

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE *Atta* sp. Y *Armadillidium* sp. COMO
POTENCIALES BIOINDICADORES EN PROCESOS DE
RESTAURACIÓN DE SUELOS AMAZÓNICOS EN EL CIPCA”**

AUTOR:

EVELYN GISSELA CISNEROS FREIRE

TUTOR:

M.Sc. PEDRO DAMIAN RÍOS GUAYASAMÍN

PUYO-PASTAZA-ECUADOR

2019-2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quién suscribe, Cisneros Freire Evelyn Gissela portador de la cédula de identidad N° 1850064849, hago constar que soy el autor del proyecto de investigación con el título: **“EVALUACIÓN DE *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. COMO POTENCIALES BIOINDICADORES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE SUELOS AMAZÓNICOS EN EL CIPCA”**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo M.Sc. Ríos Guayasamín Pedro Damián en tal sentido se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo a la vez sedo los derechos a la Universidad Estatal Amazónica para que pueda realizar publicaciones sobre la misma, así como su almacenamiento tanto físico como electrónico.



Cisneros Freire Evelyn Gissela

1850064849



M.Sc. Ríos Guayasamín Pedro Damián

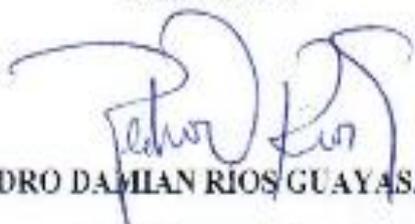
1716132590

Puyo, 06 de enero del 2020

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente yo RÍOS GUAYASAMÍN PEDRO DAMLIAN docente de la Universidad Estatal Amazónica y Tutor del proyecto de investigación: "**Evaluación de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. como potenciales bioindicadores en procesos de restauración de suelos amazónicos, en el CIPCA**", certifico que el mismo fue desarrollado en su totalidad tanto en la fase de Campo como la redacción final del documento por la egresada: **EVELYN GISSELA CISNEROS FREIRE** con CI: 1850064849, quien ha culminado con todas sus etapas cumpliendo un total de 400 horas.

Atentamente



PEDRO DAMLIAN RÍOS GUAYASAMÍN
DOCENTE TITULAR
CI: 1716132590



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 05-SAU-UEA-2020

Puyo, 06 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a la egresada CISNEROS FREIRE EVELYN GISSELA con C.I. 1850064849 con el Tema: "**Evaluación de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp., como potenciales bioindicadores en procesos de restauración de suelos amazónicos, en el CIPCA**", de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de proyecto M.Sc. Pedro Damián Ríos Guayasamín, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 06 de enero de 2020 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: "Evaluación de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. como potenciales bioindicadores en procesos de restauración de suelos Amazónicos en el CIPCA", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Para constancia firman:



Dra. Carolina Bañol
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



M.Sc. Edgar Chicaiza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



M.Sc. Xavier Carvajal
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios por brindarme salud para continuar firmemente en cumplir cada uno de mis objetivos, a mis padres por brindarme su apoyo moral para seguir adelante, a mi esposo quien ha sido el pilar fundamental y compañero de vida, al M.Sc. Pedro Ríos por ser más que un docente un amigo que me compartió sus conocimientos y me ayudó siempre a encontrar una solución a cualquier problema y por último y el más importante a mi hijo por ser mi motivo para seguir luchando ante cualquier adversidad que se presente. Siempre los llevaré presente y de todo corazón muchísimas gracias.

DEDICATORIA

Todo esfuerzo y sacrificio empleado en llevar a cabo este proyecto quiero dedicarlo con todo mi cariño a mi esposo Victor Carvajal quien me ha brindado el apoyo más importante, que es el moral para seguir adelante y por estar a mi lado en las buenas y en las malas.

A mi amado hijo David Carvajal por ser mi inspiración para continuar en este proceso de vida y así tener un futuro mejor.

A mis queridos padres y herman@s por apoyarme con palabra de aliento para levantarme en momentos difíciles y cumplir cada uno de mis objetivos.

A mi apreciada Universidad Estatal Amazónica que me ha permitido adquirir nuevos conocimientos no solo académicos sino también personales y especialmente por permitir que me convierta en una persona profesional.

RESUMEN

La siguiente investigación se realizó en la Provincia de Pastaza, en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica específicamente en los laboratorios de Ecología tropical, natural y aplicada (LETNA) y en el laboratorio de estudios Ambientales. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp., como potenciales bioindicadores en procesos de restauración de suelos amazónicos. El estudio se centró en la evaluación de cuatro diferentes valores de pH (0, +1, +2, +3), cuatro diferentes niveles de Biochar (0, 5T/ha, 10 T/ha, 20T/ha), cuatro diferentes dosis de Sulfato de magnesio y de Roca fosfórica (control, dosis baja, dosis media, dosis alta). En la investigación se aplicó la metodología de microcosmos, que permite observar cuál es el comportamiento de las poblaciones al manipular los recursos que existen en el microcosmos. Para el análisis de datos se utilizó el software RStudio, que dio como resultados: frente al pH la especie que mostró preferencia significativa fue *Armadillidium* sp. (0,0011). En el biochar, la especie *Atta* sp. tiene una preferencia significativa por el tratamiento sin adición de biochar (0,00031). Frente al sulfato de magnesio presenta una tendencia por la dosis media por parte de la especie *Atta* sp. (0,089). Finalmente, frente al ensayo con roca fosfórica las dos especies muestran preferencia por el tratamiento control (0,00108). Según el análisis realizado la especie *Armadillidium* sp. muestra resultados importantes y por esta razón se puede utilizar como un potencial bioindicador de calidad de suelo.

Palabras clave: Macrofauna edáfica, sustancias químicas, microcosmos, sustrato.

ABSTRACT

This research was done in the Pastaza Province inside the Center of Research, Graduate Studies and Amazon Conservation (CIPCA), that is part of Universidad Estatal Amazónica. at the Natural and Applied Tropical Ecology Laboratory (LETNA) and the laboratory of Environmental Studies. The study aimed to evaluate *Atta* sp. and *Armadillidium* sp. Behaviour as potential bioindicators of soil restoration processes, in the Amazon. To evaluate that, the species were subject to: increasing pH (0, +1, +2, +3) conditions, increasing biochar (0, 5T/ha, 10 T/ha, 20T/ha) levels, and increasing dosages of magnesium sulphate and phosphoric rock (control, low, medium, high). Microcosms were used to assess the population behaviour of the above mentioned species. RStudio was used for statistical analyses. The main results showed that *Armadillidium* sp. Prefers higher pH conditions ($p=0,0011$). In the biochar, the species *Atta* sp. has a significant preference for the treatment without adding biochar ($p=0.00031$). *Atta* sp. showed a tendency to prefer medium concentrations of magnesium sulphate ($p=0,089$). Finally, *Atta* sp. ($p=0,00108$) and *Armadillidium* sp. ($p=0,00108$) showed preference for the without dosage of phosphoric rock. According to the analysis performed the species *Armadillidium* sp. He had important results to the treatments and for this reason it can be used as bioindicator potential a soil quality.

Keywords: Edaphic macrofauna, chemical substances, microcosm, substratum.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	6
1 INTRODUCCIÓN	6
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.2 JUSTIFICACIÓN	7
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPÍTULO II	9
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.1 ANTECEDENTES	9
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 MACROFAUNA EDÁFICA Y SU FUNCIÓN EN LOS ECOSISTEMAS. --	10
2.2.2 CALIDAD DEL SUELO E INDICADORES.....	10
2.2.2.1 PARÁMETRO BIOLÓGICO EFICAZ COMO BIOINDICADOR DE CALIDAD DE SUELO.....	11
2.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL GÉNERO <i>Atta</i>	11
2.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL GÉNERO <i>Armadillidium</i>	12
2.2.5 BIOCHAR NATURALEZA, HISTORIA, USO EN EL SUELO Y FABRICACIÓN.....	14
2.2.6 IMPORTANCIA DEL USO DE SULFATO DE MAGNESIO COMO FERTILIZANTE DE SUELOS.....	14
2.2.7 VENTAJAS DEL USO DE ROCA FOSFÓRICA COMO FERTILIZANTE DE SUELOS.....	15
2.2.8 ELABORACIÓN DE MICROCOSMOS Y SU IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA.....	15
CAPÍTULO III	16
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	16
3.1 LOCALIZACIÓN.....	16
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	17
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	18
3.4.1 FASE DE CAMPO.....	18
3.4.2 FASE DE LABORATORIO.....	18
3.4.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	21

CAPÍTULO IV	22
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES <i>Atta</i> sp. y <i>Armadillidium</i> sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES NIVELES DE pH (0, +1, +2, +3).....	22
4.1.1 Análisis de preferencia de pH de la especie <i>Atta</i> sp.....	22
4.1.2 Análisis de preferencia de pH de la especie <i>Armadillidium</i> sp.....	24
4.1.3 Análisis de pH del suelo después de añadir cal agrícola.....	25
4.2 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES <i>Atta</i> sp. y <i>Armadillidium</i> sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES NIVELES DE BIOCHAR (0 T/ha, 5T/ha, 10 T/ha, 20T/ha).	25
4.2.1 Análisis de preferencia de biochar de la especie <i>Atta</i> sp.....	25
4.2.2 Análisis de preferencia de biochar de la especie <i>Armadillidium</i> sp.....	27
4.2.3 Análisis de pH del suelo después de añadir biochar.....	28
4.3 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES <i>Atta</i> sp. y <i>Armadillidium</i> sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES DOSIS DE SULFATO DE MAGNESIO (Control, dosis baja, dosis media y dosis alta).....	29
4.3.1 Análisis de preferencia de Sulfato de magnesio de la especie <i>Atta</i> sp.....	29
4.3.2 Análisis de preferencia de sulfato de magnesio de la especie <i>Armadillidium</i> sp.	30
4.3.3 Análisis de pH del suelo después de añadir sulfato de magnesio.....	31
4.4 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES <i>Atta</i> sp. y <i>Armadillidium</i> sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES DOSIS DE ROCA FOSFÓRICA (Control, dosis baja, dosis media y dosis alta).....	32
4.4.1 Análisis de preferencia de roca fosfórica de la especie <i>Atta</i> sp y <i>Armadillidium</i> sp.	32
4.4.2 Análisis de pH del suelo después de añadir roca fosfórica.....	34
CAPÍTULO V	35
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
5.1 CONCLUSIONES.....	35
5.2 RECOMENDACIONES.....	35
CAPÍTULO VI	37
6 BIBLIOGRAFÍA.....	37
CAPÍTULO VII	42
7 ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio	16
Figura 2. Porcentaje de presencia de la especie <i>Atta</i> sp. en ensayos de adición de pH.....	23
Figura 3. Porcentaje de presencia de la especie <i>Armadillidium</i> sp. en ensayos de adición de pH.	24
Figura 4. Porcentaje de presencia de la especie <i>Atta</i> sp. en ensayos de adición de biochar.	26
Figura 5. Porcentaje de presencia de la especie <i>Armadillidium</i> sp. en ensayos de adición de biochar.	27
Figura 6. Porcentaje de presencia de la especie <i>Atta</i> sp. en ensayos de adición de MgSO ₄	30
Figura 7. Porcentaje de presencia de la especie <i>Armadillidium</i> sp. en ensayos de adición de MgSO ₄	31
Figura 8. Porcentaje de presencia de la especie <i>Atta</i> sp. en ensayos de adición de Roca fosfórica.	33
Figura 9. Porcentaje de presencia de la especie <i>Armadillidium</i> sp. en ensayos de adición de roca fosfórica.	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Atta</i> sp. en base a la incorporación de cal agrícola en microcosmos.....	22
Tabla 2. Modelo para determinar significancia de <i>Atta</i> sp en base al nivel de pH alcanzado por el suelo después de realizado el test de incrementos progresivos de cal agrícola.....	23
Tabla 3. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Armadillidium</i> sp. en base a la incorporación de cal agrícola en microcosmos.....	24
Tabla 4. Modelo para determinar significancia de <i>Armadillidium</i> sp. en base al nivel de pH alcanzado por el suelo después de realizado el test de incrementos progresivos de cal agrícola.	24
Tabla 5. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Atta</i> sp. en base a la incorporación de biochar en microcosmos.	26
Tabla 6. Modelo para determinar significancia de <i>Atta</i> sp. en base al nivel de biochar alcanzado en el suelo.	26
Tabla 7. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Armadillidium</i> sp. en base a la incorporación de biochar en microcosmos.	27

Tabla 8. Modelo para determinar significancia de <i>Armadillidium</i> sp. en base al nivel de biochar alcanzado en el suelo.	27
Tabla 9. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Atta</i> sp. en base a la incorporación de Sulfato de magnesio en microcosmos.	29
Tabla 10. Modelo para determinar significancia de <i>Atta</i> sp. en base al MgSO ₄ alcanzado en el suelo.	29
Tabla 11. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Armadillidium</i> sp. en base a la incorporación de Sulfato de magnesio en microcosmos.	30
Tabla 12. Modelo para determinar significancia de <i>Armadillidium</i> sp. en base al MgSO ₄ alcanzado en el suelo.	30
Tabla 13. Análisis de mediana, media y desviación estándar de <i>Atta</i> sp. y <i>Armadillidium</i> sp. en base a la incorporación de roca fosfórica en microcosmos.	32
Tabla 14. Modelo para determinar significancia de <i>Atta</i> sp. y <i>Armadillidium</i> sp en base a la dosis de roca fosfórica alcanzada en el suelo.	32

