

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

TEMA:

“RESPUESTAS CORTAS DE HORMIGAS (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE: ATTINI) EN LABORATORIO, A LOS
CAMBIOS DE CONDICIONES EDÁFICAS CON ENMIENDAS
RESTAURADORAS DE SUELO”

AUTOR:

JOFFRE JASMANY CHELA TENELEMA

DIRECTOR:

MSc. PEDRO DAMIÁN RÍOS GUAYASAMÍN

PUYO-ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Chela Tenelema Joffre Jasmany portador de la cedula de identidad N° 220058523-6, hago constar que soy el autor del proyecto de investigación con el título “RESPUESTAS CORTAS DE HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: ATTINI) EN LABORATORIO, A LOS CAMBIOS DE CONDICIONES EDÁFICAS CON ENMIENDAS RESTAURADORAS DE SUELO” el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, MSc. Pedro Damián Ríos Guayasamín 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 cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

Chela Tenelema Joffre Jasmany

0401885520

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Pedro Damián Ríos Guayasamín, con número de cedula 1716132590 certifico que el egresado Chela Tenelema Joffre Jasmany realizó el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado “RESPUESTAS CORTAS DE HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: ATTINI) EN LABORATORIO, A LOS CAMBIOS DE CONDICIONES EDÁFICAS CON ENMIENDAS RESTAURADORAS DE SUELO”, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.

MSc. Pedro Damián Ríos Guayasamín

1716132590

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado, cuidado y protegido en todo el transcurso de mi vida estudiantil, a mis padres por el apoyo incondicional que siempre me brindaron en toda instancia sin importar los problemas que estuviesen atravesando, a la Universidad Estatal Amazónica y docentes que formaron parte en mi formación como profesional impartiendo sus conocimientos y experiencias. De igual forma quiero agradecer al Msc. Pedro Ríos por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de investigación en la cual pude realizar mi trabajo y poder lograr mi objetivo.

Joffre Chela

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por estar siempre conmigo en todo momento de mi vida y de mi carrera, ya que siempre supieron apoyarme y motivarme, por lo cual he podido superarme y culminar con éxito mi formación profesional.

Joffre Chela

RESUMEN

Los invertebrados del suelo, como las hormigas son consideradas indicadores de las condiciones del ecosistema al ser sensibles a la perturbación y a los cambios ambientales. En el presente estudio se tuvo como objetivo determinar el comportamiento de la mirmecofauna (tribu Attini), a cambios de condiciones edáficas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la biodiversidad Amazónica (CIPCA), en campo y laboratorio. Se muestrearon dos parcelas para poder determinar la abundancia de especies. Se identificó a la hormiga *Trachymyrmex* como la especie bioturbadora perteneciente a la tribu Attini misma que se utilizó para evaluar en condiciones de laboratorio mediante colonias. Estas fueron expuestas en condiciones de pH (3.5, 4.5, 5.5 y 6.5), humedad (0, 25, 50 y 75%) y biocarbón (0, 5, 10 y 15 ton/ha) para conocer sus preferencias, esto se llevó a cabo mediante ensayos en donde se les permitió moverse libremente sobre el suelo enmendado con pH, humedad y biocarbón. Los resultados nos indicaron que para pH prefirieron el suelo con pH 3.5, y para humedad 75%, esto se debe a que éste tipo de hormigas son cultivadoras de hongos y estos se desarrollan mejor en condiciones de pH bajos con altos niveles de humedad, en cuanto al biocarbón sus preferencias fueron muy variadas en donde mostraron mayor presencia de hormigas en 0 y 15 ton/ha, esto nos mostró que la aplicación de biocarbón en suelos degradados este tipo de hormigas no se ven afectadas porque tienden a adaptarse rápidamente a las condiciones del suelo.

Palabras clave: pH, humedad, biocarbón, hormiga.

ABSTRACT

Soil invertebrates such as ants are considered indicators of ecosystem conditions as they are sensitive to disturbance and environmental changes. The objective of this study was to determine the behavior of the myrmecofauna (Attini tribe), changes in soil conditions at the Center for Research, Graduate and Conservation of Amazonian Biodiversity (CIPCA), in the field and laboratory. Two plots were sampled to determine species abundance. The ant *Trachymyrmex* was identified as the bioturbating species belonging to the Attini tribe that was used to evaluate in laboratory conditions through colonies. These were exposed in conditions of pH (3.5, 4.5, 5.5 and 6.5), humidity (0, 25, 50 and 75%) and biochar (0, 5, 10 and 15 ton/ha) to know their preferences, this was carried out through tests in which they were allowed to move freely on the soil amended with pH, humidity and biochar. The results indicated us that for pH they preferred the soil with pH 3.5, and for humidity 75%, this is due to that this type of ants are cultivators of fungi and these develop better in conditions of low pH with high levels of humidity, as for the biochar their preferences were very varied in where they showed greater presence of ants in 0 and 15 ton/ha, this showed us that the application of biochar in degraded soils this type of ants are not affected because they tend to adapt quickly to the conditions of the soil.

Keywords: pH, humidity, biochar, ant.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. GENERAL	3
1.4.2. ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. MACROFAUNA	5
2.2.2. ASPECTOS GENERALES DE LAS HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)	5
2.2.3. DIAGNOSIS DE LA FAMILIA FORMICIDAE	6
2.2.4. BIOLOGÍA DE LA FAMILIA FORMICIDAE	6
2.2.5. IMPORTANCIA DE LAS HORMIGAS	7
2.2.6. LAS HORMIGAS COMO ORGANISMOS DEL SUELO	7
2.2.7. HORMIGAS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL	8
2.2.8. HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: ATTINI)	8
2.2.9. EL SUELO	9
2.2.10. BIOCARBÓN	9
2.2.11. FUNCIONES Y APLICACIONES DEL BIOCARBÓN.	10
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	11
3.1. LOCALIZACIÓN	11
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	12
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	12
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	13
3.4.1. FASE DE CAMPO	13

