de: https://bit.ly/2YUK2iQ

Espinoza , E. y Tinoco, N. (2015). LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL RESULTANTE DE LA FUMIGACIÓN AÉREA CON PLAGUICIDAS A BANANERAS DE LA PROVINCIA EL ORO, ECUADOR. *Ciencia en su PC, (4)*, 75-87. Recuperado de: https://bit.ly/3p6FDo6

FAO (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: https://bit.ly/3nkiufx

FAO (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales.* Recuperado de: https://bit.ly/3lRKkQH

Fernández, L., Rojas, N., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., Uribe, R. y Arce, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Recuperado de: https://bit.ly/3AOE5kU

Fernández, P. (2001). Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 189-238.

Flores, O. y Gerez, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Recuperado de https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/16.pdf

G. Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., C. Patrón, J., Bueno, J. y Rodríguez, C. (2014). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. Recuperado de https://bit.ly/3aINgbY

García, C. y Rodríguez, G. (2012). PROBLEMÁTICA Y RIESGO AMBIENTAL POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SINALOA. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, 8*(3), 1-10. Recuperado de https://bit.ly/3j7i1Mc

García, C., Moreno, J., Hernández, M. y Polo, A. (2002). *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*. Recuperado de https://bit.ly/3vjewY1

Gutiérrez, J. (2016). *La nueva clasificación de los gasterópodos*. Recuperado de http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/614_cienciorama.pdf

Halffter, G. (1995). ¿Qué es la biodiversidad? *Instituto de Ecología, (62)*, 5-14. Recuperado de https://bit.ly/3AVjF9D

Hortas, F. (2002). *Clave de identificación de hexápodos y otros artrópodos terrestres*. Recuperado de https://bit.ly/2YXNAkg

IICA (2013). *Manual de buenas prácticas agrícolas del cultivo de piñón (Jatropha curcas).* Proyecto Piñón para Galápagos. Recuperado de https://bit.ly/3n1BwqK

INTAGRI (2018). *Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo*. Recuperado de https://bit.ly/3lPu0jn

Instituto de Biólogía y Fertilidad de Suelos Tropicales (Septiembre de 2015). *Protocolo de muestreo para la macrofauna del suelo.* Centro Internacional de Agricultura Tropical. Recuperado de https://bit.ly/3vkqtN3

Jones, J. A. (Julio de 2009). Termitas, fertilidad del suelo y ciclo del carbono en África tropical seca: una hipótesis. *Revista de Ecología Tropical, 6*(3), 291-305. Recuperado de https://bit.ly/3B8i28K

Khalajabadi, S. S. (2008). *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Recuperado de https://bit.ly/2XllgYK

Lang, F., Pérez, A., Martínez, J. P., Platas, D., Ojeda, L. y González, I. (2011). Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana, 29*(2), 169-177. Recuperado de https://bit.ly/3pclJrF

León, O. y Carrasco R. (2016). *Degradación química del suelo*. Recuperado de https://bit.ly/2Z0WfSY

Machuca, R. (2010). Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. Recuperado de https://bit.ly/3vjLHe2

MAE (4 de Mayo de 2015). Órgano del Gobierno del Ecuador. *Reforma del Libro VI de Texto Unificado de Legislación Secundaria.* Recuperado de https://bit.ly/3aRiqOd

MAE (12 de Abril de 2017). *Código Orgánico Ambiental*. Recuperado de https://bit.ly/3lQxLVH

Martín, C. (2010). Indicadores de calidad ambiental. Recuperado de https://bit.ly/3n5Jor1

Martínez, F., Ojeda, D., Hernández, O., Martínez, J. y De la O, Q. (2011). El exceso de nitratos: un problema actual en la agricultura. Recuperado de https://bit.ly/3BRk9PD

Martínez Yrízar, A., Stephen Felger, R., & Búrquez, A. (2010). Los ecosistemas terrestres de Sonora: un diverso capital natural. *Diversidad biológica del estado de Sonora.* UNAM, México, 129-156. Recuperado de https://bit.ly/3DOig6F

Masciocchi, M., Lantschner, V. y Villacide, J. (2019). Serie de divulgación sobre insectos de importancia ecológica, económica y sanitaria. *Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche*, 1-5. Bariloche: Ediciones INTA. Recuperado de https://bit.ly/3AT7avr

McKean, S. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal.* Centro Internacional de Agriculura Tropical - CIAT. Recuperado de https://bit.ly/3jbRTQd

Mendoza, Z. (2013). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. Recuperado de https://bit.ly/3nkjzUD

Mesa, L. (2015). Clase Insecta - Orden dermaptera. *Revista IDE@ - SEA, 42*, 1-10. Recuperado de https://bit.ly/3ps5K8X

Momo, F., Falco, L. y Craig, E. (2003). Las lombrices de tierra como indicadoras del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología, (8)*, 55-63. Recuperado de https://bit.ly/3DVXPoJ

Mora, J., Silva, A. y Escobar, N. (2019). *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos.* Ibagué: Sello Editorial Universidad del Tolima. Recuperado de http://repository.ut.edu.co/handle/001/3022

Morales, C. (2019). *Introducción a la flora de Costa Rica*. Recuperado de https://bit.ly/3vpEMjl

Moran, J. y Alfaro, F. (2015). *Diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa oleifera Lam. (Marango) en la finca Santa Rosa, UNA* (Tesis pregrado). Recuperado de https://bit.ly/3aNyv7N

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis SEA, (1). Zaragoza, 84. Recuperado de https://bit.ly/30Cz827

Navarro, G. y Navarro, S. (2014). *Fertilizantes*. España: Mundi-Prensa. Recuperado de https://bit.ly/3jdlKrz

Nieto, M. (2016). *Caracterización del suelo*. Recuperado de https://bit.ly/3lPRzsr

Noguera, A., Reyes, N. y Mendieta, B. (2017). Diversidad y distribución de la macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa Oleifera (Lam): relación con las propiedades del suelo. *Revista Científica La Calera, 17*(29), 78-86. Recuperado de https://bit.ly/3BSuACy

OMS. (Mayo de 2016). *Plaguicidas*. Recuperado de https://bit.ly/2YUG61y

Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas, 33*(2): 117-124. Recuperado de http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf

Ortegón, E., Pacheco, J. y Prieto, A. (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas.* Recuperado de https://bit.ly/30r8Y26

Ortiz, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. Recuperado de https://bit.ly/3n1F3W6