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso indispensable para que se desarrolle la vida; sin embargo, éste va sufriendo modificaciones a través de los años de acuerdo a la intensidad con la que se explota o al propósito para el que se lo emplee; algunos territorios son modificados para ser utilizados con fines agropecuarios o para construir viviendas y otros territorios no son intervenidos por las condiciones inaccesibles que presentan debido a su topografía (Caciano, González, Ramírez, & Ávalos, 2015). Las diferentes modificaciones que se presenten en el suelo ya sea en sus propiedades físicas, químicas y biológicas son identificadas a simple vista, en el laboratorio o con ayuda de organismos vivos. Por ejemplo, la reducción del tamaño de las partículas producidas principalmente por efectos ambientales como lluvia, deshielo, sol intenso, entre otros, nos muestra el cambio físico de sus partículas; mientras que los cambios químicos se detectan por la separación de las partículas minerales de las rocas por acción del agua, oxígeno, dióxido de carbono y compuestos orgánicos. Finalmente, los cambios biológicos son identificados por organismos que habitan en el suelo como es la flora, macrofauna (invertebrados), mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos, moluscos), microfauna (protozoos y algunos nematodos) y microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas) (García, 2012)

La macrofauna edáfica se ha considerado entre uno de los principales indicadores de la calidad del suelo, invertebrados mayores a 2mm de diámetro, se puede considerar a los transformadores de las propiedades del suelo, como: lombrices de tierra (subclase *Oligochaeta*), termitas (infraorden *Isoptera*) y hormigas (*Formicidae*). Entre los principales macroinvertebrados que intervienen en la trituración de restos vegetales se encuentran representantes del orden Coleóptera, Diplopoda, Isópoda, Gastropoda, y como depredadores: Araneae, y Chilopoda (Cabrera, 2012). Las hormigas son utilizadas como bioindicadoras en ambientes terrestres por su amplia distribución geográfica, alta diversidad, facilidad de muestreo e importancia en todos los niveles tróficos (Arcila & Lozano-Zambrano, 2003). El orden isópoda (terrestres) son individuos de gran importancia como bioindicadores, debido a que ayudan a recircular los nutrientes y mantener el flujo de energía; además se pueden encontrar en ambientes contaminados ya que pueden almacenar grandes cantidades de metales pesados como plomo, cadmio y zinc en sus tejidos; por esta razón son utilizados como bioindicadores (Zapata, 2017).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La degradación del suelo es un problema que cada vez va creciendo debido a las diferentes actividades agrícolas, así como el uso de diferentes productos químicos para controlar plagas y especies de flora invasoras, esto se ha convertido en una actividad cotidiana para los agricultores. Esta actividad ha provocado que se pierdan minerales necesarios para el desarrollo de plantas, provocando que la fauna existente en el lugar desaparezca o migre. Esta degradación se ha notado en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) principalmente en la parcela baja ubicada en las coordenadas (18M 177298,00 N y 9862232,58 E). Por esta razón es importantes utilizar invertebrados como alternativa de evaluación de calidad de suelo (*Atta* sp. y *Armadillidium* sp.) y comprobar su potencial en microcosmos, para así establecer que especie es más tolerante a los cambios de la composición química del suelo y su potencial como indicadores biológicos en el proceso de restauración de suelos amazónicos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los cambios en el uso y manejo del suelo provocados por las actividades humanas como deforestación, labranza excesiva, incendios son los principales factores que atentan contra la sostenibilidad del suelo y promueven el descenso de la materia orgánica, estos problemas pueden acelerar la emisión de CO₂ que es el principal gas de efecto invernadero. En países más desarrollados el uso de energía es más intensivo por la práctica de monocultivo a gran escala, así como el uso de grandes cantidades de fertilizantes químicos y pesticidas; esto ha conducido a un mayor crecimiento en problemas de contaminación del suelo y de aguas superficiales y subterráneas (Caciano et al., 2015). La degradación del suelo se debe al mal manejo de los sistemas productivos; debido a la alteración de los diversos procesos biológicos realizados por la biota edáfica (Abril, 2003).

Las diferentes actividades humanas han provocado que afecten a organismo vivos que son importantes para el ambiente, entre ellos se puede encontrar los invertebrados del suelo; por esta razón que son excelentes candidatos para estudiar cómo la actividad humana impacta el medio ambiente (Santorufu, Van Gestel, Rocco, & Maisto, 2012). Existen diferentes especies de invertebrados que pueden ser utilizados como bioindicadores de calidad del suelo, ya sea por su distribución geográfica, funciones y alta diversidad (Pacheco, 2017). Los bioindicadores reflejan el estado del medio ambiente, como pueden ser los indicadores

ambientales que detectan cualquier cambio en el entorno local, indicadores ecológicos utilizados para monitorear un estrés específico del ecosistema, e indicadores de biodiversidad que muestran los niveles de diversidad taxonómica en un área; estos grupos funcionales pueden actuar específicamente sobre un medio en particular o combinarse en un bioindicador sistema, el utilizar invertebrados como bioindicadores reflejan con mayor precisión la riqueza de especies y la estructura de la comunidad a diferencia de los vertebrados, debido a que son más diversos y abundantes (Gerlach, Samways, & Pryke, 2013). Es por esta razón importante tener bioindicadores locales que permitan detectar cualquier cambio que se produzca en el entorno para que las personas que dependan de este sustrato se beneficien, cabe recalcar que en esta investigación el término bioindicador hace referencia a la tolerancia que tienen las especies (*Atta* sp. y *Armadillidium* sp.) a los cambios en la composición química del suelo expuestos en microcosmos.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. será más tolerante a los cambios en los parámetros químicos como pH, sulfato de magnesio, roca fosfórica y carbón vegetal biochar, en microcosmos; bajo condiciones de laboratorio?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el comportamiento de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp., como potenciales bioindicadores en procesos de restauración de suelos amazónicos, en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA)

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la tolerancia de las especies *Atta* sp., *Armadillidium* sp. a los cambios de pH, biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica en el suelo, en los microcosmos.
- Establecer los beneficios de utilizar la especie más tolerante a los cambios físicos y químicos, como potencial bioindicador de calidad de suelo.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

El Ecuador está constituido por una variedad climas a distancias cortas y por suelos volcánicos aptos para el uso agrícola, pero a través del tiempo ha sufrido modificaciones tanto físicas como químicas por el uso irracional de este recurso y por factores externos como: precipitaciones, vientos, topografía del lugar y tipo de cobertura vegetal; el cuál ha provocado la erosión del suelo, el mismo que en datos numéricos realizado por el Ministerio de agricultura y ganadería (MAG) y ORSTOM la erosión representa el 50% de la superficie; al desglosar este dato numérico, el 15% representa las tierras degradadas en el callejón interandino a una altura de 1500-3000 m, mientras que el 35% representa en las tierras bajas y flancos exteriores de la Cordillera de los Andes y en las regiones Costera y Amazónica (De Noni & Trujillo, 1986). Estudios revelan que los bioindicadores ayudan a conocer los impactos que generan las actividades agrícolas en el suelo, como es la erosión, pérdida de la capa fértil del suelo, compactación, inundaciones, deslizamiento de suelo, entre otros; esto quiere decir que mientras mayor número de macrofauna edáfica y microorganismos mejor es la calidad del suelo (Yanez, Pomboza-Tamaquiza, Valle-Velastegui, Villacis, & Frutos, 2018).

En el Ecuador se han realizado diferentes investigaciones sobre el uso de bioindicadores uno de estos estudios es “*Evaluación de los bioindicadores de calidad del suelo en tres zonas altitudinales de Tungurahua, Ecuador*”, que dio como resultado que en las zonas altas de 3200 a 3400 m.s.n.m con pastizales son suelos de mejor calidad, mientras que las zonas bajas por su uso irracional para la agricultura son suelos de baja calidad (Yanez et al., 2018). Otro estudio “*Determinación de la macrofauna edáfica en 4 ecosistemas provincia Bolívar, Ecuador*” dio como resultado que el mayor número de individuos por m² se encuentra en un ecosistema de bosque natural que representa el 51,49% este resultado es debido a que no se encuentra intervenido por el hombre; mientras que el suelo destinado para uso agrícola como es el cultivo de papa dio como resultado el 4,82% esto es debido a que el cultivo provoca la alteración del hábitat de los organismos (Bañera, 2008).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 MACROFAUNA EDÁFICA Y SU FUNCIÓN EN LOS ECOSISTEMAS.

La macrofauna edáfica está constituida por organismos visibles al ojo humano (>2mm de diámetro y una longitud igual o mayor a los 10 mm) se los puede encontrar total o parcialmente dentro del suelo o sobre de él, entre los más importantes se puede considerar: lombrices de tierra, termitas, hormigas, milpiés, cochinillas, arañas, ciempiés, etc. Son importantes en el ambiente por las diferentes funciones que realizan como; reciclaje de nutrientes, descomposición de la materia orgánica y conservación de la estructura del suelo (Lema Veloz, 2016). Además, la macrofauna edáfica se puede utilizar como un indicador biológico de calidad o fertilidad del suelo, debido a su función ecológica y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo, esto permite que sean fácilmente manipulados en el campo y someterlos a estudios en laboratorios para así determinar el estado en que se encuentra el suelo en el que habitan (Ortega Hernández, 2019).

2.2.2 CALIDAD DEL SUELO E INDICADORES.

El concepto de calidad del suelo debe ser interpretado como el aprovechamiento del suelo para un propósito específico en una sucesión amplia de tiempo, el suelo de buena calidad permite maximizar la productividad y minimizar la degradación del suelo; la buena calidad incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Existen variables que permiten evaluar la condición del suelo, a estas variables se las denomina indicadores que pueden ser físicos, químicos y biológicos; entre los principales indicadores físicos de la calidad del suelo encontramos: textura, profundidad del suelo infiltración, densidad aparente, capacidad de retención de agua, indicadores químicos son: materia orgánica (nitrógeno y carbono total), pH, conductividad eléctrica, fósforo, nitrógeno y potasio, mientras que entre los indicadores biológicos están: carbono y nitrógeno de biomasa microbiana, respiración, contenido de humedad, temperatura; estos indicadores deberían permitir: analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible, analizar los posibles impactos antes de una intervención monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas, ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible (Cruz & Barra, 2016).

2.2.2.1 PARÁMETRO BIOLÓGICO EFICAZ COMO BIOINDICADOR DE CALIDAD DE SUELO.

La calidad del suelo depende del buen funcionamiento de todos sus componentes y la degradación o la restauración podrían ser evaluadas por medio del análisis de sus propiedades físicas, químicas o biológicas, en preferencia de las propiedades que respondan a los cambios en el manejo; para detectar cambios en la calidad del suelo se necesita de varios años entre 5 y 10 años, pero la mineralización de la materia orgánica del suelo es controlada por el tamaño y la actividad de la biomasa microbiana con esto se puede obtener resultados de disturbio en menor tiempo; los parámetros biológicos y biogeoquímicos tienen a reaccionar de manera más rápida debido a los cambios producidos por el manejo del suelo y es muy útil saber la calidad edáfica, incluso antes de los parámetros físicos y químicos (Ferrerías et al., 2016). La utilización de comunidades de hormigas permite identificar la etapa sucesional y la condición ecológica de la restauración; la comunidad de hormigas indica si la trayectoria de restauración está convergiendo en la madurez o siguiendo caminos alternativos (Lawes, Moore, Andersen, Preece, & Franklin, 2017)

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL GÉNERO *Atta*.

Fabrícus describió el género *Atta* en 1804 para especies de hormigas americanas que Linneo en 1758 estableció los epítetos *sexdens* y *cephalotes* en su género *Formica*; ya para el año 1804 se estableció como *Atta sexdens* y *Atta cephalotes* (Daguerré, 1945). Dentro de las hormigas cortadoras o género *Atta* se puede considerar 12 géneros existentes en la tribu *Attini*, los géneros *Atta* con 15 especies y *Acromyrmex* con 24 especies; estas especies son consideradas como plagas por su capacidad de defoliación principalmente en América subtropical y tropical, entre las principales modificaciones físicas se las puede considerar por la construcción de túneles y por el transporte de partículas de un horizonte a otro por las hormigas esto ocasiona el aumento de la porosidad de los perfiles, disminución de la densidad del suelo, modificación en la composición granulométrica, mayor infiltración del agua, mayor contenido de humedad, regulación del pH y temperatura del nido y entre las principales modificaciones químicas se generan como consecuencia de la acumulación de materia orgánica y los procesos de descomposición; dentro de este proceso se da la acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio; pero este proceso es muy importante debido a que aumenta los nutrientes en determinados horizontes del suelo y esto queda disponible para las raíces profundas de los árboles (A. G. F. Brener, 2016)

La especie *Atta cephalotes* u hormiga cortadora de hojas es reconocida por el hábito cortar y transportar a sus nidos fragmentos vegetales que se usa como sustrato para el cultivo del hongo (*Leucoagaricus gongylophorus*), este proceso es una relación simbiótica (Guerrero, 2017). La preferencia de forrajeo no es de especies de árboles que se encuentren cerca del nido o especies que sean de fácil acceso sino que buscan árboles con hojas más jóvenes, debido a que son efectivas para el cultivo del hongo (Pacheco, 2017). Como el hongo simbionte es el alimento de las larvas de hormigas cortadoras las hojas que son llevadas al nido deben poseer características específicas, por lo que deben escoger follaje rico en agua, nitrógeno y fósforo pero bajo en fibra y manganeso debido a que este elemento interfiere con la actividad metabólica del hongo simbionte (Rodríguez, Calle, & Montoya-Lerma, 2015).