3.4.2. FASE DE LABORATORIO	15
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	18
4.1. MUESTREO DE LA MIMERCOFAUNA EN PLANTACIONES SILVÍCOLAS	18
4.2. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESPECIE BIOTURBADORA (ATTINI) EN CONDICIONES EDÁFICAS	21
4.2.1. pH (4.5, 5.5 y 6,5)	21
4.2.2. HUMEDAD (0, 25, 50 y 75%).....	23
.....	23
.....	23
4.2.3. CANTIDAD DE BIOCARBÓN (0, 5, 10 y 15 ton/ha).....	25
4.3. COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO Y ABUNDANCIA DE ESPECIES BIOTURBADORAS	26
4.3.1. ABUNDANCIA DE MULTIVARIADOS	26
4.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	27
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
5.1. CONCLUSIONES	29
5.2. RECOMENDACIONES	30
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO VII. ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Matriz de datos para determinar la abundancia de especies.....</i>	15
Tabla 2. <i>Parámetros establecidos para la elaboración de ensayos</i>	16
Tabla 3. <i>Prueba de comparación por pares, con el paquete Phia de R, para determinar la preferencia de pH en hormigas bioturbadoras (Trachymyrmex sp).</i>	22
Tabla 4. <i>Prueba de comparación por pares, con el paquete Phia de R, para determinar la preferencia de humedad en hormigas bioturbadoras (Trachymyrmex sp).</i>	24
Tabla 5. <i>Prueba de comparación por pares, con el paquete Phia de R, para determinar la preferencia de biocarbón en hormigas bioturbadoras (Trachymyrmex sp.).....</i>	25
Tabla 6. <i>Prueba multivariante para las especies presentes en las parcelas.</i>	26
Tabla 7. <i>Géneros con mayor significancia de manera univariable.</i>	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de área de estudio, CIPCA. Fuente: Elaboración propia, 2018.	11
Figura 2. Modelo e ilustración de las parcelas alta y baja en los transectos de muestreo.	13
Figura 3. Abundancia de especies presentes en la parcela alta y baja.	18
Figura 4. Conteo de la mirmecofauna presente en la parcela alta.	19
Figura 5. Conteo de la mirmecofauna presente en la parcela baja.	20
Figura 6. Preferencia de humedad (capacidad de campo) de hormigas bioturbadoras (<i>Trachymyrmex</i> sp.) presentes en las parcela bajo diferentes tratamientos.	21
Figura 7. Preferencia de humedad (capacidad de campo) de hormigas bioturbadoras (<i>Trachymyrmex</i> sp) en suelos aluviales.	23
Figura 8. Figura. Preferencia de biocarbón de hormigas bioturbadoras (<i>Trachymyrmex</i> sp). .	25
Figura 9. Variables ambientales (Tmax, Tmin, M.O y pH) interrelacionadas con las diferentes especies de hormigas.	28

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Los invertebrados son "las pequeñas cosas que gobiernan el mundo" (Edward, 1987), y en ninguna parte esto es más evidente que en las selvas tropicales. Los invertebrados son presas dominantes, depredadores de semillas, herbívoros y polinizadores, en ecosistemas de selva tropical, y se encuentran entre los organismos más importantes para descomponer la materia orgánica muerta (Grove, 2002). Se estima que los bosques tropicales húmedos albergan alrededor de seis millones de especies de invertebrados (Hamilton *et al.*, 2010), y más de 18.000 especies pueden estar presentes en una sola hectárea (Basset *et al.*, 2012). Los invertebrados además de descomponer la materia orgánica también ayuda a la liberación de nutrientes en los bosques tropicales de todo el mundo (Meyer, 2011), pero su impacto puede variar de un sitio a otro dependiendo de la composición química de la vegetación y de la comunidad de los descomponedores (Powers *et al.*, 2009).

Los invertebrados del suelo representan, con su contenido relativamente alto de proteínas, una reserva significativa de nutrientes, como el nitrógeno, que en última instancia puede estar disponible para la producción primaria. Los invertebrados del suelo son también actores importantes en las redes alimentarias terrestres. Son una fuente importante de alimento para muchos invertebrados y vertebrados depredadores (Bilde *et al.*, 2000). Estos a su vez se encuentran dentro de los invertebrados conocidos como microingenieros del medio edáfico entre los cuales conforman las lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta), las termitas (Insecta: Isóptera) y las hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae), ya que construyen galerías en el suelo y mejoran las propiedades físicas de este, al favorecer la aireación y la infiltración de agua (Chávez, Labrada y Álvarez, 2016).

El propósito de este estudio es comparar las preferencias de sustratos con enmiendas restauradoras de suelos, para ello se utiliza la especie bioturbadora de la tribu Attini más abundante que se identifique en la zona de estudio. Se evaluará la preferencia del organismo antes mencionado a niveles de biocarbón, variación de pH y la variación de humedad.

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El biocarbón cambia las condiciones edáficas, y por ende la biota existente en el suelo. Los ingenieros ecosistémicos (Lombrices, termitas y hormigas) remueven miles de toneladas de suelo, proceso que se conoce como bioturbación. Dentro de las hormigas, las que pertenecen a la tribu Attini poseen una capacidad de aumentar macroporos, sin embargo, poco se conoce de su ecología y por lo tanto de la influencia del biocarbón sobre este grupo de organismos. Antes de implantar programas de restauración con el biocarbón es necesario construir modelos (en condiciones controladas) robustos que permitan reconocer su influencia en el ecosistema y en los organismos que facilitan procesos de generación de suelo para poder evaluar su potencial como indicador de procesos de restauración.

1.2.1. JUSTIFICACIÓN

En el presente estudio se realizó un análisis de cómo responde la mirmecofauna cultivadora de hongos (tribu Attini) al cambiar las condiciones edáficas en condiciones controladas, ya que estos organismos desempeñan un papel importante en los ecosistemas del suelo ayudando a la creación de macroporos, transformación y redistribución de materia orgánica. Por lo cual pueden ayudarnos en procesos de restauración edáfica, ya que corresponden al grupo de invertebrados geófagos, bioturbadores y detritívoros (Brown *et al.*, 2015)

Una de las principales razones para ejecutar el estudio es obtener información acerca de las respuestas de la biota Amazónica a potenciales mejoradores de suelos como el biocarbón (biocarbón). Debido a que este (biocarbón) incrementa el pH y contribuye con varios nutrientes, siendo excepcionalmente importante en suelos ácidos tropicales. Se propuso hacer un ensayo con una especie (tribu Attini) más representativa; su importancia es porque se verían afectadas cuando se hace el cambio de composición microbiológica.