Ortiz, S. (2016). *Comunidades de macroinvertebrados edáficos indicadores de la calidad del suelo, para evaluar el modelo agroecológico en un sistema de*

hortalizas, Los Planes, Chalatenango, El Salvador (Tesis pregrado). Recuperado de https://bit.ly/3DUohyZ

Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal, 1*(4). Recuperado de https://bit.ly/3aK3UYv

París, M. (2015). *Tijeretas, animales sorprendentes.* Recuperado de https://bit.ly/3E5rdJh

Piscitelli, M. (15 de Julio de 2015). *Degradación de suelos*. Buenos Aires: UNICEN. Recuperado de https://bit.ly/3vnfWR2

Ponce, G., Cantú, P., Flores, A., Badii, M., Barragán, A., Zapata, R. y Fernández, I. (2005). Cucarachas: biología e importancia en salud pública. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Recuperado de https://bit.ly/3jgCqhT

Prieto, M. (2017). *Evaluación de dos índices de diversidad para definir sustentabilidad biológica en una finca agrícola, del cantón Urdaneta* (Tesis pregrado). Recuperado de https://bit.ly/3aRYhHQ

Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Quiroz, J. y Leiva, E. (2011). Los Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de mora, pasto y aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, 64*(1), 5793-5802. Recuperado de https://bit.ly/3FZMy8K

Rodas, J. (2017). *Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín* (Tesis pregrado). Recuperado de https://bit.ly/3aIPCHQ

Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación de suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO. Recuperado de https://bit.ly/3BMQFCm

Rojas, L., Montero, M. y Zequeira, Á. (2016). Evaluación de la diversidad de macroinvertebrados edáficos en Municipios del centro del Cesar

(Chimichagua, Chiriguaná y la Jagua de Ibirico). *Revista Luna Azul, (43)*, 203-228. Recuperado de https://bit.ly/3lR1Y70

Ruiz, D., Feijoo, A. y Rodríguez, C. (2010). Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso del terreno en la cuenca del río Otún, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), (2), 2010, 165-178. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/575/57515556012.pdf

Sada, M., y Madero, A. (2011). *Guía de mariposas de Nuevo León*. México: Fondo Editorial de Nuevo León.

SAG. (s.f.). *Dactylopius coccus (Homoptera: Dactylopiidae).* Recuperado de http://www.sag.cl/sites/default/files/dactylopius%20coccus.pdf

Salmerón, A., Geada, G. y Fagilde, M. (2017). Propuesta de un índice de diversidad funcional. Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *Bosque, 38*(3), 457-466, 2017. Recuperado de https://bit.ly/3n64YMd

Sánchez, S. y Reinés, M. (2012). Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y forrajes, 24(*3), 2078-8452, 2012. Recuperado de https://bit.ly/3n3sWYv

SEMARNAT (Marzo de 2008). *La degradación de los suelos en México*. Recuperado de https://bit.ly/3DH6ATo

Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana (Septiembre de 2012). Ley de Gestión Ambiental. Recuperado de https://bit.ly/2Xp8ad6

Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana (10 de Septiembre de 2004). Ley de Prevención y Control de la Contaminacion Ambiental. Recuperado de https://bit.ly/3DH42EO

Soler, P., Berroterán, J., Gil, J. y Acosta, R. (2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas

de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical, 62*(1-4), 025-038. Recuperado de https://bit.ly/3phsI2R

Somarriba, E. (1999). Diversidad de Shannon. *Agroforestería en las Américas, 6*(23). Recuperado de https://bit.ly/3n2EiMl

Stivers, L. (Octubre de 2017). *Introducción a los suelos: La calidad de los suelos*. Recuperado de https://bit.ly/3pctPR6

Suárez, J., Duran, E. y Rosas, G. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agron.* (2015), 64(3), 214-220 Recuperado de https://bit.ly/2Z3ZHgb

Swift, M., Bignell, D., Moreira, F. y Huising, E. (2012). *El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general*. Recuperado de https://bit.ly/3jcHOCD

Torres, A. (2010). Introducción: La lombricultura. Recuperado de https://bit.ly/3AWOI5i

UCIPFG (2005). Índices biológicos, medición de la riqueza específica. Recuperado de https://bit.ly/3AWOQ4M

Universidad Internacional de Riego (3 de mayo de 2019). *La textura en los suelos agrícolas.* Recuperado de https://bit.ly/3aPB4pT

Ureta, D. (2019). *Relación de la macrofauna con las propiedades del suelo en diferentes sistemas de uso, Distrito Monzón, Provincia Huamalíes* (Tesis pregrado). Recuperado de https://bit.ly/3lVk1Js

Valladares, F., Peñuelas, J. y Calabuig, E. (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Recuperado de https://bit.ly/3jaLGEu

Velásquez, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador.* Recuperado de: https://bit.ly/3n1XCJx

Veloz, N. (2016). Determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelo en tres agroecosistemas de la comunidad de Naubug (Tesis pregrado). Recuperado de https://bit.ly/3jfI1oK

Villa, P., Martins, S., Delgado, L., Oliveira, S. y Mota, N. (2015). La agroforestería como estrategia para la recuperación y conservación de reservas de carbono en bosques de la Amazonía. *Bosque, 36*(3), 347-356. ISSN: 0304-8799. Recuperado de https://bit.ly/3n3YVrG

Zarco, V., Valdez, J., Ángeles, G. y Castillo, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia, 26*(1), 1-17. ISSN-e 0186-2979. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf

9. Anexos

9.1 Anexo 1. Figuras complementarias

Figura 9. Uso de suelo agrícola, cultivo de pitahaya
Vásquez, 2021

Figura 10. Uso de suelo para pastoreo
Vásquez, 2021

Figura 11. Herramientas de campo empleadas para la toma de muestras de suelo
Vásquez, 2021

Figura 12. Almacenamiento de las muestras de suelo en bolsas de papel
Vásquez, 2021