La especie *Atta sexdens* o hormiga arriera, se las puede encontrar en rastrojos y bosques maduros, poseen la misma característica que las *Atta cephalotes* debido a que cultivan el mismo hongo *Leucoagaricus gongylophorus*, debido a que produce polisacaridasas que degradan los componentes de la hoja al generar nutrientes que se consideran esenciales para la nutrición de las hormigas (Silva, Bacci, Pagnocca, Bueno, & Hebling, 2006). La principal diferencia a simple vista entre la especie *A. cephalotes* y *A. sexdens* es la morfología que presenta su nido, de la primera especie el nido se encuentra sin vegetación a su alrededor y las entradas y salidas son anchas al contrario de la segunda especie que su nido se encuentra cubierto con vegetación y las entradas y salidas son más pequeñas (Heike, 2011).

La vida de un hormiguero está determinada por la supervivencia de la reina y por lo general la reina vive por un tiempo de 14 a 15 años; la muerte de esta significa la desaparición de la colonia, el cuidado de la reina y mantenimiento de la colonia es llevado por un grupo de obreras estériles y polimórficas que incluyen jardineras, nodrizas, cortadoras, cargadoras, colectoras y soldados (Montoya Lerma, Chacón De Ulloa, & Rosario Manzano, 2006).

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL GÉNERO *Armadillidium*.

La especie típica del género *Armadillidium* Brandt, 1833 es *A. vulgare* que fue clasificada erróneamente junto a especies que hoy pertenecen a familias diferentes e incluso a clases distintas. El criterio de Brandt, al distinguir entre los géneros *Armadillo* Duméril, 1816 y *Armadillidium*, ha prevalecido y ha sido aceptado por todos los isopodólogos posteriores. El rasgo más sobresaliente, de las especies que pertenecen al género *Armadillidium*, es la

facultad que poseen de enrollarse en esfera más o menos perfecta (Cruz-Suárez, 1993). Esta especie habita en regiones templadas y subtropicales del mundo, en algunos países esta especie es considerada como plaga emergente en cultivos debido a que ataca la base de las plántulas y sus cotiledones (Waller, 2015).

La especie *Armadillidium vulgare* conocido como bicho bolita, es una especie omnívora, la cual se alimenta de hojas muertas, hongos y animales muertos; pero, el principal alimento es los detritos vegetales, viven alrededor de 3 a 4 años (Gabellone, Larsen, & Marrochi, 2016); pertenece al orden isópodo y forma parte de la mesofauna edáfica debido a que mide entre 1,2 mm hasta 30 mm, se han registrado alrededor de 3637 especies en el mundo; pertenecen al suborden Oniscidea son considerados como los primeros crustáceos verdaderamente terrestres, juegan un papel importante en el ciclo de nutrientes debido a que son saprófagos; además son importantes en la reproducción asexual o propagación vegetativa de bacterias, hongos y micorriza arbuscular. Estos organismos a través de los años se han adaptado al ambiente terrestre debido a que remplazaron branquias con estructuras respiratorias similares con pulmones pleopodales o pseudotraqueales responsables del intercambio de gases, pero a pesar de este remplazo algunos conservaron las branquias y son considerados como crustáceos de tierra (Vasconcellos, Bins, & da Silva, 2015). Además, esta especie es susceptible a la sequía, debido a la capacidad de enrollarse (Feberi, Clemente, Manetti, & López, 2014).

Existen diferentes proyectos que han utilizado macroinvertebrados como: lombrices de tierra, milpiés e isópodos para evaluar la restauración de suelo; es decir, pueden ser utilizados como bioindicadores de propiedades fisicoquímicas favorables o deseables en áreas restauradas; pero, para la existencia de estos detritívoros en el suelo se debe establecer primero comunidades de plantas que producen materia orgánica en el suelo y capas de arena superficial para que así sean sostenibles en sitios restaurados. Estos organismos pueden ser utilizados como herramientas para alterar la estructura química o los procesos de restauración del suelo; la ventaja de utilizar isópodos es debido a que tienen una capacidad excepcional para tolerar metales pesados; pero hay que tomar en consideración que algunas especies son invasoras por eso es importante seleccionar especies que sean nativas (Snyder & Hendrix, 2008). Los isópodos se desarrollan en suelo con alto calcio y también de un pH intestinal adecuado para realizar una digestión adecuada de los polisacáridos vegetales y una actividad celulolítica microbiana (Fish, Tompson, & McCay, 2013)

2.2.5 BIOCHAR NATURALEZA, HISTORIA, USO EN EL SUELO Y FABRICACIÓN.

La pérdida de nutrientes especialmente de nitrógeno que es un elemento escaso en el suelo ha permitido que el hombre desarrolle soluciones para dicho problema como es el biochar o biocarbón que permite minimizar la pérdida de fertilidad y la decadencia de las propiedades químicas; existen investigaciones que indican que el biochar puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente que otros químicos inorgánicos del suelo, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de cultivos. La elaboración de este material es a partir de la descomposición térmica de material orgánico como los subproductos de actividades agroforestales o residuos orgánicos urbanos con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirolisis) a temperaturas inferiores a 700° C para uso agrícola, este proceso lo diferente del carbón usado como combustible y del carbón activado (Escalante Rebolledo et al., 2016). La elaboración del biochar a bajas temperaturas, periodos cortos de calentamiento y pequeños tamaños de partículas originan la desintegración de los polímeros de la biomasa, disminuyendo la producción de gases pirolíticos y maximizan la elaboración de biochar (Gómez, Cruz-Dominguez, Jiménez-Madrid, Ocampo-Duran, & Parra-González, 2016).

2.2.6 IMPORTANCIA DEL USO DE SULFATO DE MAGNESIO COMO FERTILIZANTE DE SUELOS.

El Azufre es un elemento químico que se encuentra disponible como fertilizante, pero la transformación a sulfato ya sea de magnesio ($MgSO_4$) o sulfato de calcio ($CaSO_4$) puede generar bajas en el pH del suelo y su aplicación en el suelo se podría perder por lixiviación (Alfaro, Bernier, & Iraira, 2006). La principal ventaja de utilizar sulfato de magnesio como fertilizante es su solubilidad inmediata esto depende de la humedad del suelo; además aporta azufre; pero, si el sulfato se produce a partir de la roca metamórfica serpentinita tiene un aporte adicional de hierro y sílice amorfa fácilmente asimilable; también contiene pequeñas cantidades de boro y cobalto. Otra ventaja o desventaja dependiendo del cultivo, es que el sulfato de magnesio se profundiza más en el suelo (Heliconia, 2008).

2.2.7 VENTAJAS DEL USO DE ROCA FOSFÓRICA COMO FERTILIZANTE DE SUELOS.

Las rocas fosfóricas son utilizadas como fuente de fósforo para la aplicación directa en la agricultura o como materia prima para la fabricación industrial de fertilizantes fosfatados solubles. La utilización directa previene la producción de fosfoyeso, formación de gases de efecto invernadero, ayuda a mejorar la actividad biológica del suelo y la acumulación del carbono, mejora las propiedades físicas y químicas, controla la degradación del suelo; pero no todas las rocas fosfóricas se las utiliza directamente en el suelo para esto se debe realizar evaluaciones del tipo de roca fosfórica que es factible utilizar directamente (F. Zapata & Roy, 2007).

2.2.8 ELABORACIÓN DE MICROCOSMOS Y SU IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA.

Un microcosmos es un mini ecosistema en el cual se puede vivir y las condiciones ambientales se pueden controlar cuidadosamente para observar cual es el comportamiento de las poblaciones ya sea de plantas o animales que se utilice; obligándola a vivir con los recursos que existieran en él; los microcosmos son funcionalmente similares a los ecosistemas naturales que aparentan, aunque posee diferencias en su estructura. Los microcosmos pueden ser contruidos artificialmente a partir de componentes elaborados en el laboratorio o por el contrario a partir de comunidades de organismos vivos y sus sustratos abióticos extraídos de un ecosistema natural; los estudios con microcosmos se caracterizan por la interacción entre los componentes bióticos, abióticos y sus procesos asociados. El microcosmos es útil por dos razones: primero porque ayuda a clarificar nuestro conocimiento de las propiedades fundamentales y de los procesos de los ecosistemas y segundo porque ayuda a demostrar los efectos que determinadas actividades afectan sobre los ecosistemas naturales (Sánchez Gimeno, Sánchez Cabrero, & Varela González, 1987).

El microcosmos es una metodología que permite confirmar y aplicar la información obtenida a través de estudios llevados a cabo en laboratorio, el resultado obtenido permite analizar la situación de la población utilizada y poder obtener resultados que interpreten las condiciones de un ambiente normal (Medina & Ramos-Jiliberto, 2009).

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Ecología tropical, natural y aplicada (LETNA) y en el laboratorio de estudios ambientales, pertenecientes al Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica, que se encuentra ubicado en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena, cuenta con una extensión de 2848,20 ha del cual el 76,11% es bosque primario, humedad relativa de 80%, temperatura de 15 a 25°C y un rango altitudinal de 580 y 1120 m.s.n.m (Machoa, 2015). Para efectuar la parte experimental de la investigación se utilizó suelo del área experimental de la parcela baja del CIPCA como se observa en la **Figura 1**. Para obtener la especie *Atta* sp. se recolectó por lo menos en 3 lugares diferentes y para la especie *Armadillidium* sp. se recolectó de acuerdo a su disponibilidad como se observa en el **Anexo 1**.

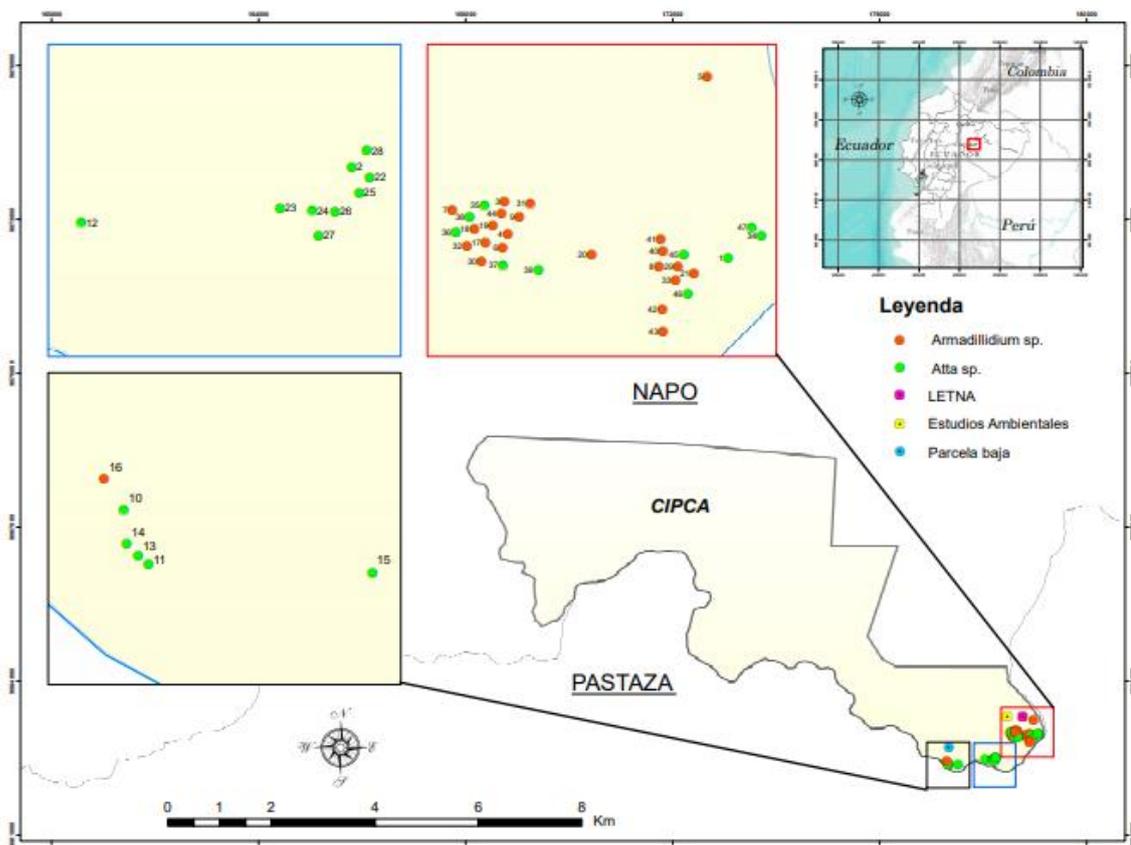


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

Fuente: Autor

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se llevó a cabo pertenece a la línea de investigación propuesta por la Universidad Estatal Amazónica (UEA): Gestión y Conservación Ambiental, debido a que se basa en el uso y conservación del suelo. Según lo establecido por (Serrano et al., 2016) la investigación es experimental debido a que el investigador manipula una o más variables, es decir cambia el valor de una variable (variable independiente) y ve su efecto en otra variable (variable dependiente); en este caso ver como las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. actúan frente a los cambios de pH, biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica para ver si son potenciales bioindicadores para procesos de restauración del suelo; también se basó en la investigación descriptiva y exploratoria debido a que permite identificar las características que posee las especies utilizadas *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. mediante la revisión de literatura en bases de datos, hemerotecas y en buscadores de literatura científica.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Los métodos que se utilizó en el presente estudio para cumplir con cada uno de los objetivos propuestos fueron:

Para determinar la tolerancia de las especies *Atta* sp., *Armadillidium* sp. a los cambios de pH, biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica en el suelo, en los microcosmos, se aplicó:

- Metodología de microcosmos. - Permite observar cuál era el comportamiento de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. En esta metodología obliga a vivir a los organismos con los recursos que existieran en el microcosmos; estos pueden ser contruidos artificialmente a partir de componentes elaborados en el laboratorio o por el contrario a partir de comunidades de organismos vivos y sus sustratos abióticos extraídos de un ecosistema natural (Sánchez Gimeno et al., 1987).
- Método no paramétrico “Transformación de rango alineado” (ART), utilizando el software RStudio.- Se utilizó este tipo de método debido a que la población era pequeña y no presentaba preferencia significativa por los cambios en el suelo (pH, biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica). En este tipo de análisis no existe supuestos sobre su distribución de los parámetros de la población, además tiene una eficiencia alta para muestras pequeñas debido a que alinea los datos y los clasifica (Rico, 2010)

Para establecer los beneficios de utilizar la especie más tolerante a los cambios físicos y químicos, como potencial bioindicador de calidad de suelo, se aplicó:

- Método de observación. - Permitió observar los resultados obtenidos e interpretarlos para así identificar la especie que posee mayor tolerancia a los cambios físicos y químicos en el suelo.
- Método analítico. – Permitió observar cual era la preferencia de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp frente a los cambios en la composición del suelo (pH, biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica) y así realizar un análisis general para establecer los beneficios de utilizar la especie que posee mayor tolerancia a los cambios en el suelo.