Los estudios enfocados a determinar la calidad biológica de los suelos y la conservación de los recursos naturales, son el pilar fundamental para su preservación; el presente estudio constituirá un importante aporte al conocimiento de la biota Amazónica, en pro de la restauración edáfica de zonas degradadas de la Amazonía.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Al cambiar las condiciones edáficas con enmiendas restauradoras de suelo qué tipo de comportamiento tendrá las hormigas Hymenoptera: Formicidae: Attini en laboratorio?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

Evaluar el comportamiento de la mirmecofauna (tribu Attini), a cambios de condiciones edáficas en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la biodiversidad Amazónica (CIPCA), en campo y laboratorio.

1.4.2. ESPECÍFICOS

- Realizar un muestreo de la mirmecofauna en plantaciones silvícolas enmendadas con biocarbón, para la determinación de su abundancia, priorizando las hormigas bioturbadoras (Attini).
- Evaluar en condiciones de laboratorio el comportamiento de la especie bioturbadora (Attini) en tres tipos condiciones edáficas (pH, humedad y cantidad de biocarbón).
- Comparar los datos de comportamiento y abundancia en especies bioturbadoras bajo condiciones de campo y laboratorio.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

En Ecuador los estudios de bioturbación en hormigas son relativamente nulos, los trabajos de este tipo se han desarrollado en su gran mayoría en el extranjero. A continuación, se detallan los resultados de estudios similares al presente en diferentes tipos de ecosistemas.

Tschinkel y Seal (2016a) realizaron un estudio de bioturbación por la hormiga hongo que cultiva un huerto, *Trachymyrmex septentrionalis* en el Bosque Nacional Apalachicola, Florida, EE. UU, con la finalidad de confirmar y cuantificar la bioturbación plantando colonias en columnas compuestas de capas de arena de diferentes colores y controlando la deposición estacional de arena de colores, así como la ubicación de la arena en la columna del suelo. La cantidad de cada color de arena depositada en la superficie se determinó de abril a noviembre de 2015. En noviembre, se excavaron colonias y se determinó el color y la cantidad de arena depositada debajo del suelo (principalmente como relleno en cámaras). Extrapolado a uno ha, *T. septentrionalis* depositó 800 kg de arena por año en la superficie y 200 kg adicionales (17% del total excavado) bajo tierra.

Jouquet *et al.* (2006) realizaron una discusión acerca de las termitas, hormigas y lombrices de tierra en el los consideraron como ingenieros del suelo debido a sus efectos en las propiedades del suelo y su influencia en la disponibilidad de recursos para otros organismos, incluidos los microorganismos y plantas. Sin embargo, los vínculos entre sus impactos sobre el medio ambiente del suelo y la modificación resultante de las presiones de selección natural sobre los ingenieros, así como sobre otros organismos, han recibido poca atención.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MACROFAUNA

La macrofauna (>2mm) del suelo desempeña un papel esencial en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que condicionan la calidad del suelo y la productividad del agroecosistema; a su vez la productividad sostenible de los cultivos en los agroecosistemas depende de la abundancia de la macrofauna del suelo y de la biodiversidad. La comunidad de la macrofauna del suelo abarca una amplia gama de organismos (Lombrices, termitas y hormigas) que desempeñan un papel importante en la fertilidad del suelo al mejorar, mezclar, la macroporosidad y la mineralización de la materia orgánica, ayudando a mejorar la estructura del suelo, el intercambio gaseoso, la infiltración y la retención de agua y las propiedades químicas del suelo (Phopi *et al.*, 2017)

2.2.2. ASPECTOS GENERALES DE LAS HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)

Las hormigas dominan una importante parte de la diversidad de insectos, se registran 13 456 especies y 334 géneros válidas (Bolton, 2018). En la región Neotropical, que comprende desde el Norte de México hasta el centro de la Argentina, la familia Formicidae está constituida por 8 subfamilias, 43 tribus y 119 géneros (Fernández, 2003a).

Las hormigas suelen ser insectos eusociales ya que comparten un nido durante varias generaciones, comparten el cuidado de la cría por su madre, o por las obreras y presentan una distribución reproductiva del trabajo (Flores, 2012).

Las hormigas son consideradas como importantes indicadores ecológicos y geográficos, porque reúnen la mayoría de los requisitos necesarios como: diversidad, abundancia y la diversidad de hábitos dentro de un mismo grupo, entre otros (Arenas y Armbrrecht, 2018), de igual forma, presentan una extensa gama de agrupaciones tróficas y funcionales que operan en la mayoría de los estratos de los agroecosistemas, brindando servicios ecosistémicos, como el control de potenciales plagas, polinización o la introducción de materia orgánica en el medio edáfico (Dias *et al.*, 2013).

Lo más característico de las hormigas es su diversidad taxonómica y funcional, abundancia local y regional, fidelidad ecológica, intolerancia a cambios ambientales, estabilidad temporal de sus colonias, su propagación, facilidad de colecta, y su eusocialidad; es decir organismos que tienen un alto nivel de organización social, las cuales han sido posicionados entre los artrópodos mejores estudiados (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015a).

2.2.3. DIAGNOSIS DE LA FAMILIA FORMICIDAE

Según Bolton (2003) la familia Formicidae corresponde al Orden Himenóptera, y son característicos por ser:

Vespóideos aculeados (posee aguijón), la cabeza es prognata (mandíbulas salientes) en el caso de las hembras (obreras y reina). La antena tiene 4 a 12 segmentos en la casta de las hembras, con 9-13 segmentos en los machos. La antena es geniculada o acodada entre el largo segmento basal (escapo) y los segmentos funiculares restantes. El segundo segmento abdominal está reducido, formando un nodo o una escama (el peciolo), aislado del mesosoma y de los restantes segmentos abdominales (gasterales) posteriores. Frecuentemente, el tercer segmento abdominal también está reducido y aislado (postpeciolo). Las alas de las reinas son deciduas, desechadas después del apareamiento. La glándula metapleural generalmente está presente en el mesosoma, con su apertura encima de la metacoxa.

2.2.4. BIOLOGÍA DE LA FAMILIA FORMICIDAE

El tiempo de vida de una colonia común se desarrolla en el nido, que puede encontrarse en un tronco, en la hojarasca, debajo del suelo y en las ramas de arbustos en la cual pasarán el resto de sus vidas. Dentro de un nido se encuentra una o más hembras fértiles (reina) que es generalmente más grande que las obreras y con los ovarios desarrollados para la puesta de huevos, las hormigas obreras son los individuos más abundantes y activos dentro de una colonia, los machos tienen la función de fecundar a las hembras durante el vuelo nupcial, los huevos, larvas y pupas son cuidados por las obreras existentes de la colonia (Fernández, 2003b).