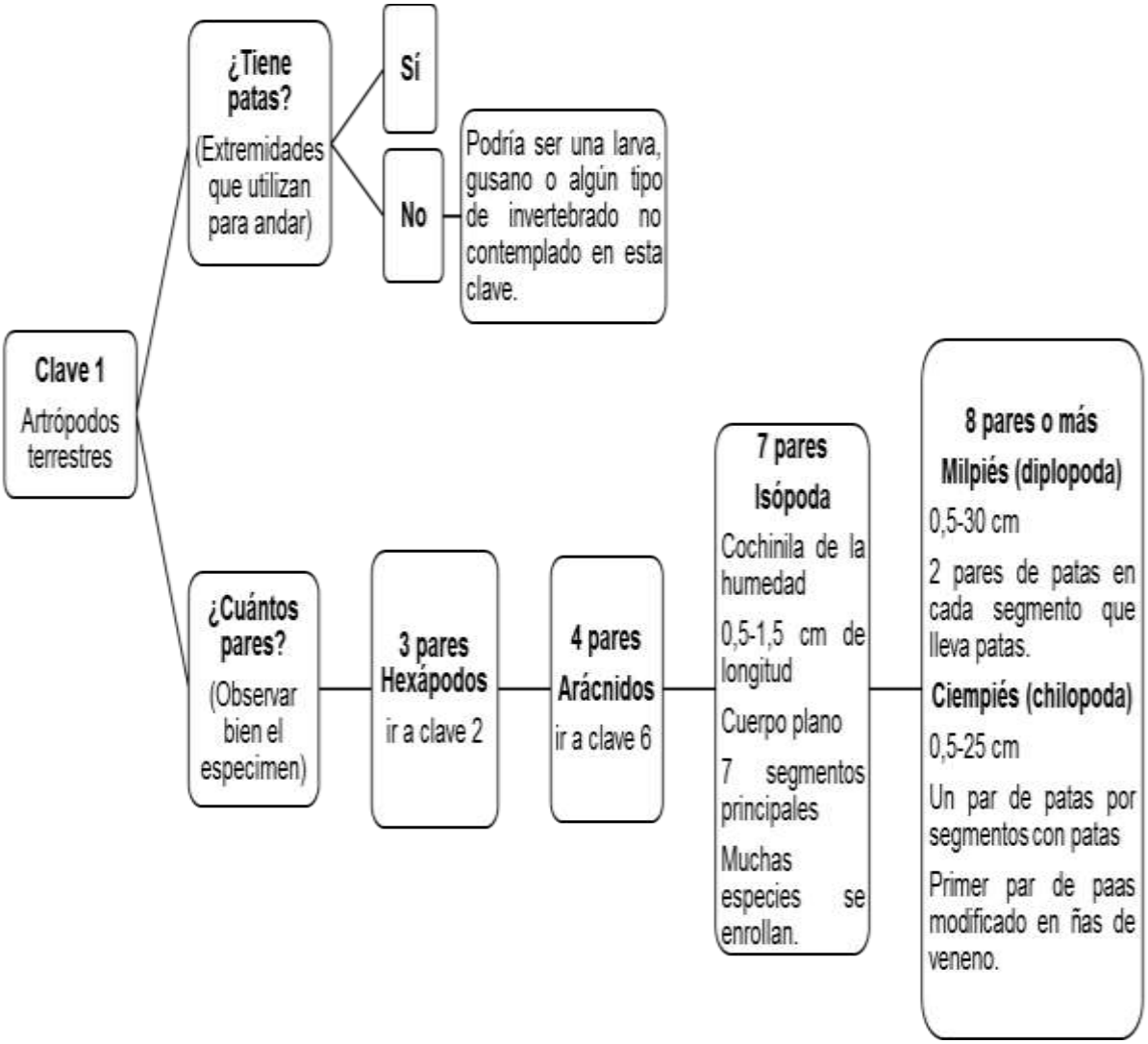

Figura 13. Claves de identificación para artrópodos
Hortas, 2002

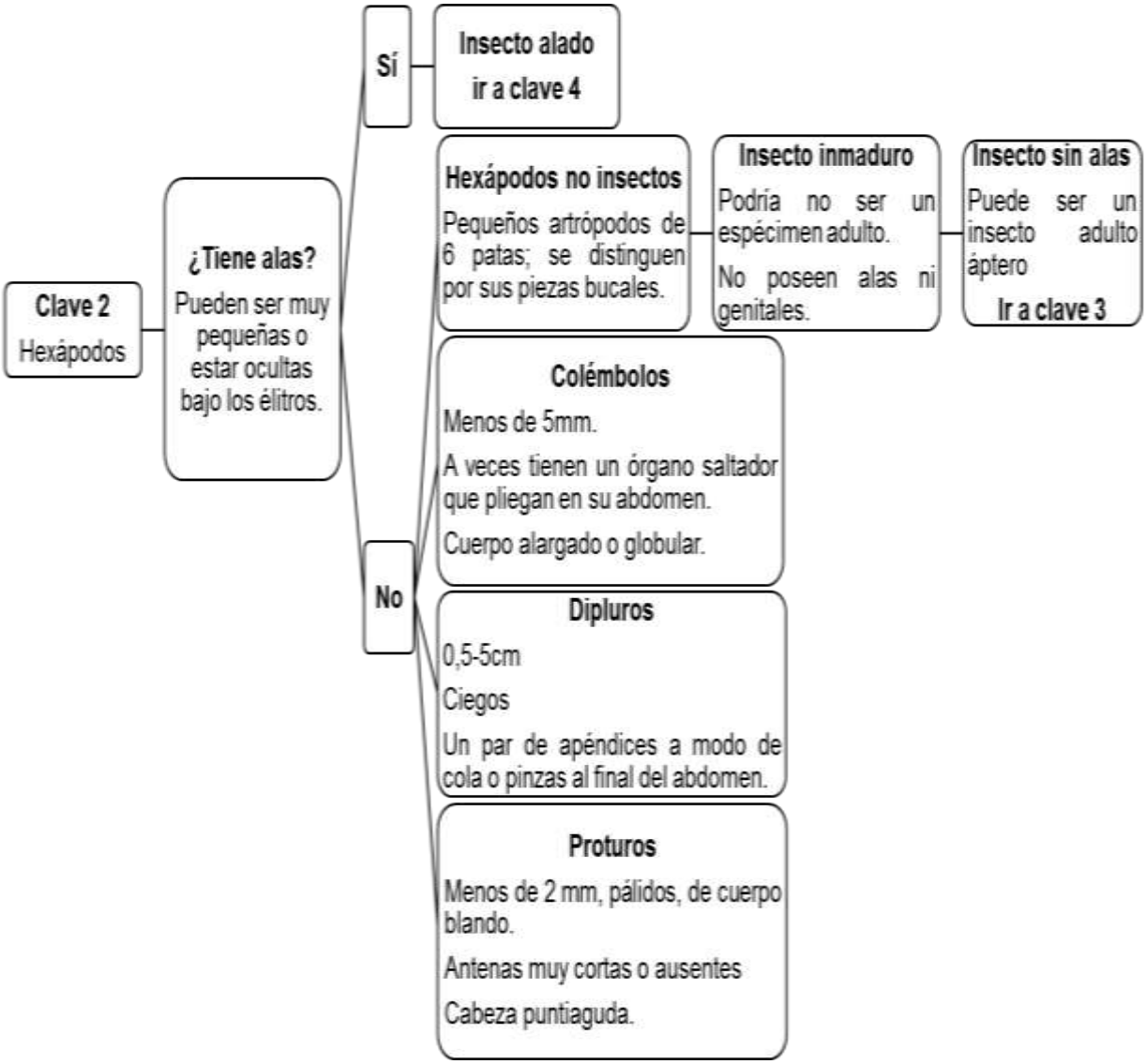

Figura 14. Claves de identificación para hexápodos
Hortas, 2002