3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La parte experimental de la investigación se basó en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y análisis de datos.

3.4.1 FASE DE CAMPO

Muestreo del suelo: Para obtener el suelo no se consideró ninguna técnica de muestreo. La recolecta del suelo se realizó en las partes aledañas de la parcela baja perteneciente al CIPCA de la Universidad Estatal Amazónica, primero se procedió a limpiar la vegetación que se encontraba sobre el suelo y se colocó en lonas para llevar al invernadero durante 4 días (5 al 8 de agosto del 2019), para luego moler hasta obtener un tamaño de 2mm; en total para la experimentación se utilizó 59200 gramos.

3.4.2 FASE DE LABORATORIO

La fase de laboratorio tuvo una duración de 2 meses en total y se ejecutó desde el 30 de agosto hasta el 27 de noviembre del 2019, en donde se realizó 5 actividades específicas:

- 1. Construcción de microcosmos:** Se procedió a construir 12 microcosmos (cajas de 22 cm de largo, 16 cm de ancho y 20 cm de profundidad); se tomó en consideración estas medidas de acuerdo a los 4 recipientes de aluminio (11cm de largo, 8 cm de ancho y 1,5 cm de profundidad) que se colocó dentro de estos.

2. Elaboración de ensayos: Para saber la cantidad de sustancia que se debía añadir de pH se realizó 22 ensayos, mientras que, para el biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica se basó en recomendaciones de investigaciones. Para cada sustancia se realizó ensayos de pH después de añadir la sustancia.

- **Ensayo de pH:** Para saber la cantidad de pH que se utilizó en la experimentación se realizó 22 ensayos como se observa en el **Anexo 2** con la relación 10 gramos de suelo en 25 ml de agua destilada, además se añadió diferentes cantidades de cal y se mezcló durante 5 minutos con un agitador manual, se dejó reposar durante 30 minutos, luego se utilizó el pH-metro de campo dejándolo actuar durante 3 minutos y también se utilizó el pH-metro de base fija para medir el pH y la temperatura para obtener resultados más verídicos. Luego de realizar el análisis se pasó los datos al software Microsoft Excel 2016 para graficar una línea de tendencia polinómica de segundo orden para obtener la ecuación $y = -46,322x^2 + 26,187x + 5,1578$, $R^2 = 0,9747$; esta ecuación se pasó a la calculadora gráfica GeoGebra online para saber exactamente la cantidad de cal que se debe utilizar y obtener valores de (0, +1, +2, +3). Finalmente se midió el pH del suelo con el pH-metro de campo en 4 recipientes para obtener un promedio y de ahí empezar con los tratamientos (0, +1, +2, +3); además, luego de añadir la cal agrícola según la dosificación se midió el pH para saber si se alcanzó el pH requerido, esto se realizó para las 2 réplicas como se observa en el **Anexo 3**.
- **Ensayo de biochar:** Para saber la cantidad de biochar que se debía colocar en el suelo se procedió a medir el largo y ancho de los 48 recipientes de aluminio (11cm de largo, 8 cm de ancho y 1,5 cm de profundidad) para obtener su área que fue de $0,0093m^2$, el carbón que se utilizó fue elaborado en el CIPCA en una caldera a una combustión lenta. La dosificación de biochar se basó en: 0T/ha, 5T/ha, 10T/ha y 20T/ha; además, se midió el pH luego de añadir la cantidad de biochar establecido en las dos réplicas, como se observa en el **Anexo 4**
- **Ensayo de sulfato de magnesio:** Para establecer la cantidad de sulfato de magnesio se basó en un proyecto realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en palma africana en vivero; en el cual se colocó 1111 gramos por 143 plantas (158,873gramos) de roca fosfórica en una hectárea ($10000m^2$)(Ganchozo & Huaraca, 2017); en base a la cantidad obtenida se procedió a sacar la dosis baja y alta; y para que la dosis de roca fosfórica se disuelva

completamente se utilizó un atomizador para mezclar agua destilada con cada dosis; además se midió el pH después de añadir sulfato de magnesio en la primera y segunda réplica, como se observa en el **Anexo 5**.

- **Ensayo de roca fosfórica:** Para determinar la cantidad de roca fosfórica se basó en un proyecto en donde colocaron 225000 gramos de roca fosfórica en una hectárea (10000m²) a la floración de cuarto año de cacao (Zapata & Roy , 2007) de esta cantidad se procedió a calcular la dosis baja y alta. Para que la dosis se mezcle con el suelo completamente se mezcló durante 30 minutos; además se calculó la cantidad de pH luego de añadir roca fosfórica en la réplica uno y réplica dos, como se observa en el **Anexo 6**.
3. **Preparación del suelo:** Cada semana se utilizó 3700 gramos de suelo; es decir, 1850 gramos para cada valor de pH (0, +1, +2, +3) igual para Biochar (0T/ha, 5T/ha, 10 T/ha, 20 T/ha), sulfato de magnesio (control, dosis baja, dosis media, dosis alta) y roca fosfórica (control, dosis baja, dosis media, dosis alta) y se colocó en 4 recipientes de aluminio (55cm de largo, 30 cm de ancho y 6 cm de profundidad); luego de pesar el suelo se procedió a pesar la sustancia química (pH, biochar, sulfato de magnesio o roca fosfórica) dependiendo de la sustancia que se utilizó en esa semana, por último se mezcló el suelo con la cantidad de la sustancia recomendada y se colocó en los recipientes de aluminio (11cm de largo, 8 cm de ancho y 1,5 cm de profundidad) como se observa en el **Anexo 7**, para cada valor se utilizó 12 recipientes
 4. **Preparación de microcosmos:** En cada microcosmos se colocó 4 recipientes de aluminio (11cm de largo, 8 cm de ancho y 1,5 cm de profundidad), para colocar los 4 recipientes en cada microcosmos se basó en el método estratificado totalmente al azar (**Anexo 8**) una vez preparado el suelo se colocó 40% de humedad de acuerdo a la capacidad de campo de la parcela baja como se observa en el **Anexo 9**, en cada uno de los 4 recipientes de los 12 microcosmos, luego de colocar se dejó reposar el suelo durante un día para que así el suelo absorba toda el agua destilada.
 5. **Muestreo de especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp:** Al día siguiente se recolectó de manera manual utilizando una pinza suave especialmente para recolectar invertebrados para así impedir dañar a la especie como se observa en el **Anexo 10**; se recolectó cada semana 240 individuos de *Atta* sp. y 240 individuos de *Armadillidium* sp. en 3 lugares diferentes de acuerdo a su disponibilidad y se colocó 20 individuos en cada microcosmos

la primera semana fue *Atta* sp. y al día siguiente *Armadillidium* sp., para colocar la segunda especie se colocó primero el 10% de agua destilada (**Anexo 11**) por la pérdida; en la siguiente semana se cambia el orden de colocación; es decir, primero se colocó *Armadillidium* sp. y al día siguiente *Atta* sp. para observar los cambios; lo mismo se realizó para la semana 3 y semana 4 con Biochar, semana 5 y semana 6 con sulfato de magnesio, y semana 7 y semana 8 con roca fosfórica; en total tuvo una duración de 2 meses para poner en práctica la parte experimental y el conteo de los individuos que sobrevivan según su preferencia (**Anexo 12**), se realizó después de 24 horas de haberlas colocado; finalmente se recolecto el suelo en fundas ziploc con una etiqueta que contenía la fecha, nombre de la sustancia química, lugar de recolecta del suelo y el nombre de quién trabajo con ese suelo, como se observa en el **Anexo 13**.

3.4.3 ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados obtenidos en la experimentación se pasó al Software Microsoft Excel 2016 en donde se organizó todos los datos y para el análisis se utilizó el método no paramétrico (Transformación de rango alineado (ART)), utilizando el programa RStudio, mediante los paquetes ARTool (Transformación de rango alineado), PHyr (Herramientas para dividir, aplicar y combinar datos), sciplot (funciones gráficas científicas para diseños factoriales); en donde se tomó en consideración la variable CantPor (**Anexo 14**) en el cual el tamaño de la muestra fue de 20 individuos en cada microcosmos representado en porcentaje 1 individuo 5% y 20 individuos 100%.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la comparación entre las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. utilizando cuatro diferentes niveles de pH (0, +1, +2, +3), cuatro diferentes niveles de biochar (0 T/ha, 5T/ha, 10 T/ha, 20T/ha), cuatro diferentes dosis de sulfato de magnesio y roca fosfórica (control, dosis baja, dosis media y dosis alta.) y se observó la preferencia que cada una de las especies tenía por los tratamientos y se pudo observar que frente al pH la especie que mostró preferencia significativa fue *Armadillidium* sp. ($p=0,0011$). En el biochar, la especie *Atta* sp. tiene una preferencia significativa por el tratamiento sin adición ($p=0,00031$). La respuesta al sulfato de magnesio muestra una tendencia por la dosis media por parte de la especie *Atta* sp. ($p=0,089$). Finalmente, frente al tratamiento con roca fosfórica las dos especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp muestran preferencia por el de sin adición ($p=0,00108$).

4.1 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES NIVELES DE pH (0, +1, +2, +3).

4.1.1 Análisis de preferencia de pH de la especie *Atta* sp.

En la tabla 1 se muestra el análisis de pH en el que la especie *Atta* sp. posee una mayor preferencia para el tratamiento en el que se elevó el pH en 3 y 2 puntos, seguido del control (sin adición de cal) y finalmente el tratamiento en el que se elevó el pH del suelo en 1 punto. Sin embargo, las medianas nos muestran poca variación general, por lo que no se notan diferencias significativas (Tabla 2). Lo cual se debe a la elevada desviación estándar (SD) de los datos.

Tabla 1. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Atta* sp. en base a la incorporación de cal agrícola en microcosmos.

Nivel de pH	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	12,5	20	24,62
Más un punto de pH (1)	2,5	8,75	12,53
Más dos puntos de pH (2)	10	21,04	30,21
Más tres puntos de pH (3)	12,5	27,5	33,36

Tabla 2. Modelo para determinar significancia de *Atta* sp en base al nivel de pH alcanzado por el suelo después de realizado el test de incrementos progresivos de cal agrícola.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Nivel de pH	1,5458	3	81	0,209	NS

En la figura 2 se muestran los resultados gráficos, en donde se observa la preferencia de *Atta* sp. por el tratamiento 3; pero, no se observa una diferencia significativa con los tratamientos de sin adición y el tratamiento de más dos puntos de pH

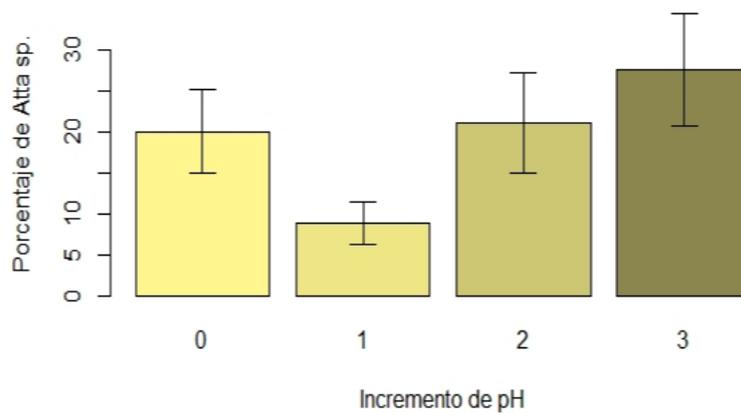


Figura 2. Porcentaje de presencia de la especie *Atta* sp. en ensayos de adición de pH

Estos datos evidencian la falta de preferencia de un pH específico por parte de *Atta* sp. En otros estudios realizados en la ciudad de México con la especie *Atta mexicana*, se han estudiado N, P, K, Ca, Mg, C orgánico y pH de los desechos que se encontraban alrededor del hormiguero y dio como resultado un valor nutricional de pH promedio de 5.8 (Martínez & Montoya, 2002). En otros estudios realizados en Bogotá, sobre un análisis físico-químico en detritos del género *Atta*; el pH de los hormigueros de San Luis (Tolima) dieron como resultado un pH neutro a mediadamente alcalino, mientras que el de Melgar (Tolima) dio como resultado un pH ácido (Bautista Hernández, 2014). Según (Jaramillo, 2002) los suelos ácidos son típicos de regiones donde la precipitación es alta y los suelos alcalinos son propios de regiones áridas o semiáridas. Esto demuestra que los datos obtenidos en los ensayos de pH no tuvieron el tiempo necesario para que las especies tuvieran una permanencia en un solo tratamiento debido a que fue tan solo de 24 horas.