Una colonia puede ser implantada por una reina (monoginia) o por varias (poliginia) por lo cual existe varias diferenciaciones entre los dos tipos. Por ejemplo, una reina puede hacerlo sola o escoltada de obreras de la colonia anterior (Ecitoninae) (Branstetter, 2012), y en el caso de la poliginia diversas reinas se juntan y forman un nido y, después de formado, bien mantienen la poliginia o se pelean a muerte hasta que sobreviva una sola reina, que continuará poniendo huevos para mantener a la colonia (Klaus, 1993).

2.2.5. IMPORTANCIA DE LAS HORMIGAS

Debido a su variedad y biomasa existente de hormigas, no sorprende que posean gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas, donde ofrecen servicios ecológicos, debido a que utilizan numerosas capas de nidificación, tienen un amplio espectro de alimentación y se asocian con muchas especies de plantas y animales. Estos a su vez participan en la remoción de diferentes tipos de sustratos y en la recolección de un alimento específico en ciertos lugares del ambiente que propicia el crecimiento de determinadas especies de plantas, asimismo tienen un amplio espectro de alimentación y se asocian con numerosas especies de plantas y animales, desempeñan funciones muy importantes como depredadoras, herbívoras o detritívoras, y participan en los procesos físico-químicos del suelo, así como en la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Simonetti y Brito, 2012a).

2.2.6. LAS HORMIGAS COMO ORGANISMOS DEL SUELO

Las hormigas viven en casi todo tipo de ambientes, se pueden encontrar en el subsuelo y en las copas de los árboles, son habitantes del suelo por excelencia, en su gran mayoría de especies viven en nidos subterráneos, en la hojarasca o en la madera en descomposición depositada en el suelo. Los efectos de las hormigas en el suelo suelen ser muy benéficos, estas realizan la descompactación, el enriquecimiento en nutrientes y la mayor retención del agua, entre otros, los cuales deberían ser aprovechados en los sistemas agrícolas, principalmente en los diseñados sobre bases agroecológicas, el cual consiste optimizar los procesos ecológicos y se aprovechar los servicios que brinda la biodiversidad funcional (Simonetti y Brito, 2012b).

2.2.7. HORMIGAS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL

Las hormigas (Formicidae) pertenecen a la fauna edáfica más abundante y conspicua especialmente en los trópicos, estos son los encargados de remover constantemente partículas del sustrato donde habitan, favoreciendo el flujo de nutrientes y su mineralización, además contribuyen a mejorar su textura, afectan el pH y promueven la actividad microbiana (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015b). Ascuntar, Armbrrecht y Torres (2018) aseguran que participan activamente en la dispersión de semillas, por lo que son calificadas como funcionarios significativos en la reparación de zonas degradadas producidas por el aprovechamiento minero, así como también para la evaluación de los procesos de restauración ecológica.

Las hormigas por abundancia y diversidad constituyen un grupo importante desde el punto de vista ecológico, como indicadoras de cambios ocasionados por influencia humana o por agentes naturales en los ecosistemas e incluso como indicadoras de diversidad (González-Valdivia *et al.*, 2013).

2.2.8. HORMIGAS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: ATTINI)

Las hormigas de la tribu Attini pertenecen a la subfamilia Myrmicinae, un grupo monofilético de hormigas que surgió hace unos 50 millones de años y tienen una relación simbiótica con hongos que cultivan para su alimentación. Esta tribu es exclusiva del Nuevo Mundo y se encuentra principalmente en el Neotrópico (Campos *et al.*, 2013).

Los géneros cortadores de hojas *Atta* y *Acromyrmex*, son los herbívoros dominantes en los ecosistemas neotropicales; estos a su vez se encuentran divididos en dos grupos informales: Attini inferiores y superiores, las primeras parafiléticas con respecto a las segundas. Las hormigas Attini superiores incluyen, además de los cortadores de hojas, los géneros *Trachymyrmex* y *Sericomyrmex* que no cortan hojas. Todas las Attini superiores cultivan hongos altamente derivados de la simbiosis (Ješovnik *et al.*, 2016).

Todas las hormigas superiores que no cortan hojas cultivan sus hongos simbióticos con detritus de plantas, fragmentos de flores, semillas y heces de artrópodos como sustratos, que

son adecuados para el crecimiento de los hongos leucocoprínicos (Castaño-Meneses *et al.*, 2017).

2.2.9. EL SUELO

El suelo es el producto final de la influencia del tiempo, clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano) y materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (FAO, 2018).

El suelo está formado a partir de los horizontes superficiales o externos de las rocas, que fueron modificados de manera natural mediante la acción conjunta del agua, el aire y las distintas clases de organismos vivos y muertos. La fauna del suelo constituye el 10 % de esta biota, y comprende aquellos organismos que pasan toda o una parte de su vida en el interior del suelo, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial, en los troncos caídos en descomposición y en otros ambientes anexos llamados suelos suspendidos (Cabrera *et al.*, 2017).

2.2.10. BIOCARBÓN

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de la biomasa (tales como la madera, el estiércol y/o residuos de cultivos) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas ($< 700\text{ }^{\circ}\text{C}$) y que es destinado a uso agrícola (Escalante *et al.*, 2016). Utilizado principalmente para aumentar la fertilidad de los suelos, al mismo tiempo que mejora el secuestro de carbono orgánico y disminuya la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo (Lefebvre *et al.*, 2018).

El biocarbón es un abono orgánico compuesto de carbón puro y estable, su estructura es altamente porosa y se comporta como una esponja que absorbe los nutrientes del suelo manteniéndoles a disposición de la planta para mejorar su desarrollo, sus numerosas cavidades sirven como casa para los microorganismos del suelo aumentando su número y variedad, asegurando así la buena calidad del suelo (CINCIA, 2017).