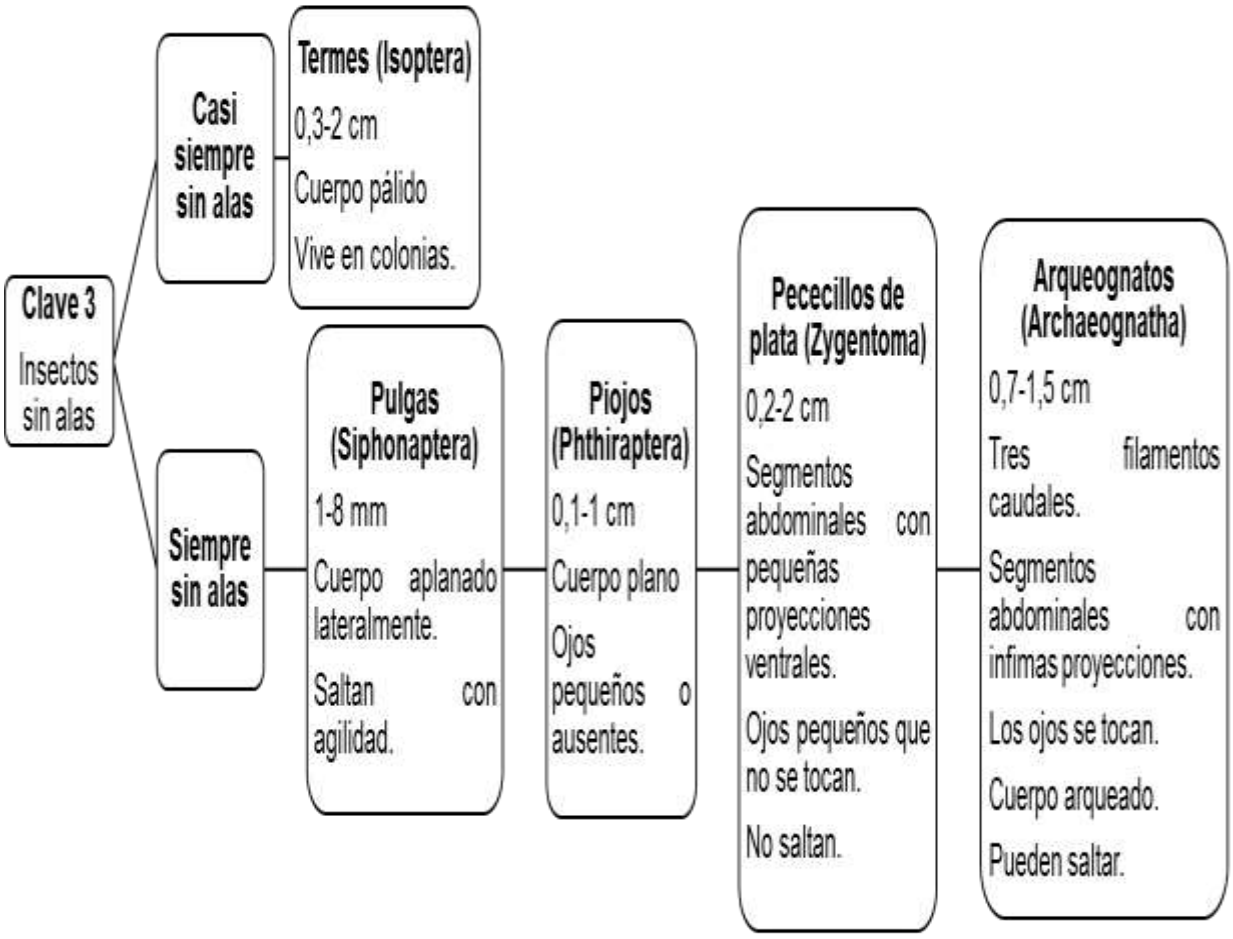

Figura 15. Claves de identificación para insectos sin alas
Hortas, 2002

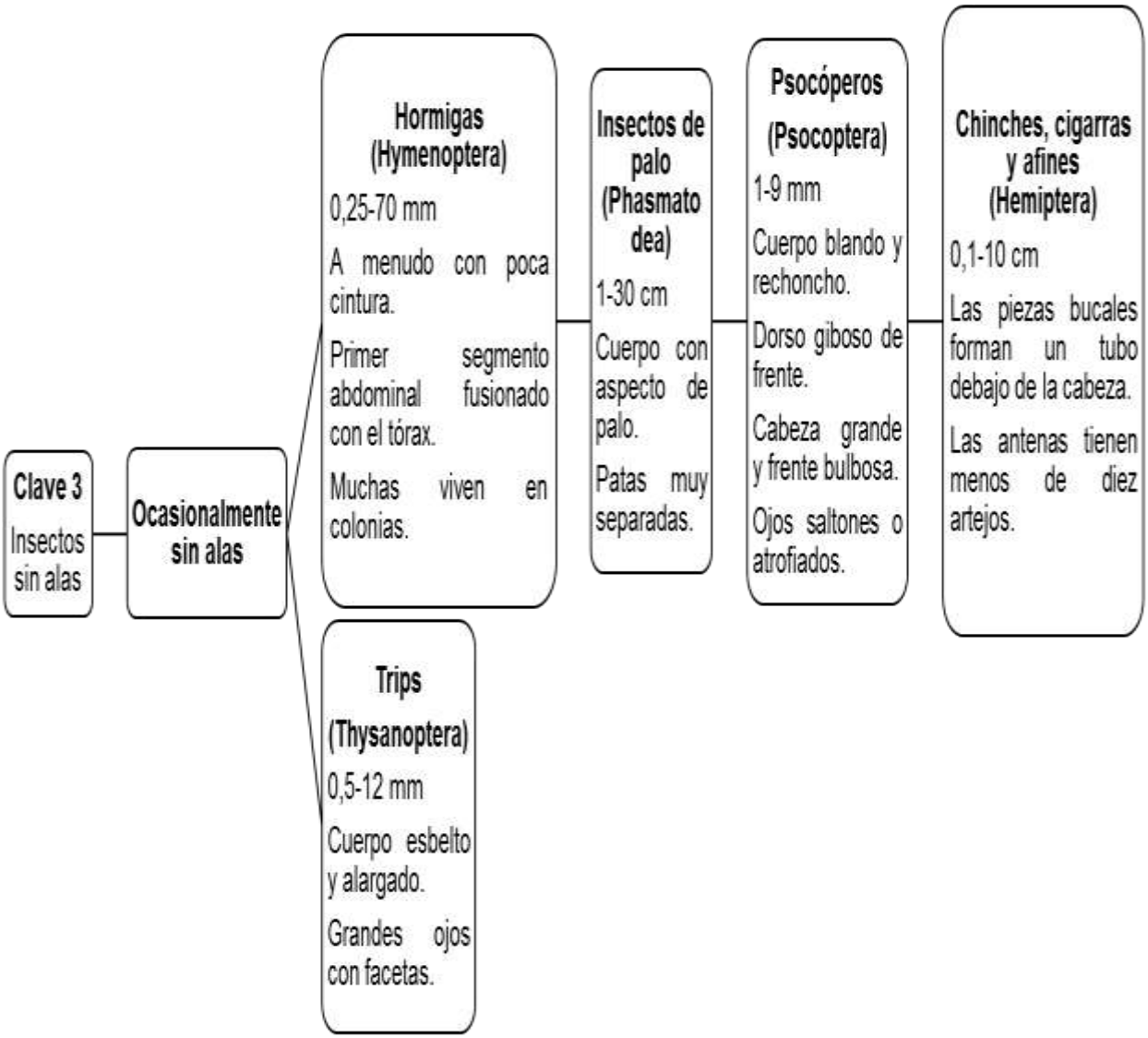

Figura 16. Claves de identificación para insectos ocasionalmente sin alas
Hortas, 2002