4.1.2 Análisis de preferencia de pH de la especie *Armadillidium* sp.

En el análisis de pH la especie *Armadillidium* sp. posee una mayor preferencia para el tratamiento en el que se elevó el pH en 1, seguido por el pH elevado en 2, el de (sin adición de cal) y finalmente el tratamiento en el que se elevó el pH del suelo en 3 puntos (Tabla 3). Además, las medianas nos muestran una relevante diferencia, por lo que se notan diferencias significativas (Tabla 4). Lo cual se debe a la mínima desviación estándar (SD) de los datos.

Tabla 3. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Armadillidium* sp. en base a la incorporación de cal agrícola en microcosmos.

Nivel de pH	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	10	18,95	23,86
Más un punto de pH (1)	35	35,2	29,02
Más dos puntos de pH (2)	20	26,45	25,68
Más tres puntos de pH (3)	0	10,62	20,49

Tabla 4. Modelo para determinar significancia de *Armadillidium* sp. en base al nivel de pH alcanzado por el suelo después de realizado el test de incrementos progresivos de cal agrícola.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Nivel de pH	5,859	3	81	0,0011	**

En la figura 3 se muestran los resultados gráficos, en la que se observa una diferencia significativa que nos permiten evidenciar la preferencia de la especie *Armadillidium* sp. por el pH de más un punto.

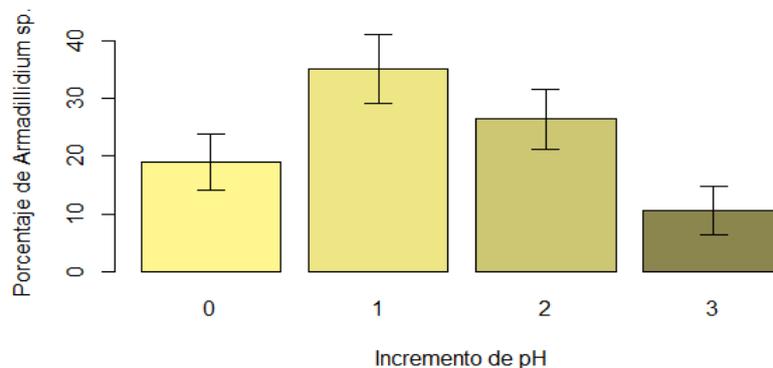


Figura 3. Porcentaje de presencia de la especie *Armadillidium* sp. en ensayos de adición de pH.

Según (Julie, Morgan, & Gillett, 2015) la especie *Armadillidium vulgare* prefiere suelos con un pH neutro o alcalino y es imposible encontrar esta especie en suelo que sean ácidos; el forrajeo de esta especie demuestran el aumento de nutrientes en el suelo como nitrógeno, fósforo, potasio, pH y carbono. Esto coincide con los datos obtenidos debido a que la especie prefiere el pH +1 que después de añadir cal obtuvo un valor de 7,3 en la primera réplica y en la segunda réplica alcanzo 7,5 como se observa en el **Anexo 3**.

4.1.3 Análisis de pH del suelo después de añadir cal agrícola

A fin de corroborar con los resultados de la preferencia de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. que sean los correctos, se midió el pH inmediatamente después de que se realizó el ensayo (**Anexo 15**), en el cual se puede evidenciar que el valor de control 6,25 llegó al pH requerido que es 9,15. A pesar de que el pH del suelo aumento según los requerimientos; un estudio realizado en el Municipio de Campohermoso Boyacá sobre la hormiga arriera de los géneros *Atta* y *Acromyrmex* indica que al introducir al hormiguero cal agrícola molida en grandes cantidades cambia el pH del suelo lo que provoca que se muere el hongo que cultivan y desaparezca el hormiguero (Elkin, 2018). Con relación a los isópodos un estudio revela que no debe someter a un pH muy ácido ya que eso provoca la descalcificación del exoesqueleto, mata a los más jóvenes y a los individuos reproductores ocasiona que vayan perdiendo el color y mueran (Valencia, 2012).

4.2 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES NIVELES DE BIOCHAR (0 T/ha, 5T/ha, 10 T/ha, 20T/ha).

4.2.1 Análisis de preferencia de biochar de la especie *Atta* sp.

En la tabla 5 se muestra el análisis de Biochar en el que la especie *Atta* sp. posee una mayor preferencia para el tratamiento de control (sin adición de biochar), seguido por el de 5 T/ha y 20 T/ha respectivamente y finalmente el tratamiento de 10 T/ha; las medianas muestran una variación significativa entre el de sin adición con las de 5 T/ha, 10T/ha y 20 T/ha, por lo que se notan diferencias significativas (Tabla 6). Lo cual se debe a la mínima desviación estándar (SD) entre datos.

Tabla 5. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Atta* sp. en base a la incorporación de biochar en microcosmos.

Nivel de Biochar	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	32,5	30,04	23,7
5 T/ha	5	12,08	19,94
10 T/ha	0	8,12	13,33
20 T/ha	5	9,79	11,83

Tabla 6. Modelo para determinar significancia de *Atta* sp. en base al nivel de biochar alcanzado en el suelo.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Nivel de biochar	6,96	3	81	0,00031	***

En la figura 4 se muestran los resultados gráficos, en la que se observa una diferencia significativa que nos permiten evidenciar la preferencia de la especie *Atta* sp. por el nivel de biochar sin adición.

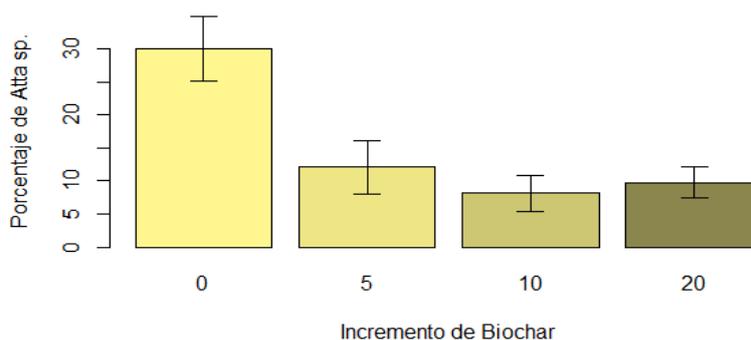


Figura 4. Porcentaje de presencia de la especie *Atta* sp. en ensayos de adición de biochar.

A pesar que la especie *Atta* sp tuvo preferencia significativa por el suelo que no se añadió biochar (control); se han realizado investigaciones sobre la ingestión de carbón en campo y laboratorio; tanto de lombrices de tierra, Enchytraeidae y Colémbolos, además en suelos agrícolas deforestadas y quemadas se han encontrado gránulos fecales de hormigas con presencia de carbón vegetal; según investigadores esta ingestión estaría relacionada por la presencia de microorganismos o metabolitos microbianos presente en la superficie del biochar; estos microorganismos inoculan el biochar el mismo que al ser ingerido afecta su tamaño de partícula, distribución en el suelo y su persistencia (Domene, 2016).

4.2.2 Análisis de preferencia de biochar de la especie *Armadillidium* sp.

En la tabla 7 se muestra el análisis de Biochar en el que la especie *Armadillidium* sp. posee una mayor preferencia para el tratamiento de control (sin adición de biochar), seguido por el de 20 T/ha y 5 T/ha respectivamente y finalmente el tratamiento de 10 T/ha; sin embargo, las medianas no muestran una alta variación, por lo que no se notan diferencias significativas (Tabla 8). Lo cual se debe a la elevada desviación estándar (SD) de los datos principalmente entre el de sin adición y 10 T/ha.

Tabla 7. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Armadillidium* sp. en base a la incorporación de biochar en microcosmos.

Nivel de Biochar	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	20	33,125	34,6
5 T/ha	10	21,87	28,99
10 T/ha	5	15	21,71
20 T/ha	10	23,12	29,62

Tabla 8. Modelo para determinar significancia de *Armadillidium* sp. en base al nivel de biochar alcanzado en el suelo.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Nivel de biochar	0,89	3	81	0,44	NS

En la figura 5 se observa que la especie *Armadillidium* sp. no muestra una preferencia de biochar significativa.

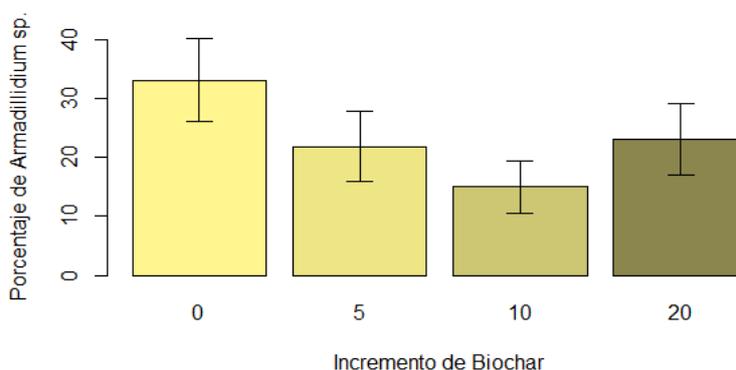


Figura 5. Porcentaje de presencia de la especie *Armadillidium* sp. en ensayos de adición de biochar.

Según una investigación realizada por (Castracani et al., 2015) el uso de biochar ayuda a mitigar el cambio climático debido a que mejora la producción de las plantas, pero tiene consecuencias significativas sobre la macrofauna y mesofauna del suelo, en el cual se hizo un experimento para identificar si había interacción con el biochar, en la que se utilizó tres diferentes tipos de biochar en la que dio como resultado que la enmienda con biochar no afecta al nicho ecológico a corto plazo; sin embargo, provoca modificaciones en la humedad y temperatura del suelo. Y según (Basigalup & Instituto Nacional de Tecnología, 2007) el bicho bolita o bicho de humedad habita en lugares húmedos, oscuros, ya sea debajo de hojarasca, corteza y piedras. Esto concuerda con los datos obtenidos debido a que la especie *Armadillidium* sp. no tiene preferencia por ningún tipo de tratamiento; debido a las modificaciones que realiza el biochar en el suelo.

4.2.3 Análisis de pH del suelo después de añadir biochar

Para corroborar con los resultados del análisis de pH sobre la preferencia de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. y ver si no influía en la preferencia de biochar, se midió inmediatamente el pH después de que se realizó el ensayo de biochar (**Anexo 16**), en el que se observa que el pH se mantuvo de 5,65 a 6. Según (Castracani et al., 2015) el biochar modificaba el pH, temperatura y humedad del suelo, en donde las hormigas se veían afectadas en su abundancia y distribución debido a las modificaciones. Además, la biota que se encuentra en el lugar están en contacto con los componentes tóxicos que posee el biochar y se podría utilizar esta biota como un indicador ecológico de biochar.

Otras investigaciones recomiendan usar biochar para neutralizar contenidos de Aluminio, mejorar el pH y probablemente posee la capacidad de retener nutrientes; incluso el biochar podría remplazar el uso de cal (Gómez et al., 2016). Y al comparar con los resultados obtenidos del análisis de pH después de añadir biochar se observa que no afecto al pH lo cual no concuerda con la investigaciones realizadas, esto talvez sea por la cantidad de biochar utilizado.

4.3 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES DOSIS DE SULFATO DE MAGNESIO (Control, dosis baja, dosis media y dosis alta).

4.3.1 Análisis de preferencia de Sulfato de magnesio de la especie *Atta* sp.

En la tabla 9 se muestra el análisis de Sulfato de magnesio en el que la especie *Atta* sp. posee una mayor preferencia para el tratamiento de dosis media, seguido por el de dosis baja, control (sin adición de MgSO₄) y finalmente el de dosis alta; las medianas muestran una variación significativa entre la dosis media con dosis de control, por lo que se nota una tendencia por la dosis media (Tabla 10). Lo cual se debe a la mínima desviación estándar (SD) de los datos.

Tabla 9. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Atta* sp. en base a la incorporación de Sulfato de magnesio en microcosmos.

Dosis de MgSO ₄	Mediana	Media	SD
Control	10	13,33	15,08
Dosis baja	5	15	19,39
Dosis media	20	23,75	20,7
Dosis alta	7,5	11,25	12,7

Tabla 10. Modelo para determinar significancia de *Atta* sp. en base al MgSO₄ alcanzado en el suelo.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Dosis de MgSO ₄	2,23	3	81	0,089	.

En la figura 6 se muestran los resultados gráficos, en la cual la especie *Armadillidium* sp. presenta una inclinación por en tratamiento de dosis media, pero no es muy significativa.

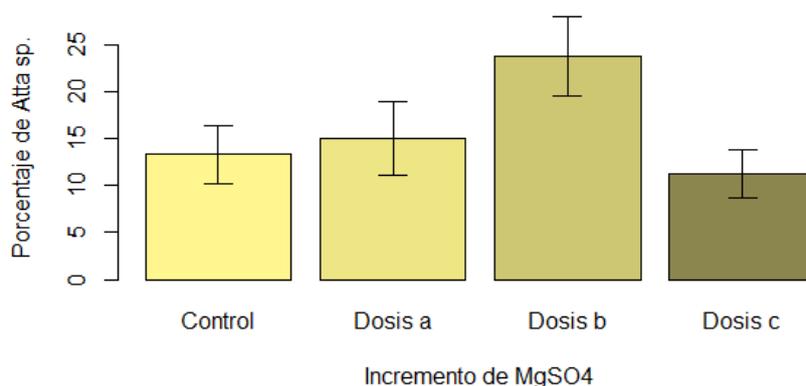


Figura 6. Porcentaje de presencia de la especie *Atta sp.* en ensayos de adición de MgSO₄.