2.2.11. FUNCIONES Y APLICACIONES DEL BIOCARBÓN.

El biocarbón tiene una estructura muy porosa con pequeños vacíos a lo largo de su superficie la cual actúa como portador de microorganismos (bacterias y hongos benéficos), por lo que su adición al suelo puede aumentar la población de hongos micorrízicos, las cuales ayudan a procesar la materia orgánica creando nutrientes para las plantas y ayudando a regenerar el suelo constantemente, creando así una fertilidad a largo plazo. En la agricultura el biocarbón aumenta el rendimiento y productividad, aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, disminuye las enfermedades de las plantas y ayuda a restaurar la vida de suelos devastados (Kastner, 2014).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El lugar de intervención donde se realizó el estudio es en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la biodiversidad Amazónica (CIPCA), situado en la Región Amazónica Ecuatoriana, en la Provincia de Pastaza y Napo, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola; a cuarenta y cinco minutos de la vía Puyo – Tena km. 44 junto a la desembocadura del río Piatúa y Anzú (UEA, 2017) (Figura 1). El CIPCA se encuentra en una zona tropical donde la precipitación anual alcanza los 4000 mm, la humedad relativa es del 80% y la temperatura varía entre 15 a 25 °C. Su topografía se caracteriza por relieves ligeramente ondulados sin pendientes pronunciadas, distribuidos en mesetas naturales de gran extensión; la altitud varía entre los 580 y 990 msnm (UEA, 2018).

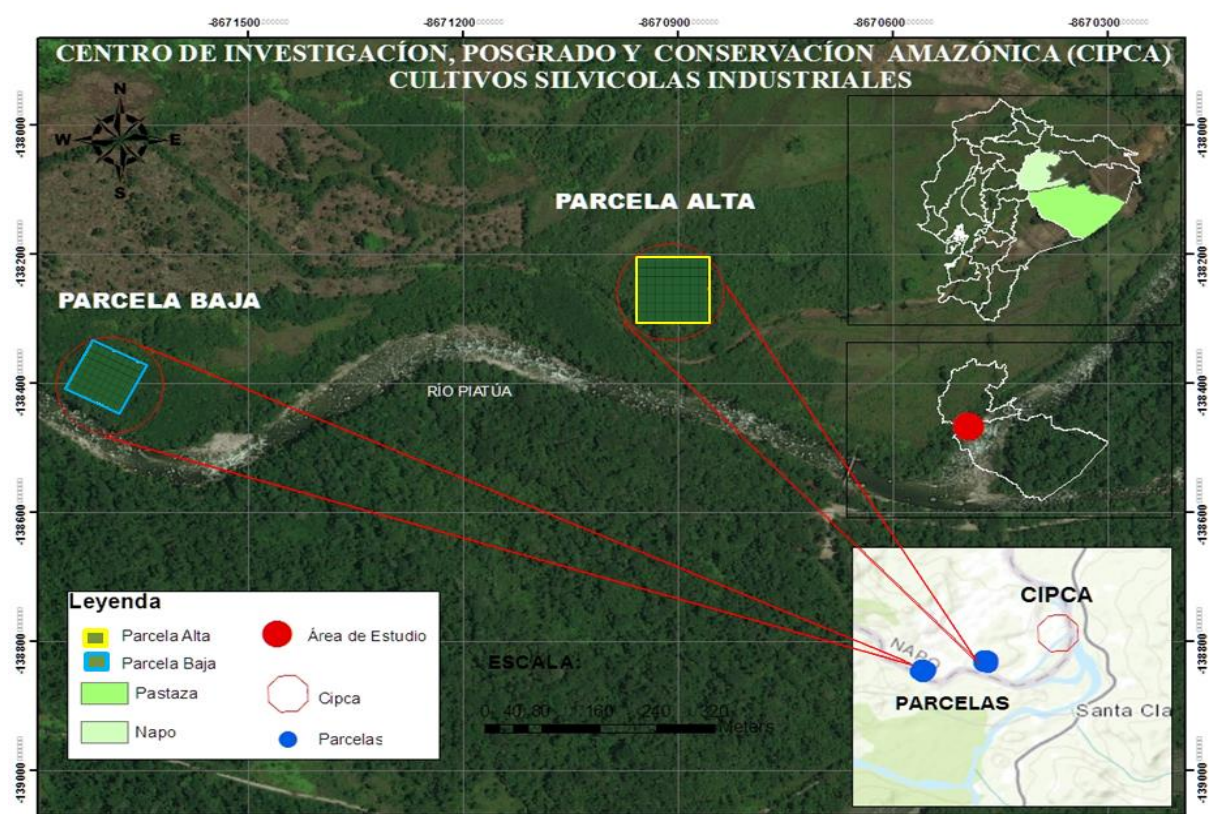


Figura 1. Ubicación de área de estudio, CIPCA. Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las parcelas a ser utilizadas en la fase de campo corresponden a las parcelas permanentes de sistemas silvícolas industriales, enmarcadas dentro del proyecto SSIEV, el cual busca identificar árboles nativos (*Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm. y *Myroxylon balsamum* (L.) Harms) promisorios a ser utilizados como productos forestales no maderables (Ríos Guayasamín, 2013). Dentro de estas parcelas se instalaron ensayos de biocarbón de 10x10 metros con seis réplicas por parcela en monocultivos de *O. quixos*, seis en monocultivos de *M. balsamum* y seis en cultivos asociados de *M. balsamum* y *O. quixos* con el doble de parcelas control del mismo tamaño (Ríos Guayasamín, 2017). La parcela alta está ubicada aproximadamente a 150 m en línea recta del río Piatúa y la parcela baja a unos 10 m del río Piatúa.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación ejecutados para este proyecto son dos:

Experimental: se basó en estudiar las condiciones de suelos preferidos por la especie (Attini).

Descriptiva: principalmente consistió en describir los comportamientos que presenta la mirmecofauna (Attini) de la parcela baja del CIPCA, en colecciones con trampas específicas para especies cultivadoras de hongos.

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se realizó bajo dos métodos de investigación:

- Método analítico
- Método comparativo

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. FASE DE CAMPO

Etapa 1: para el proceso de selección de la macrofauna edáfica a estudiar se basó conforme a la clasificación de Brown *et al.* (2015), que agrupa a los organismos del suelo de acuerdo a sus funciones ecológicas, en las cuales están: geófagos/bioturbadores; detritívoros/descomponedores; fitófagos/plagas y depredador/parásito. Para este estudio sólo se centró en los geófagos/bioturbadores y detritívoros/descomponedores, que son las (Hymenoptera: Formicidae).

Transectos de muestreo: los transectos para el muestreo se utilizaron de acuerdo a los tratamientos que cuenta la parcela S1 y S2 (sin carbón), C1 y C2 (con carbón) (Figura 2).