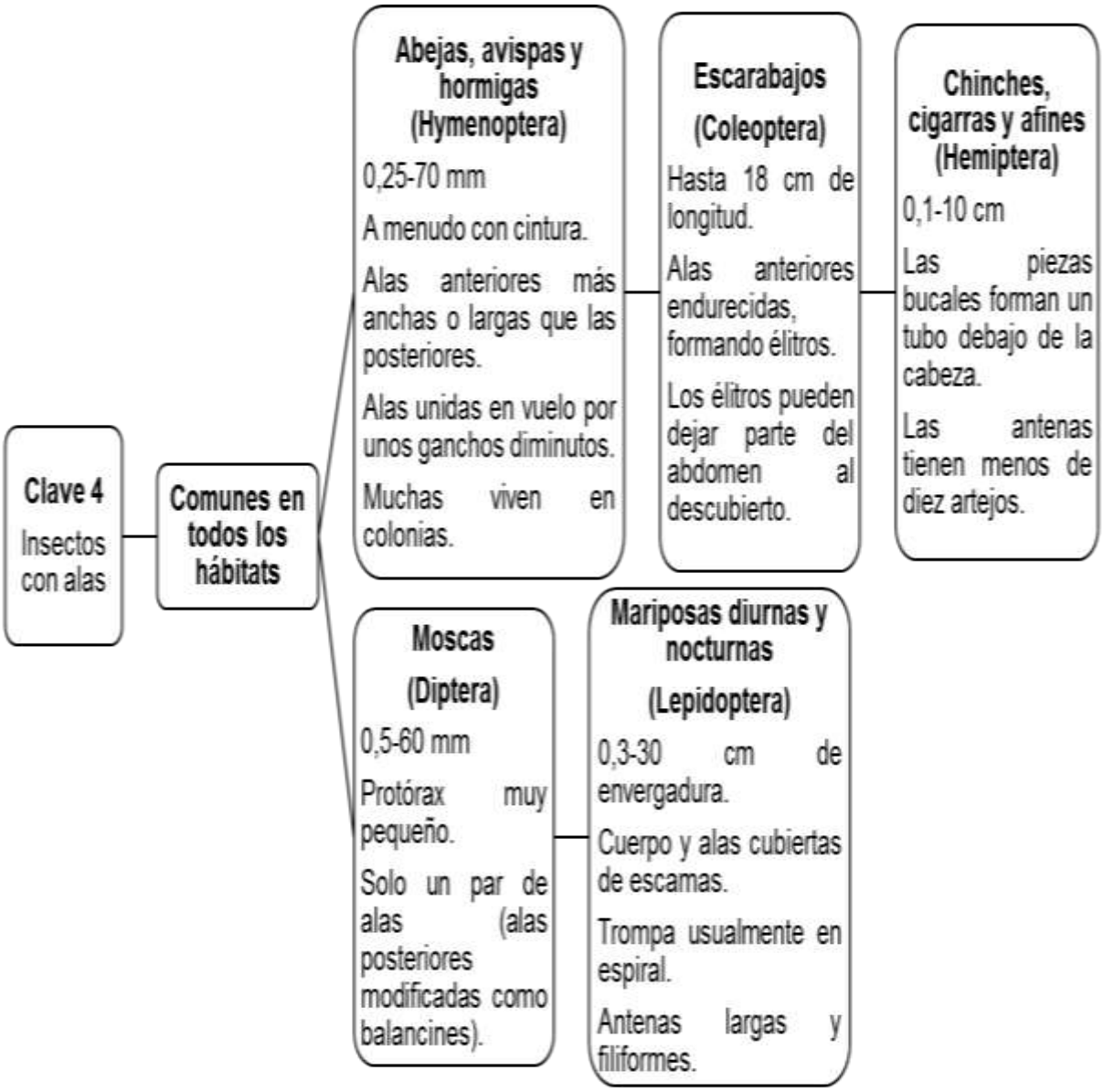

Figura 17. Claves de identificación para insectos con alas
Hortas, 2002

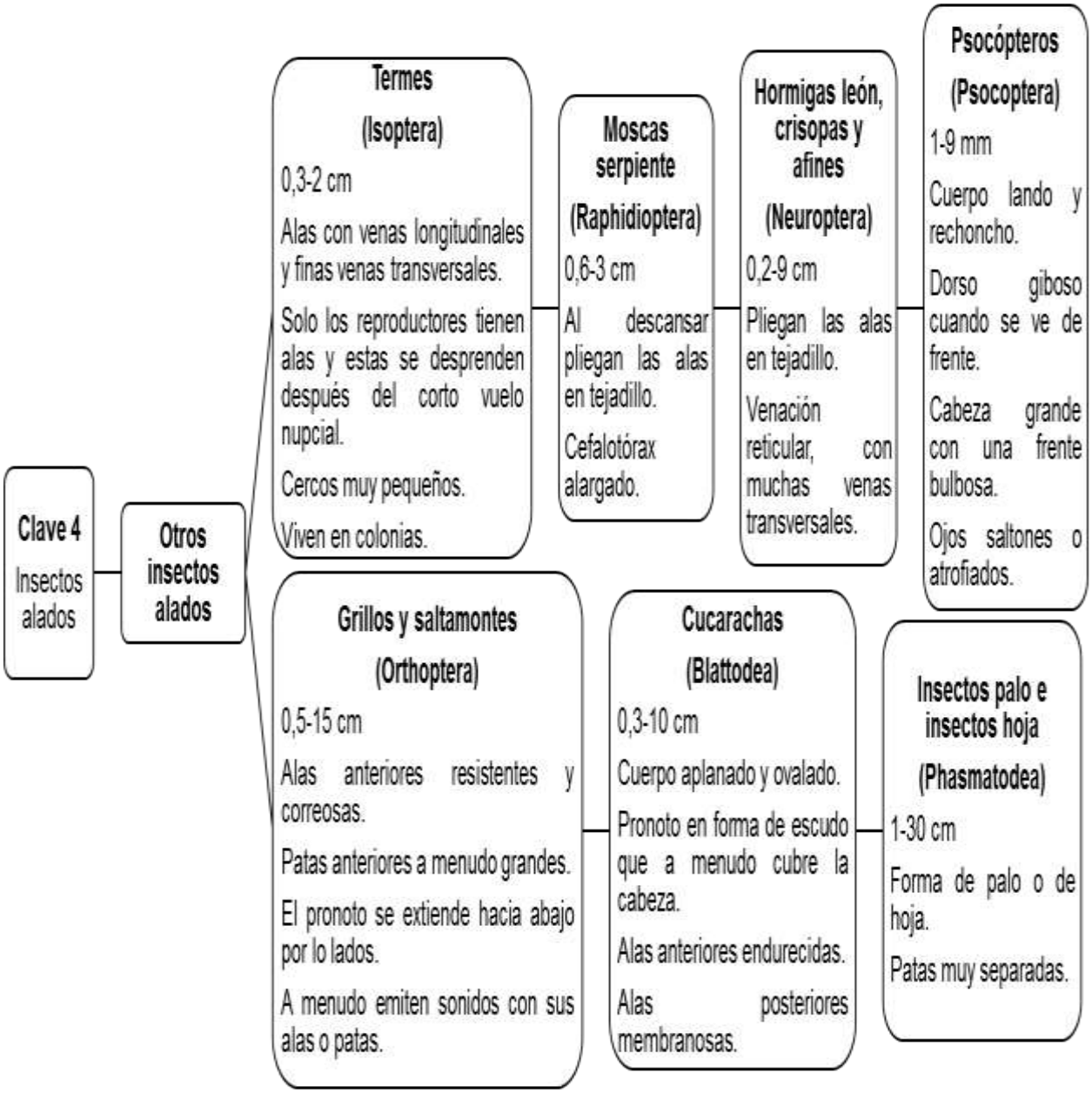

Figura 18. Claves para la identificación de otros insectos alados
Hortas, 2002

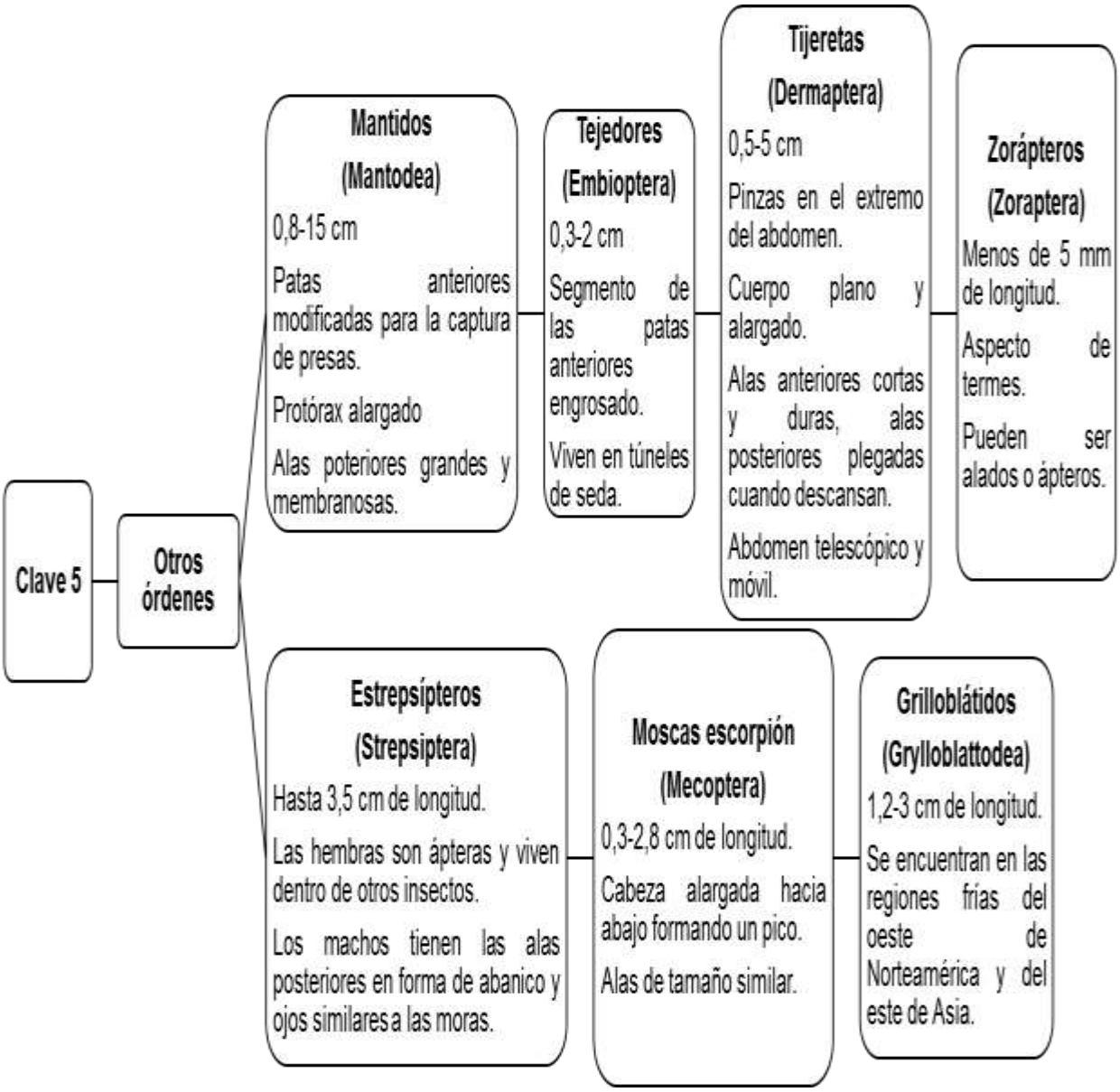

Figura 19. Claves para la identificación de otros órdenes
Hortas, 2002

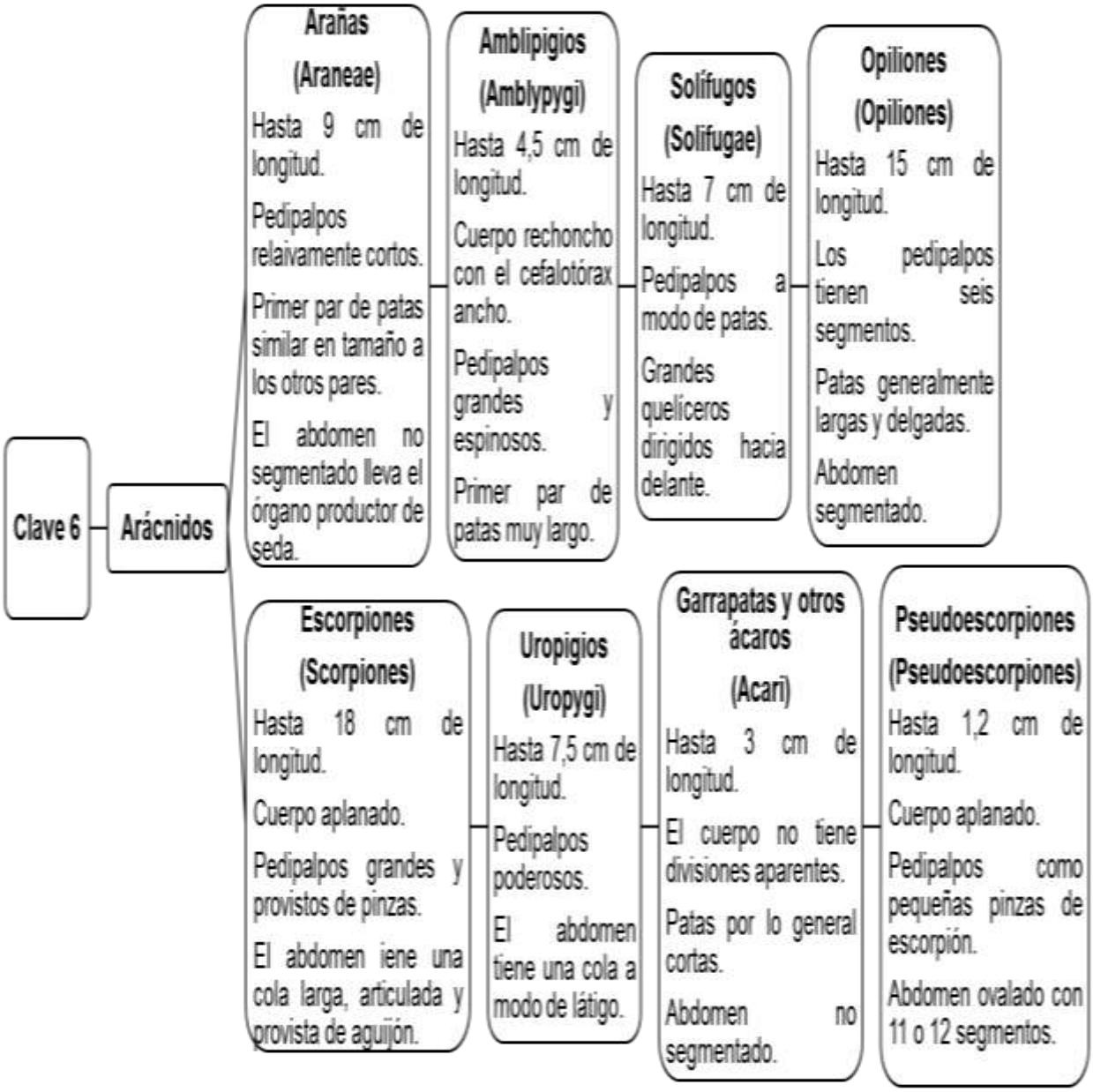

Figura 20. Claves para la identificación de arácnidos