4.3.2 Análisis de preferencia de sulfato de magnesio de la especie *Armadillidium sp.*

En la Tabla 11 se muestra el análisis de Sulfato de magnesio en el que la especie *Armadillidium sp.* posee una mayor preferencia por la dosis media, seguido por la dosis baja, dosis alta y finalmente control (sin adición de MgSO₄); sin embargo, las medianas no muestran una alta variación, excepto dosis media con dosis baja, por lo que no se notan diferencias significativas (Tabla 12). Lo cual se debe a la elevada desviación estándar (SD), entre algunos datos como dosis media con control (sin adición de MgSO₄).

Tabla 11. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Armadillidium sp.* en base a la incorporación de Sulfato de magnesio en microcosmos.

Dosis de MgSO ₄	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	7,5	18,54	23,75
Dosis baja	20	24,79	27,83
Dosis media	32,5	35,41	31,85
Dosis alta	7,5	19,79	26,8

Tabla 12. Modelo para determinar significancia de *Armadillidium sp.* en base al MgSO₄ alcanzado en el suelo.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Dosis de MgSO ₄	1,5157	3	81	0,216	NS

En la figura 7 se muestran los resultados gráficos, en la cual la especie *Armadillidium sp.* no muestra una preferencia de sulfato de magnesio significativa.

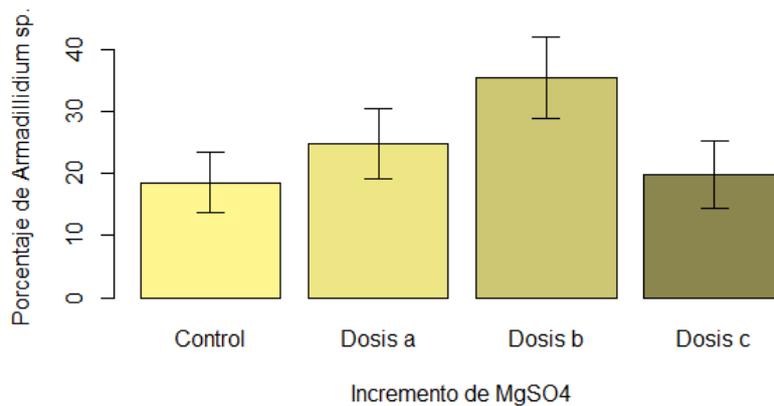


Figura 7. Porcentaje de presencia de la especie *Armadillidium sp.* en ensayos de adición de $MgSO_4$.

Según investigaciones realizadas el sulfato de magnesio es muy importante para la fertilización de las plantas debido a que es muy soluble esto depende de la humedad del suelo, la dosis de sulfato de magnesio que se debe colocar en el suelo debe ser pequeña principalmente en zonas con alta pluviosidad; debido a que se pierde más del 50% por lixiviación (Heliconia, 2008). Esto concuerda con los resultados que la especie *Atta sp.* posee un poco inclinación por la dosis media (**Anexo 5**), debido a que se utilizó 40% de humedad, que corresponde a 60ml de agua destilada en cada recipiente de los microcosmos (153gramos); esto quiere decir que la cantidad de sulfato de magnesio utilizado fue muy pequeña, por esta razón no se observa diferencias significativas de los datos obtenidos; como se observa también la preferencia de la especie *Armadillidium sp.* que no es significativa (tabla 12) debido a que luego se añadió 10% más de agua destilada que corresponde a 15 ml más, esto se colocó por la pérdida de humedad después de 24 horas de haber trabajado con la especie *Atta sp.* o *Armadillidium sp.*.

4.3.3 Análisis de pH del suelo después de añadir sulfato de magnesio.

Para corroborar con los resultados del análisis de pH sobre la preferencia de las especies *Atta sp.* y *Armadillidium sp.* y ver si no influía en la preferencia de sulfato de magnesio, se midió inmediatamente el pH después de que se realizó el ensayo de sulfato de magnesio, en el cual se puede evidenciar que el pH se mantuvo de 5,4 a 5,7 (**Anexo 17**). Según investigaciones realizada por (Espinosa & Molina, 1999) los suelos ácidos presentan deficiencia de Magnesio. Otra investigación realizada por (Heliconia, 2008) cuando el suelo posee pH de

5,5 a 6 no se recomienda usar cal para subir el pH porque disminuye cationes de cinc y cobre; pero, si se recomienda utilizar fuentes neutras como sulfato de magnesio, el nitrato de magnesio, el fosfato de magnesio o la kesierita. Esto concuerda con los datos obtenidos debido a que al colocar las diferentes dosis de sulfato de magnesio en los microcosmos el pH se mantuvo.

4.4 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIES *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. SEGÚN SU PREFERENCIA DE SUELO CON CUATRO DIFERENTES DOSIS DE ROCA FOSFÓRICA (Control, dosis baja, dosis media y dosis alta).

4.4.1 Análisis de preferencia de roca fosfórica de la especie *Atta* sp y *Armadillidium* sp.

En la tabla 13 se muestra el análisis de Roca fosfórica en el que la especie *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. posee una mayor preferencia para el tratamiento de control (sin adición de Roca fosfórica), seguido por el de dosis alta, dosis media y finalmente el de dosis baja; las medianas muestran una variación significativa principalmente entre el tratamiento de control con dosis de baja, media y alta; lo que se notan diferencias significativas (Tabla 14). Lo cual se debe a la variada desviación estándar (SD) de los datos.

Tabla 13. Análisis de mediana, media y desviación estándar de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. en base a la incorporación de roca fosfórica en microcosmos.

Dosis de Roca fosfórica	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	62,5	51,66	37,17
Dosis baja	5	13,75	17,58
Dosis media	5	13,75	22,03
Dosis alta	5	17,29	24,93

Tabla 14. Modelo para determinar significancia de *Atta* sp. y *Armadillidium* sp en base a la dosis de roca fosfórica alcanzada en el suelo.

	F	Df	Df. Res	Pr (> F)	Signif.
Dosis de Roca fosfórica	5,8948	3	81	0,00108	**

En la figura 8 y 9 se muestran los resultados gráficos, en la cual la especie *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. muestran una preferencia de roca fosfórica significativa por el tratamiento de Control (sin adición de roca fosfórica).

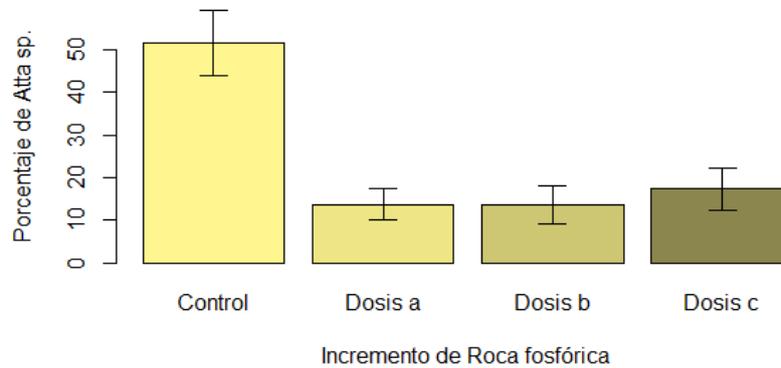


Figura 8. Porcentaje de presencia de la especie *Atta* sp. en ensayos de adición de Roca fosfórica.

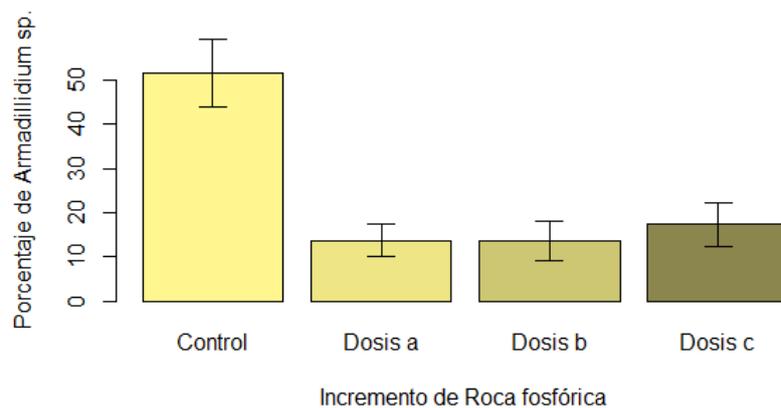


Figura 9. Porcentaje de presencia de la especie *Armadillidium* sp. en ensayos de adición de roca fosfórica.

La roca fosfórica es poco soluble y es de baja efectividad agronómica y se utiliza como materia prima para sintetizar productos más solubles (Henaó, 2012). Además investigaciones realizadas cerca de los nidos de las hormigas cortadoras de la especie *Atta colombica* en un bosque lluvioso de Panamá poseen mayores niveles de P, K y Ca y suelos alrededor de *Atta laevigata* en las sabanas venezolanas poseen altas concentraciones de N, Mg, Ca, materia orgánica y humedad (Brener, 1992). Mientras que no hay investigaciones de la composición química del suelo que prefiere la especie *Armadillidium* sp. Estas investigaciones concuerdan con los resultados obtenidos en el que las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. prefieren el suelo sin adición de roca fosfórica debido a que hay especies que se desarrollan en suelos con diferente composición química.

4.4.2 Análisis de pH del suelo después de añadir roca fosfórica

Para corroborar con los resultados del análisis de pH sobre la preferencia de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. y ver si no influía en la preferencia de roca fosfórica, se midió inmediatamente el pH después de la realización del ensayo de roca fosfórica, en el cual se puede evidenciar que el pH se mantuvo de 5,35 a 5,6 como se observa en el **Anexo 18**. Una investigación realizada demuestra que es recomendable utilizar roca fosfórica en suelos con pH menores a cinco y suelos que contengan alto contenido de materia orgánica debido a que presentan una buena absorción del fósforo (Villamagua Vergara, 2006). Otra investigación realizada por (León, 1991) la adición de roca fosfórica en el suelo varía el pH que va desde sin efecto hasta un aumento de 0,2 a 0,4 unidades dependiendo de la dosis de fósforo y la reactividad de la roca fosfórica. Esto coincide con los datos obtenidos en el que se observa que la adición de roca fosfórica no tiene efecto sobre el pH.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La preferencia de suelo por parte de la especie *Atta* sp. se observó que no es significativo para el tratamiento con enmienda de pH, pero si se obtuvo resultados significativos por los tratamientos de sin adición de biochar y por el de sin adición de roca fosfórica; además, tuvo inclinación por el tratamiento de dosis media de sulfato de magnesio (0,1478gramos).
- La especie *Armadillidium* sp. tuvo preferencia por suelos con pH neutro de (7,3 y 7,5) y por el tratamiento de sin adición de roca fosfórica; pero no se obtuvieron resultados significativos para los tratamientos con biochar y sulfato de magnesio.
- Según la preferencia de suelo por parte de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp. expuestos en microcosmos, se observó que *Armadillidium* sp fue la especie más tolerante a los cambios físico-químicos realizados en el suelo, en relación con la especie *Atta* sp. que mostró significancia en la mayoría de los tratamientos.
- En los tratamientos de biochar, sulfato de magnesio y roca fosfórica se tomó en consideración los ensayos de pH, debido a que las especies estudiadas prefieren un pH específico, y se comprobó que estas sustancias no modifican el pH del suelo.
- La especie *Armadillidium* sp. mostró mayor tolerancia a los tratamientos realizados, razón por la cual se puede utilizar como posible bioindicador de calidad de suelo; debido a que es una especie que se adapta a los cambios de hábitat, también puede ser utilizada como herramienta para alterar la estructura química del suelo, y finalmente tener en cuenta, seleccionar isópodos nativos para evitar las especies invasoras.

5.2 RECOMENDACIONES

- En el análisis de comportamiento de la especie *Armadillidium* sp. en los diferentes tratamientos no se obtuvo resultados significativos, por lo que se recomienda realizar

más replicas y exponerlas a un tiempo más prolongado y así observar la preferencia por un solo tipo de suelo.

- Realizar la identificación de las especies utilizadas (*Atta* sp. y *Armadillidium* sp.) para así tener conocimiento más concreto de las características de suelo que prefieren.
- Realizar el análisis químico del suelo utilizado para así determinar la composición precisa del suelo y ver si no influye en la preferencia de suelo por parte de las especies investigadas.

CAPÍTULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. (2003). ¿ Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología austral*, 13(2), 195-204.
- Arcila, A., & Lozano-Zambrano, F. (2003). Hormigas como herramienta para la bioindicación y el monitoreo. *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*, 159.
- Bañera, V. (2008). Manejo integrado de los recursos naturales para agricultura de pequeña escala en la subcuenca del río Chimbo-Ecuador: Aprendizajes y enseñanzas. 81.
- Basigalup, D. H., & Instituto Nacional de Tecnología, A. (2007). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Bautista Hernández, C. F. (2014). Caracterización de la macrofauna asociada a los detritos producidos por hormigas del género *Atta*.
- Brener. (1992). Modificaciones al suelo realizada por hormigas cortadoras de hojas (Formicidae, Attini): una revisión de sus efectos sobre la vegetación. *Ecología austral*, 2, 87-94.
- Brener, A. G. F. (2016). Modificaciones al suelo realizadas por hormigas cortadoras de hojas (Formicidae, Attini): una revisión de sus efectos sobre la vegetación. 9.
- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35, 346-363.
- Caciano, R. T., González, M. R., Ramírez, G. D., & Ávalos, J. E. (2015). Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. 9.
- Castracani, C., Maienza, A., Grasso, D. A., Genesio, L., Malcevschi, A., Miglietta, F., . . . Mori, A. (2015). Biochar–macrofauna interplay: Searching for new bioindicators. *Science of The Total Environment*, 536, 449-456. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.019
- Cruz-Suárez, A. (1993). El género *Armadillidium* Brandt, 1833 en la Península Ibérica y Baleares (Isopoda, Oniscidea, Armadillidiidae). 27.
- Cruz, A. B., & Barra, J. E. (2016). La calidad del suelo y sus indicadores. 8.
- Daguerre, J. (1945). Hormigas del género *Atta*. *SOC. ENTOMOLÓG. ARG*, 439-440.