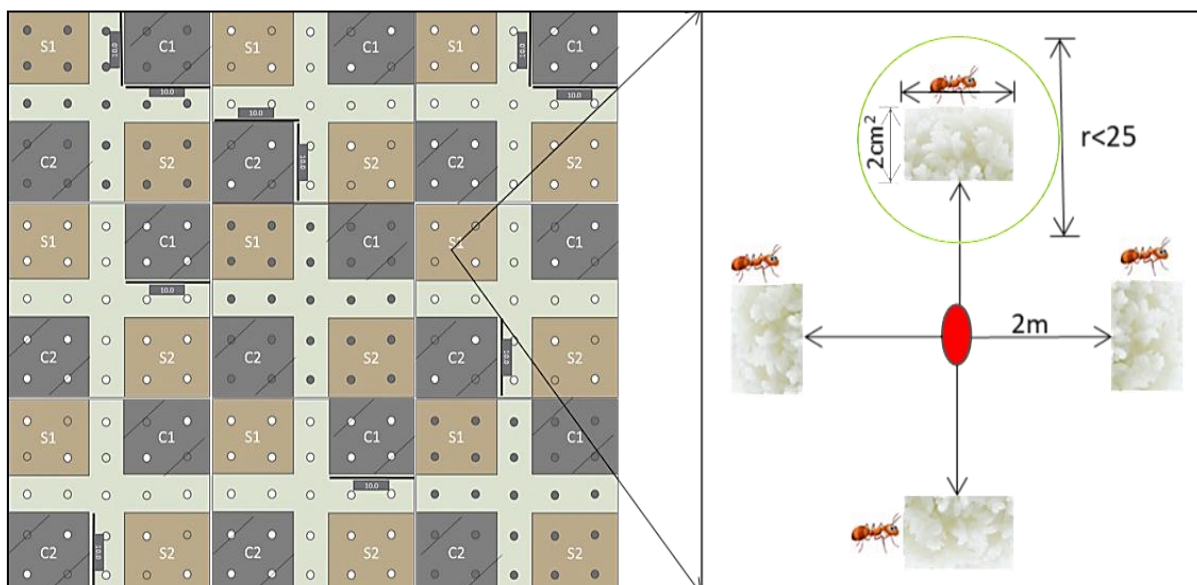


Figura 2. Modelo e ilustración de las parcelas alta y baja en los transectos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Muestreo de Attini: el muestreo de hormigas Attini, se utilizó como cebo crema de arroz, metodología propuesta por Sosa-calvo *et al.* (2017). Basado en ello se realizó una colecta de individuos que prefieran arrozillo cocido, el cual se dejó cuatro trozos de 2 cm² por cada tratamiento en estudio durante 2 horas en parcelas con plantaciones silvícolas industriales nativas. Se observó la presencia de Attini y otras hormigas que se encuentren directamente en el arrozillo o los que se encuentren desplazándose de éste a otro sitio (radio < 25 cm) (Anexo 2).

Conteo: se contó la cantidad de morfoespecies encontradas alrededor de cada trozo (relacionándolas con el aprovechamiento del cebo) y se colectó una muestra por morfoespecie identificada en campo para su posterior confirmación en laboratorio (Anexo 3).

Etap 2: Una vez identificado a la especie bioturbadora Attini previamente identificada en laboratorio se procedió a realizar muestreos en los alrededores de cada parcela para la captura de colonias específicamente de hormigas *Trachymyrmex* sp. utilizando la misma metodología propuesta por Sosa-calvo *et al.* (2017). Una vez localizado el lugar donde se encuentran las colonias de hormigas *Trachymyrmex* sp. se procedió a escavar hasta el lugar (60 cm prof. aprox.) donde se encuentra la colonia para después colocarlas en tarrinas separadas y posteriormente conectarlas con una tarrina auxiliar mediante un tubo de media pulgada por cinco centímetros de largo para respectiva conservación (Anexo 4).

Muestreo de suelo para la elaboración de ensayos: el muestreo de suelos tuvo lugar en los alrededores de la parcela baja; este tipo de muestreo se realizó de manera aleatoria sin tomar en cuenta ningún tipo de metodología de muestreo. Primeramente se retiró los restos vegetales (hojarasca) sobre el suelo para proceder a tomar las muestras de suelos, esto se realizó en los alrededores de la parcela a una profundidad de 20 cm, los suelos se recolectaron en lonas para posteriormente trasladarlas a un invernadero del CIPCA en donde se procedió al secado durante 3 días consecutivos. Luego del secado se realizó el molido y matizado del suelo para su almacenamiento en recipientes (Anexo 5).

3.4.2. FASE DE LABORATORIO

Las muestras recolectadas en campo fueron determinadas en el laboratorio de Ecología Tropical natural y aplicada, CIPCA, en lo cual se utilizó cajas Petri y un estereoscopio donde se comparó los especímenes colectados con las imágenes del portal AntWeb designado para Ecuador (www.antweb.org) para su fácil identificación y etiquetado; esto nos permitió encontrar a la hormiga *Trachymyrmex* sp. perteneciente a la tribu Attini (Anexo 6). Posteriormente se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Excel para crear una matriz de datos en donde se registró la información de cada muestra recolectada: código, parcela, bloque, tratamiento, género y número de individuos (**Tabla 1**).

Tabla 1. Matriz de datos para determinar la abundancia de especies.

Código	Parcela	Bloque	Tratamiento	Género
				Número de individuos

Fuente: Elaboración propia.

Hormigas del género *Trachymyrmex*: para hacer mención de la función de la ecología de las especies del género *Trachymyrmex*, estas son típicas de ambientes forestales y dependen de las condiciones específicas de sombreado, humedad y temperatura para sobrevivir mediante el cultivo de hongos para su alimentación (Rocha *et al.*, 2015)

Estas especies de hormigas juegan un papel importante en el medio edáfico ya pueden mover el suelo desde la profundidad hasta la superficie. Esto conlleva a que son agentes bioturbantes (movimiento de suelo bajo tierra), ya que éstos por lo general excavan cámaras subterráneas para construir su jardín y cultivar hongos, y en particular su arquitectura refleja su dependencia obligada de los hongos simbióticos que a su vez determina donde puede aparecer esta especie (Tschinkel y Seal, 2016b).