Hortas, 2002

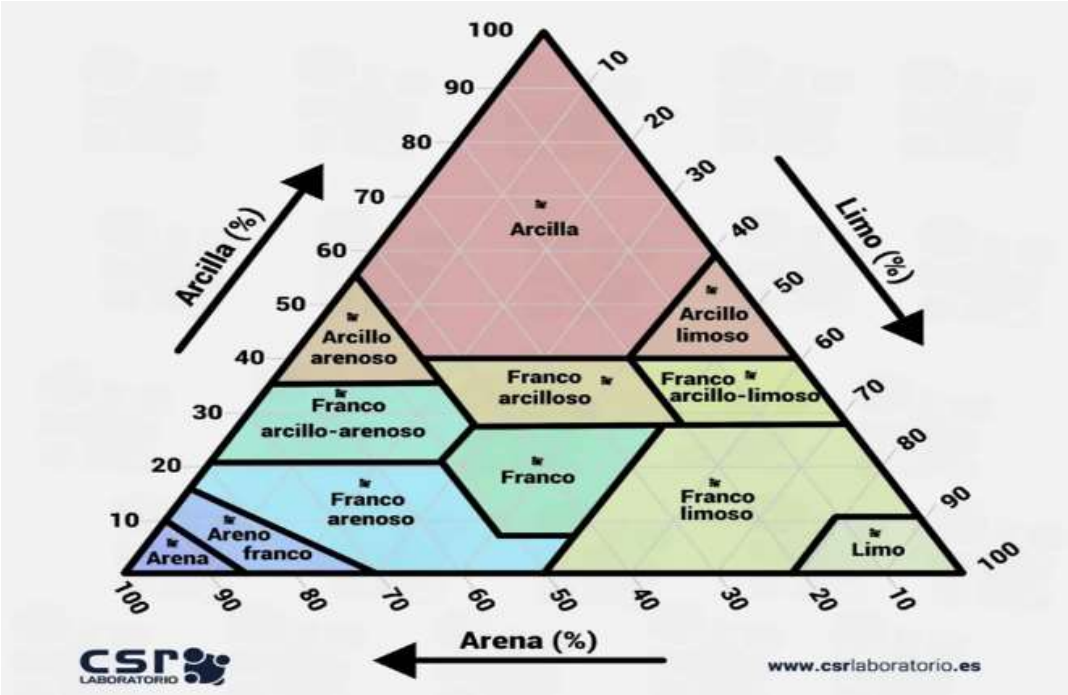

Figura 21. Triángulo textural según la clasificación de la USDA
Universidad Internacional de Riego, 2019

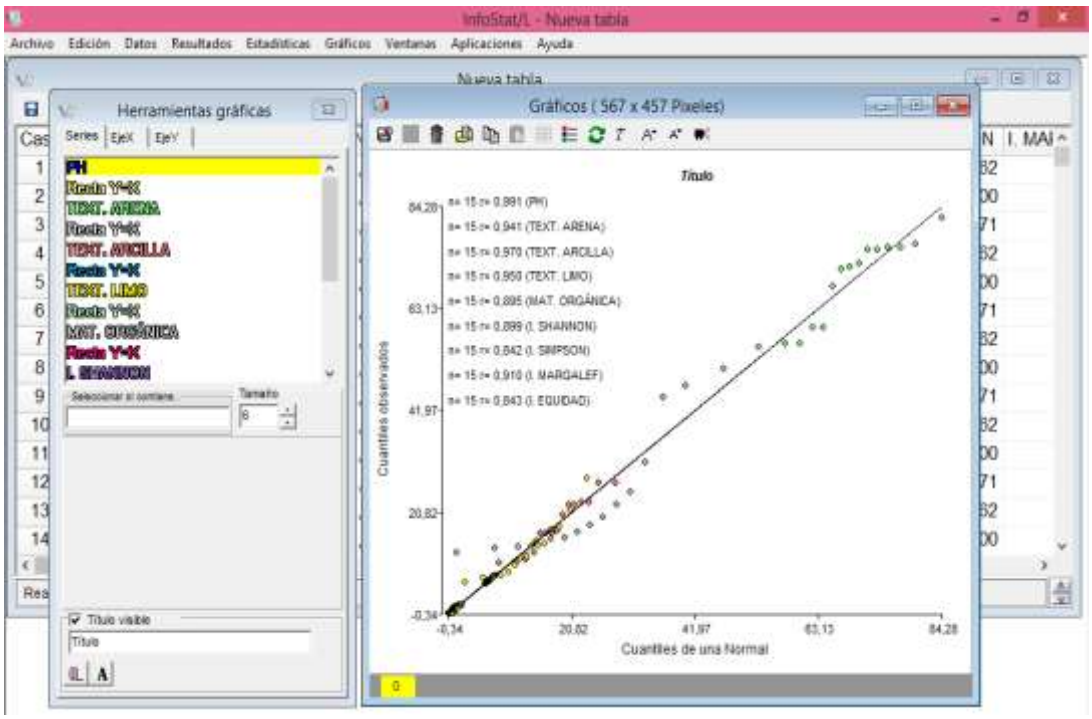

Figura 22. Test de normalidad (Q-Q Plot) en programa InfoStat/L
Vásquez, 2021

9.2 Anexo 2. Tabla complementaria

Tabla 27. Tabla general con los valores obtenidos de los parámetros químicos e índices de biodiversidad