- De Noni, G., & Trujillo, G. (1986). Degradación del suelo en el Ecuador. *Cultura*, 24, 383-394.
- Elkin, V. (2018). Plan de manejo integrado de la hormiga arriera en el municipio de Campohermoso Boyacá. 23.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367-382.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. 46.
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V., & Beltrán, C. (2016). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo*, 27(1).
- Feberi, A., Clemente, N., Manetti, P., & López, A. (2014). Nivel de daño económico de *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804) (Crustacea: Isopoda) en el cultivo de girasol. *RIA*, 183-184.
- Fish, J. S., Tompson, J. D., & McCay, T. S. (2013). Soil liming mitigates the negative effect of simulated acid rain on the isopod, *Porcellio scaber*. *Journal of Crustacean Biology*, 33(3), 440-443. doi: 10.1163/1937240X-00002136
- Gabellone, C., Larsen, C., & Marrochi, N. (2016). Efectos de diferentes densidades de bicho bolita *Armadillidium vulgare* sobre cultivos de soja y su relación con la siembra directa.: Cátedras.
- Ganchozo, W., & Huaraca, H. (2017). *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integral del cultivo de palma aceitera (Elaeis guineensis, Jacq)*. Santo Domingo, Ecuador: Estación experimental Santo Domingo.
- García, Y. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource. 35(2), 15.
- Gerlach, J., Samways, M., & Pryke, J. (2013). Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, 17(4), 831-850. doi: 10.1007/s10841-013-9565-9
- Gómez, L. A., Cruz-Dominguez, A., Jiménez-Madrid, D., Ocampo-Duran, Á., & Parra-González, S. (2016). BIOCHAR COMO ENMIENDA EN UN OXISOL Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE MAÍZ. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19, 341-349.

- Guerrero, J. R. (2017). Controlador biológico de hormiga arriera. 103.
- Heike, A. (2011). Los factores ambientales en relación con la hormiga arriera (*Atta sexdens*) en el sur del trapezio amazónico, Colombia
- Heliconia, M. (2008). nuprec.com. *nuprec.com*.
http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Magnesio/Preguntas%20Frecuentes%20Mg.pdf
- Henao, H. O. (2012). Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. 70.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín, Colombia.
- Julie, A., Morgan, B., & Gillett, J. (2015). Featured Creatures. *Featured Creatures*.
http://entnemdept.ufl.edu/creatures/MISC/Armadillidium_vulgare.htm
- Lawes, M. J., Moore, A. M., Andersen, A. N., Preece, N. D., & Franklin, D. C. (2017). Ants as ecological indicators of rainforest restoration: Community convergence and the development of an Ant Forest Indicator Index in the Australian wet tropics. *Ecology and evolution*, 7(20), 8442-8455.
- Lema Veloz, N. C. (2016). *Determinación de la macrofauna edáfica en distintos usos de suelos en tres agroecosistemas de la comunidad de Naubug*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- León, L. (1991). La experiencia del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17(1-4), 49-69.
- Machoa, A. N. D. (2015). Evaluación de la composición florística y estructura del remanente de bosque en las áreas ganaderas del centro de investigación, posgrado y conservación amazónica "CIPCA" cantón santa clara, provincia de Pastaza, Ecuador., 126.
- Martínez, J. F., & Montoya, M. E. S. (2002). Desechos de hormiga arriera (*Atta mexicana* Smith), un abono orgánico para la producción hortícola. *Terra Latinoamericana*, 20(2), 153-160.
- Medina, M. H., & Ramos-Jiliberto, R. (2009). Direcciones futuras de la ecotoxicología en Chile: implicancias para la evaluación de riesgo ambiental de productos veterinarios utilizados en acuicultura. *Revista chilena de historia natural*, 82(3). doi: 10.4067/S0716-078X2009000300010

- Montoya Lerma, J., Chacón De Ulloa, P., & Rosario Manzano, M. (2006). Characterization of the nest of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) in Cali (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 32(2), 151-158.
- Ortega Hernández, J. P. (2019). *Determinación de la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con aliso (Alnus acuminata), acacia (Acacia melanoxylon) y un pastizal convencional como indicador biológico*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Pacheco, Y. P. P. (2017). *Cephalotes (L.) En la estación primates- municipio de Colosó*. 59.
- Rico, D. (2010). *Métodos no-paramétricos de uso común*. 24.
- Rodríguez, J., Calle, Z., & Montoya-Lerma, J. (2015). Herbivory of *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) on three plant substrates. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(2), 156-162.
- Sánchez Gimeno, B., Sánchez Cabrero, B., & Varela González, J. (1987). *Microcosmos terrestre: una técnica para la evaluación de los efectos producidos por los contaminantes*. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Santorufu, L., Van Gestel, C. A., Rocco, A., & Maisto, G. (2012). Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution*, 161, 57-63.
- Serrano, A. A., Sanz, L. G., Rodrigo, I. L., Gordo, E. G., Álvaro, B. G., & Brea, L. R. (2016). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. 33.
- Silva, A., Bacci, M., Pagnocca, F. C., Bueno, O. C., & Hebling, M. J. (2006). Production of polysaccharidases in different carbon sources by *Leucoagaricus gongylophorus* Möller (Singer), the symbiotic fungus of the leaf-cutting ant *Atta sexdens* Linnaeus. *Current microbiology*, 53(1), 68-71.
- Snyder, B. A., & Hendrix, P. F. (2008). Current and Potential Roles of Soil Macroinvertebrates (Earthworms, Millipedes, and Isopods) in Ecological Restoration. *Restoration Ecology*, 16(4), 629-636. doi: 10.1111/j.1526-100X.2008.00484.x
- Valencia, P. (Producer). (2012, Marzo 12). Fauna exótica. *Fauna exótica*. Retrieved from <https://www.faunaexotica.net/threads/mantenimiento-y-cria-en-cautividad-de-isopodos-como-alimento-vivo.78868/>

- Vasconcellos, N. J. S., , R. F., Bins, F. H., & da Silva, B. L. (2015). Reservas legais: um importante refúgio para os isópodos terrestres em áreas agrícolas. *Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(3), 676-684.
- Villamagua Vergara, G. C. (2006). *Establecimiento del sistema agroforestal de cultivos en callejones, utilizando gliricidia sepium (jacq.) kunth ex walp. en asociación con dos cultivos alimenticios: maíz (zea mays l.) y caupí (vigna unguiculata l.), en la estación experimental el padmi.*
- Waller, A. (2015). Ficha zoológica Armadillidium vulgare, Latreille, 1804 (Crustacea: Isopóda): Noticias de la SZU.
- Yanez, W. Á., Pomboza-Tamaquiza, P., Valle-Velastegui, L., Villacis, L., & Frutos, V. (2018). Evaluation of the bioindicators of soil quality in three altitudinal zones of Tungurahua, Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(1).
- Zapata, E. (2017). Porcellio laevis Latreille, 1804 (Isopoda: Porcellionidae) como bioindicador para evaluación de plomo.
- Zapata, F., & Roy , R. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Roma: FAO : Organismo Internacional de Energía Atómica.

CAPÍTULO VII

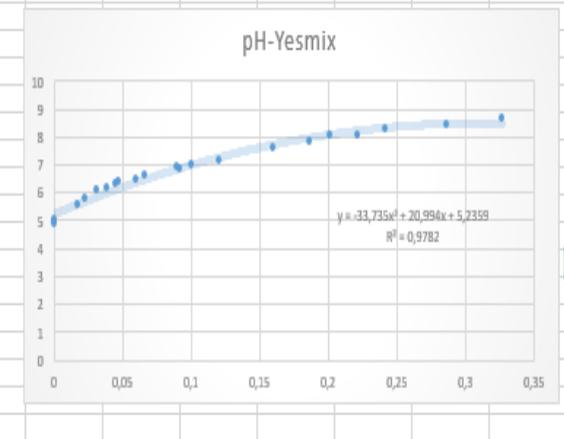
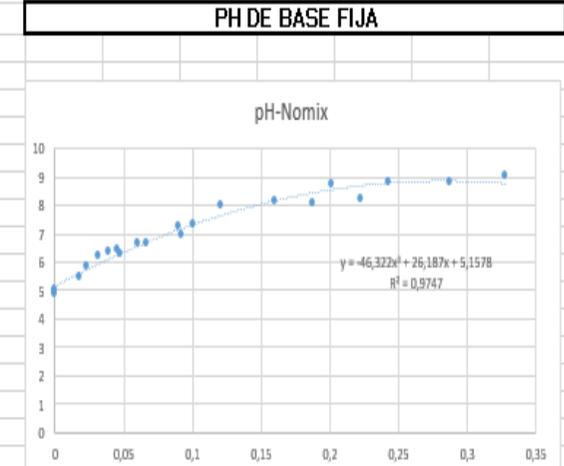
7 ANEXOS

Anexo 1. Archivo sobre zonas de recolecta de las especies *Atta sp.* y *Armadillidium sp.*

	A	B	C	D	E	F
1	NÚMERO	FECHA	NOMBRE	SUSTANCIA	x	y
2	1	Semana 1	Atta sp.	CAL	179014	9862928
3	2	Semana 1	Atta sp.	CAL	178238	9862501
4	3	Semana 1	Armadillidium sp.	CAL	178624	9863013
5	4	Semana 1	Armadillidium sp.	CAL	178595	9862971,15
6	5	Semana 1	Armadillidium sp.	CAL	178978	9863251,35
7	6	Semana 1	Armadillidium sp.	CAL	178580,52	9862974,99
8	7	Semana 2	Armadillidium sp.	CAL	178538,04	9863013,76
9	8	Semana 2	Armadillidium sp.	CAL	178923,11	9862918,58
10	9	Semana 2	Armadillidium sp.	CAL	178637	9863001
11	10	Semana 2	Atta sp.	CAL	177314,05	9862418,88
12	11	Semana 2	Atta sp.	CAL	177333,59	9862376,02
13	12	Semana 2	Atta sp.	CAL	178004,62	9862469,97
14	13	Semana 1	Atta sp.	BIOCHAR	177325,22	9862382,73
15	14	Semana 1	Atta sp.	BIOCHAR	177316,3	9862391,78
16	15	Semana 1	Atta sp.	BIOCHAR	177510,15	9862369,74
17	16	Semana 1	Armadillidium sp.	BIOCHAR	177298,42	9862443,66
18	17	Semana 1	Armadillidium sp.	BIOCHAR	178583,31	9862968,39
19	18	Semana 1	Armadillidium sp.	BIOCHAR	178576,62	9862976,95
20	19	Semana 2	Armadillidium sp.	BIOCHAR	178579,95	9862986,06
21	20	Semana 2	Armadillidium sp.	BIOCHAR	178774,94	9862935,27
22	21	Semana 2	Armadillidium sp.	BIOCHAR	178926,46	9862914,41
23	22	Semana 2	Atta sp.	BIOCHAR	178241,86	9862497,37
24	23	Semana 2	Atta sp.	BIOCHAR	178180,62	9862473,56
25	24	Semana 2	Atta sp.	BIOCHAR	178204,01	9862471,65
26	25	Semana 1	Atta sp.	SO4Mg	178238	9862491
27	26	Semana 1	Atta sp.	SO4Mg	178215,71	9862471,94
28	27	Semana 1	Atta sp.	SO4Mg	178208,49	9862453,8
29	28	Semana 1	Atta sp.	SO4Mg	178244,07	9862510,17
30	29	Semana 1	Armadillidium sp.	SO4Mg	178926,46	9862915,18
31	30	Semana 1	Armadillidium sp.	SO4Mg	178577,18	9862970,71
32	31	Semana 2	Armadillidium sp.	SO4Mg	178666,8	9863024
33	32	Semana 2	Armadillidium sp.	SO4Mg	178573,73	9862973,65
34	33	Semana 2	Armadillidium sp.	SO4Mg	178929,81	9862909,25
35	34	Semana 2	Atta sp.	SO4Mg	179073,44	9862968,73
36	35	Semana 2	Atta sp.	SO4Mg	178573,72	9862980,36
37	36	Semana 2	Atta sp.	SO4Mg	178551	9862974,91
38	37	Semana 1	Atta sp.	Roca Fosforica	178616,78	9862925,12
39	38	Semana 1	Atta sp.	Roca Fosforica	178573,72	9862984,65
40	39	Semana 1	Atta sp.	Roca Fosforica	178680,29	9862906,04
41	40	Semana 1	Armadillidium sp.	Roca Fosforica	178911,95	9862939,33
42	41	Semana 1	Armadillidium sp.	Roca Fosforica	178895,89	9862960,47
43	42	Semana 2	Armadillidium sp.	Roca Fosforica	178898,69	9862838,22
44	43	Semana 2	Armadillidium sp.	Roca Fosforica	178899,85	9862797,76
45	44	Semana 2	Armadillidium sp.	Roca Fosforica	178620,03	9863008,04
46	45	Semana 2	Atta sp.	Roca Fosforica	178922	9862919,14
47	46	Semana 2	Atta sp.	Roca Fosforica	178943,22	9862864,92
48	47	Semana 2	Atta sp.	Roca Fosforica	179072,32	9862973,96

Anexo 2. Elaboración de 22 ensayos para determinar la cantidad de cal para elevar el pH