Elaboración de ensayos: previa a la elaboración de ensayos se procedió a la construcción de 12 cajas de madera: largo (24 cm), ancho (22 cm) y altura (22,5 cm). Estas medidas se tomaron de acuerdo a las mediciones de cada envase de aluminio largo (15 cm), ancho (11.5 cm) y altura (7 cm) en donde se colocaron 4 envases de aluminio en el interior de cada caja (Anexo 7). Se analizaron las preferencias de hormigas *Attini Trachymyrmex* sp. el cual presentó una mayor distribución en el campo bajo las diferentes condiciones edáficas, para lo cual se estableció tres tratamientos con doce réplicas cada uno. Los tratamientos evaluados son: pH, Humedad y biocarbón (Tabla 2). Para pH y biocarbón se agregó agua al 50% medida que usualmente permite la supervivencia de un ser vivo.

Tabla 2. *Parámetros establecidos para la elaboración de ensayos*

	pH	Humedad	Biocarbón
PB	3.5	0%	0 ton/ha
	4.5	25%	5 ton/ha
	5.5	50%	10 ton/ha
	6.5	75%	15 ton/ha

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1. ENSAYOS BAJO NIVELES DE pH (3.5, 4.5, 5.5 Y 6.5)

Primeramente se procedió a medir el pH original del suelo muestreado para conocer el estado de alcalinidad o acidez el cual dio un pH de 4.5 mismo que coincidió con uno de los parámetros ya establecido en la Tabla 1. Una vez determinado el pH original de suelo procedió al proceso de modificación del pH del suelo, para pH 3.5 se utilizó 63.3 ml de zumo de limón en 424 g de suelo, medida exacta que se colocó para todos los ensayos, para pH 5.5 se requirió añadir 0.68 g de cal para cada ensayo y para pH de 6.5 se añadió 1.2 g de cal (Anexo 8).

Para la medición del pH se siguió la metodología recomendada por Calderón y Pavlova (1999):

- Se pesaron 10 g de suelo más 30 ml de agua destilada.
- Posteriormente se agitó por 10 minutos.
- Luego se dejó reposar durante 15.
- Se calibró el medidor de pH con las soluciones reguladoras Buffer pH 4, 7 y 10 enjuagando con agua destilada el electrodo previo a iniciar la lectura de las muestras.
- Se registró el pH al momento en que la lectura se estabilizó.

3.4.2.2. ENSAYO BAJO NIVELES DE HUMEDAD (0, 25, 50 y 75%)

Para la elaboración de ensayos se partió desde una base de ausencia de humedad (capacidad de campo) y un gradiente creciente de humedad sin llegar a una saturación de poros, para evitar las complicación de búsqueda de hogar, debido a que esta hormiga se realiza bajo el suelo, y puede extenderse desde 25 cm hasta 1.2 m en profundidad (Anexo 9).

3.4.2.3. ENSAYO BAJO NIVELES DE BIOCARBÓN (0, 5, 10 y 15 ton/ha)

La elaboración de ensayos con biocarbón se tomó como referencia la cantidad de ton/ha de biocarbón con las que cuenta las parcelas (10 ton/ha); previo a aquello se realizó una proyección a 5 y 15 ton/ha, con un ensayo adicional sin agregar biocarbón (Anexo 10).

Para para todos los tratamientos mencionados se aplicó el mismo proceso de colocación de la hormigas (20 individuos) y sellado de las cajas con sus respectivos ensayos.

Posteriormente se realizó el conteo del número de individuos que estuvieron presentes en cada ensayo (Anexo 11).

3.4.2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se requirió el uso del programa Microsoft Excel 2013 en donde se organizaron los datos recolectados en campo, el paquete estadístico que se utilizó es una estadística no paramétrica con el programa RStudio utilizando el paquete/herramienta de “ARTool – Anova” (análisis de varianzas) y el paquete/herramienta de “mvabund- regresión binomial negativa” (análisis de multivariados).

El modelo a estudiar fue:

- $Y \approx A + R$ (Análisis de varianzas)

La variable de la respuesta (Y) está en función de (pH, humedad, biocarboón) sumados por las réplicas.

- $Y \sim B1B2C * T_{min} + pH$ (Abundancia de multivariados)

La variable de respuesta (Y) está en función de los tratamientos (B1B2C) multiplicado por la variación de temperatura (Tmin) sumado por el pH.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. MUESTREO DE LA MIMERCOFAUNA EN PLANTACIONES SILVÍCOLAS

En la figura 3 nos muestra la abundancia de especies más representativas presentes en las parcelas de acuerdo a los tratamientos, control (C), Biocarbón manufacturado (B1), Biocarbón artesanal (B2); la especie que presentó mayor abundancia es *Solenopsis* sp. con un total de 397 individuos y *Pheidole* sp.1 con 303 individuos los cuales en su gran mayoría se encuentran presentes en los tres tratamientos (control y B1 y B2). Por otro lado *Pheidole* sp. 4, y *Pheidole* sp. 2 con 22 individuos los cuales especies con menor abundancia (raras). *Solenopsis* sp., *Pheidole* sp.1, *Monomorium* sp., *Attiini* y *Wasmania* sp. son generalistas.