Uso de suelo	pH	Text. arena	Text. arcilla	Text. limo	Mat. orgánica	I. Shannon	I. Simpson	I. Margalef	I. Equidad
Agrícola	6,08	67,8	22,4	9,8	13,36	1,028	0,6156	0,5539	0,9359
Pastoreo	7,03	55,8	27	17,2	12,5	0	0	0	0
Forestal	6,86	76,4	16,4	7,2	47,11	1,569	0,7135	1,297	0,8062
Agrícola	6,11	71,2	22,4	6,4	16,69	1,028	0,6156	0,5539	0,9359
Pastoreo	6,99	59,2	27	13,8	19,69	0	0	0	0
Forestal	7,19	75,8	10,4	13,8	50,64	1,569	0,7135	1,297	0,8062
Agrícola	6,48	71,8	20,4	7,8	22,44	1,028	0,6156	0,5539	0,9359
Pastoreo	7,56	59,2	23	17,8	14,9	0	0	0	0
Forestal	7,41	81,8	11	7,2	44,76	1,569	0,7135	1,297	0,8062
Agrícola	6,45	75,2	16,4	8,4	15,53	1,028	0,6156	0,5539	0,9359
Pastoreo	7,49	55,8	23	21,2	15,27	0	0	0	0
Forestal	6,80	72,4	16,4	11,2	31,08	1,569	0,7135	1,297	0,8062
Agrícola	6,60	75,8	12,4	11,8	13,69	1,028	0,6156	0,5539	0,9359
Pastoreo	7,80	55,2	17	27,8	18,14	0	0	0	0
Forestal	7,22	75,2	10,4	14,4	25,09	1,569	0,7135	1,297	0,8062

Vásquez, 2021