	A	B	C	D	E	F	PH DE BASE FIJA				DE CAMPO		M	N	O	P	Q	R	S	T	
1																					
2	N	Adición de cal	Suelo (g)	Suelo + cal	Adición de cal corregida	Agua (2.5l)	pH-Nomix	pH-Yesmix	T (°C)	T (°C)	pH-Nomix	pH-Yesmix	PH DE BASE FIJA								
3	1	0			0		4,97	4,94	26,6	27,3	4,4	4,3									
4	2	0			0		4,9	4,9	27,2	27,2	4,3	4,3									
5	3	0			0		5	5,07	26,8	27,1	4,4	4,3									
6	4	0,015	10,025	10,043	0,018	25	5,45	5,58	26,7	26,6	5,3	5,1									
7	5	0,015	10,04	10,063	0,023	25	5,88	5,8	27,1	26,6	5,6	5,4									
8	6	0,03	10,007	10,038	0,031	25	6,22	6,08	27	26,6	5,8	5,5									
9	7	0,03	10,089	10,128	0,039	25	6,34	6,18	26,8	27	6,18	6,1									
10	8	0,045	10,012	10,057	0,045	25	6,44	6,31	26,8	26,7	6,2	5,9									
11	9	0,045	10,017	10,064	0,047	25	6,27	6,39	26,8	26,9	6,3	5,9									
12	10	0,06	10,007	10,073	0,066	25	6,66	6,66	26,8	26,9	6,6	6,2									
13	11	0,06	10,012	10,072	0,06	25	6,65	6,5	26,9	26,9	6,5	6									
14	12	0,09	10,036	10,126	0,09	25	7,25	6,91	26,9	26,9	7,3	6,5									
15	13	0,09	10,008	10,1	0,092	25	6,99	6,85	26,9	26,9	7,1	6,3									
16	14	0,1	10,018	10,118	0,1	25	7,36	6,98	27	27	7,4	6,6									
17	15	0,12	10,016	10,137	0,121	25	7,99	7,18	26,8	27	7,6	6,9									
18	16	0,16	10,014	10,174	0,16	25	8,13	7,64	27	27,1	8,1	7,5									
19	17	0,18	10,004	10,191	0,187	25	8,07	7,83	26,9	27,1	8,3	7,7									
20	18	0,2	10	10,201	0,201	26	8,71	8,06	27	27,2	8,6	7,9									
21	19	0,22	10,03	10,252	0,222	26	8,26	8,03	27	27,1	8,6	7,9									
22	20	0,24	10,018	10,26	0,242	26	8,8	8,3	26,9	27	8,8	8,2									
23	21	0,26	10,009	10,336	0,327	26	9,01	8,7	27,1	27,1	9,3	8,7									
24	22	0,28	10,012	10,299	0,287	26	8,8	8,46	27,1	26,9	8,8	8,5									
25	23	2	10,002	12,004	2,002	30	12,29	12,4	27,9	27,7	12,5	12,5									
26	24	10	10,003	20,003	10	50	12,48	12,55	28,1	28	12,6	12,7									
27	1		Agua destilada			100	8,03	7,94	26,7	26,7	7,6	7,1									
28	2		Agua destilada			100	8,71	7,94	26,5	26,7	7,4	7,2									
29	3		Agua destilada			100	8,15	8,18	26,6	26,8	7	6,9									
30			Calib 4				4,39				4										
31			Calib 4				4,34				4										
32			calib 7				7,25				7										
33			calib 7				7,3				7										
34																					
35																					



Anexo 3. Ensayo de pH

SEMANA 1			SEMANA 2		
MEDICIÓN DE pH (ANTES)			MEDICIÓN DE pH (ANTES)		
°N	Cantidad de suelo (g)	pH	°N	Cantidad de suelo (g)	pH
1	10,04	5,3	1	10,01	5,5
2	10,08	5,6	2	10,09	6
3	10,02	5,3	3	10,03	5,7
4	10,04	5,4	4	10,04	5,7
Promedio		5,4	Promedio		5,7
DOSIFICACIÓN DE pH			DOSIFICACIÓN DE pH		
pH	Cal (10g)	Cal (1850g)	pH	Cal (10g)	Cal (1850g)
5,4	No	No	5,7	No	No
6,4	0,06	11,1	6,7	0,08	14,8
7,4	0,11	20,35	7,7	0,16	29,6
8,4	0,29	53,65	8,7	0,3	55,5
MEDICIÓN DE pH (DESPUÉS)			MEDICIÓN DE pH (DESPUÉS)		
Tipo de muestra	Cantidad de suelo (g)	pH	Tipo de muestra	Cantidad de suelo (g)	pH
Sin cal	10,01	6,2	Sin cal	10,04	6,3
Ph+1 (11,1 g)	10,03	7,3	Ph+1 (14,8 g)	10,05	7,5
Ph+2 (20,35 g)	10,02	8	Ph+2 (29,6 g)	10,02	8,4
Ph+3 (53,65g)	10,02	8,8	Ph+3 (55,5g)	10,02	9,5

Anexo 4. Ensayo de biochar

Se coloca(5000000 g; 5000kg; 5toneladas) de biochar en una hectárea (10000m2)				SEMANA 1		
Gramos (g)		Área (m2)	Gramos	MEDICIÓN DE pH (DESPUÉS)		
5000000	10000		Resultado	Biochar (T/ha)	Cantidad de suelo (g)	pH
X	0,009305		4,65	No	10,03	5,9
Se coloca (10000000 g; 10000kg; 10 toneladas) de biochar en una hectárea (10000 m2)				5 T/ha		
Gramos (g)		Área (m2)	Gramos	10 T/ha		
10000000	10000		Resultado	10,03		
X	0,009305		9,31	5,7		
Se coloca (20000000g; 20000kg; 20 toneladas) de biochar en una hectárea (10000 m2)				20 T/ha		
Gramos (g)		Área (m2)	Gramos	SEMANA 2		
20000000	10000		Resultado	MEDICIÓN DE Ph (DESPUÉS)		
X	0,009305		18,61	Biochar (T/ha)	Cantidad de suelo (g)	pH
				No	10,04	6,1
				5 T/ha		
				10 T/ha		
				20 T/ha		
				10,03		
				10,04		
				10,04		
				5,8		
				5,7		
				5,8		

Anexo 5. Ensayo de sulfato de magnesio

Se colocó 1111 gramos por 143 plantas (158,873gramos) de roca fosfórica en una hectárea (10000m2)						
Gramos (g)	Área (m2)					Gramos
158873	10000				Dosis alta	0,2957
X	0,009305		Gramos		Dosis media	0,1478
		Resultado	0,1478		Dosis baja	0,0739
SEMANA 1			SEMANA 2			
Sulfato de Magnesio (gramos)	Cantidad de suelo (gramos)	Valor de pH		Sulfato de Magnesio (gramos)	Cantidad de suelo	Valor de pH
NO	10,02	5,5		NO	10,03	5,9
Dosis baja (0,0734)	10,01	5,6		Dosis baja (0,0734)	10,02	5,7
Dosis media(0,1478)	10,02	5,5		Dosis media(0,1478)	10,04	5,6
Dosis alta (0,2956)	10,03	5,3		Dosis alta (0,2956)	10,03	5,5

Anexo 6. Ensayo de roca fosfórica

Se coloca 225000 gramos de roca fosfórica en una hectárea (10000m2); a la floración de cuarto año CACAO						
Gramos (g)	Área (m2)					Gramos
225000	10000		Gramos		Dosis alta	0,4187
X	0,009305	Resultado	0,2094		Dosis media	0,2094
					Dosis baja	0,1047
Roca fosfórica (gramos)	Cantidad de suelo (gramos)	pH		Roca fosfórica (gramos)	Cantidad de suelo (gramos)	pH
NO	10,03	6		NO	10,02	5,1
Dosis baja (0,1047)	10,02	6,3		Dosis baja (0,1047)	10,02	4,9
Dosis media (0,2094)	10,03	6,1		Dosis media (0,2094)	10,04	4,9
Dosis alta (0,4187)	10,01	5,9		Dosis alta (0,4187)	10,07	4,8

Anexo 7. Preparación del suelo, para los microcosmos



Anexo 8 Colocación de los recipientes de aluminio en los microcosmos, mediante el método estratificado totalmente al azar.

		'N de microcosmos				'N de microcosmos	
a	█	c	1	a	█	d	7
d	█	b		c	█	b	
d	█	a	2	b	█	a	8
c	█	b		c	█	d	
a	█	b	3	c	█	d	9
c	█	d		b	█	a	
b	█	d	4	d	█	a	10
c	█	a		c	█	b	
c	█	b	5	b	█	c	11
d	█	a		a	█	d	
c	█	a	6	d	█	a	12
d	█	b		b	█	c	



Anexo 9 Capacidad de campo de la parcela baja

	A	K	U	V	W	X	Y
1	# Muestra	altura	% capacida de campo		# Muestra	Capacidad de Campo (100%)	CC(50%)
2	0-5	5	97,77		de0a5	97,70	49
3	5_10	4,8	75,72		de5a10	78,47	47
4	10_20	5	71,16		de10a20	78,08	47
5	20_30	5	69,08		de20a30	85,59	51
6	30-60	5	60,74		de30a60	58,29	35
7	0-5	5	129,80				
8	5_10	5	89,63				
9	10_20	5	87,35				
10	20_30	5	82,82				
11	30-60	5,1	64,62				
12	0-5	5	110,97				
13	5_10	5	81,72				
14	10_20	5	80,27				
15	20_30	5	78,75				
16	30-60	5,1	55,00				
17	0-5	5	118,71				
18	5_10	4,9	96,26				
19	10_20	5	76,97				
20	20_30	5	69,18				
21	30-60	5,1	47,91				
22	0-5	5	113,47				
23	5_10	5	84,04				
24	10_20	5	72,07				
25	20_30	5	53,60				
26	30-60	5	59,07				
27	0-5	5	70,32				
28	5_10	5	69,35				

Anexo 10. Recolecta de las especies *Atta* sp. y *Armadillidium* sp.



Anexo 11. Cantidad de agua destilada al 40% y 10%

CAPACIDAD DE CAMPO					
Gramos	Mililitros				
100	97,7				
152,44	X				
Agua destilada (ml)					
148,93					
CANTIDAD DE AGUA DESTILADA AL 40%				CANTIDAD DE AGUA DESTILADA	
Mililitros	Porcentaje (%)		40%		10%
148,93	100		60ml		15ml
X	40				
Total de agua destilada al 40%					
59,57	60 ml				
CANTIDAD DE AGUA DESTILADA AL 10%					
148,93	100				
X	10				
Total de agua destilada al 10%					
14,893388	15 ml				

Anexo 12. Conteo de la especie *Armadillidium* sp. según su preferencia de pH después de 24 horas.



Anexo 13. Recolecta del suelo, después de terminar con el tratamiento con su respectiva etiqueta.



Anexo 14. Base de datos ordenados para trabajar en el software RStudio

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Cajas	Orden	pHantes	pHdesp	localidad	Fecha	Latitud	Longitud	Organismo	Cantidad	CantPor	Muertas	Escapadas
15	4	1		7,3	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	3	15	0	0
16	4	1		8	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	7	35	0	0
17	4	1		8,8	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	2	10	1	0
18	5	1		6,2	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	3	15	0	0
19	5	1		7,3	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	6	30	0	0
20	5	1		8	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	2	10	0	0
21	5	1		8,8	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	4	20	0	0
22	6	1		6,2	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	3	15	0	0
23	6	1		7,3	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	2	10	1	0
24	6	1		8	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	2	10	0	0
25	6	1		8,8	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta sp.	6	30	0	0
26	7	1		6,2	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	2	10	0	1
27	7	1		7,3	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	9	45	0	0
28	7	1		8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	5	25	0	0
29	7	1		8,8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	1	5	0	0
30	8	1		6,2	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	6	30	0	0
31	8	1		7,3	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	2	10	0	0
32	8	1		8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	7	35	0	0
33	8	1		8,8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	2	10	0	0
34	9	1		6,2	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	4	20	0	0
35	9	1		7,3	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	2	10	0	0
36	9	1		8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	4	20	0	0
37	9	1		8,8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	0	0	0	0
38	10	1		6,2	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	10	50	0	0
39	10	1		7,3	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	0	0	0	0
40	10	1		8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	5	25	0	0
41	10	1		8,8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	0	0	0	0
42	11	1		6,2	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	13	65	0	0
43	11	1		7,3	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	4	20	0	0
44	11	1		8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	0	0	0	0
45	11	1		8,8	2	27/11/2019	-01°14.544'	-77°53.462'	Atta sp.	0	0	0	0
46	12	1		6,2	1	27/11/2019	-01°14.313'	-77°53.043'	Atta so.	9	45	0	0

Anexo 15. Análisis de mediana, media y desviación estándar del pH alcanzado después de añadir cal agrícola.

Nivel de pH	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	6,25	6,24	0,07
Más un punto de pH (1)	7,4	7,4	0,1
Más dos puntos de pH (2)	8,2	8,2	0,2
Más tres puntos de pH (3)	9,15	9,15	0,35

Anexo 16. Análisis de mediana, media y desviación estándar del pH alcanzado después de añadir biochar.

Nivel de Biochar.	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	6	6	0,1
5 T/ha	5,75	5,75	0,05
10 T/ha	5,7	5,7	0
20 T/ha	5,65	5,65	0,15

Anexo 17. Análisis de mediana, media y desviación estándar del pH alcanzado después de añadir sulfato de magnesio.

Dosis de MgSO4	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	5,7	5,7	0,2
Dosis baja	5,65	5,65	0,05
Dosis media	5,55	5,55	0,05
Dosis alta	5,4	5,4	0,1

Anexo 18. Análisis de mediana, media y desviación estándar del pH después de añadir roca fosfórica.

Nivel de pH	Mediana	Media	SD
Sin adición (0)	5,5	5,5	0,45
Dosis baja	5,6	5,6	0,71
Dosis media	5,5	5,5	0,61
Dosis alta	5,35	5,35	0,56