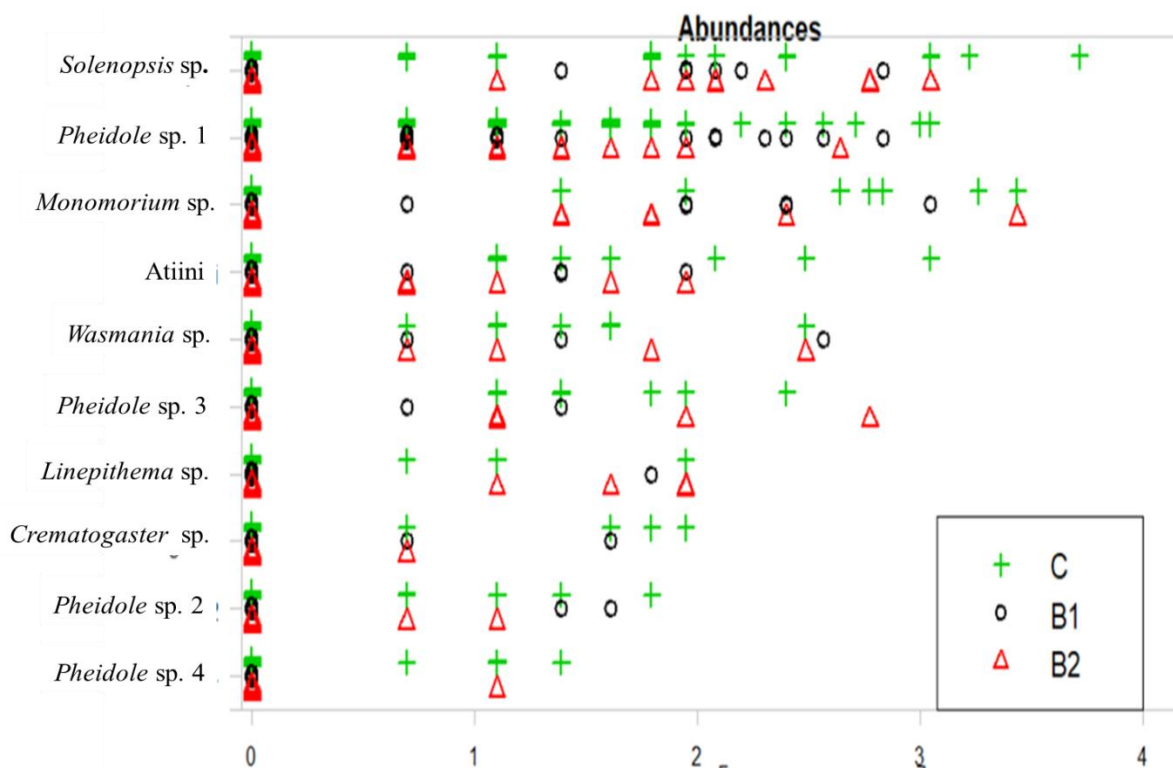


Figura 3. Abundancia de especies presentes en la parcela alta y baja.

Parcela alta: se colectaron 702 individuos agrupados en 9 géneros de hormigas, en la cual se pudo determinar el género con mayor abundancia *Solenopsis* sp. con 308 individuos, seguido de *Pheidole* sp. 1 y *Monomorium* sp. como los tres géneros más abundante y los tres menos abundantes *Pheidole* sp. 4, *Wasmania* sp. y *Mycocepurus* sp, además Attini como grupo se encontraron 34 individuos (*Trachymyrmex* sp. 1, *Sericomyrmex* sp. 1 y *Mycocepurus* sp. 1) (Figura 4).

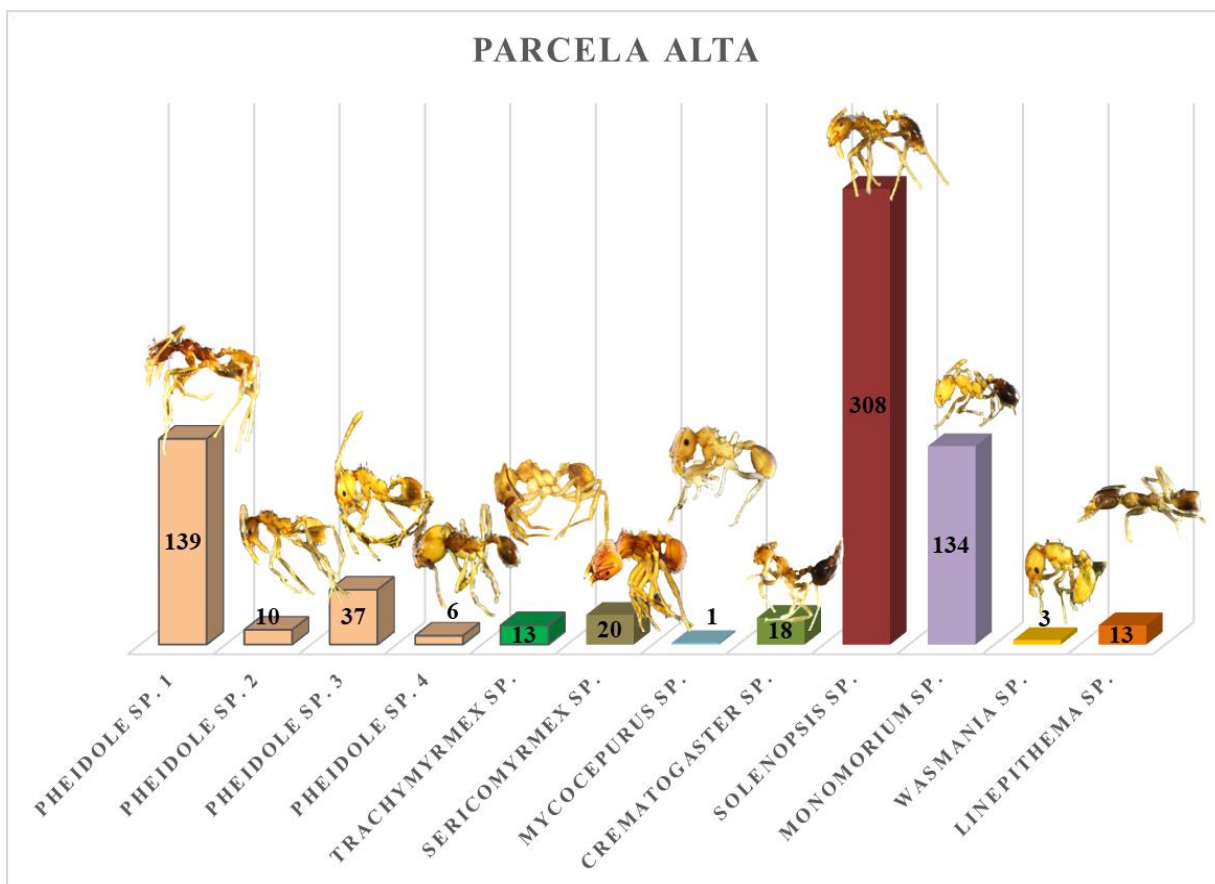


Figura 4. Conteo de la mirmecofauna presente en la parcela alta.

Parcela baja: en esta parcela se colectaron 440 individuos los cuales se encuentran agrupados 8 géneros de hormigas, el género que tuvo mayor abundancia fue *Pheidole* sp. 1 con 164 individuos, seguido de *Solenopsis* sp. y *monomorium* sp. como los tres géneros más abundantes y los tres menos abundantes *Crematogaster* sp., *Sericomyrmex* sp. y *Pheidole* sp. 4, además Attini como grupo se encontraron 47 individuos (*Trachymyrmex* sp., *Sericomyrmex* sp. y *Apterostigma* sp.) (Figura 5).

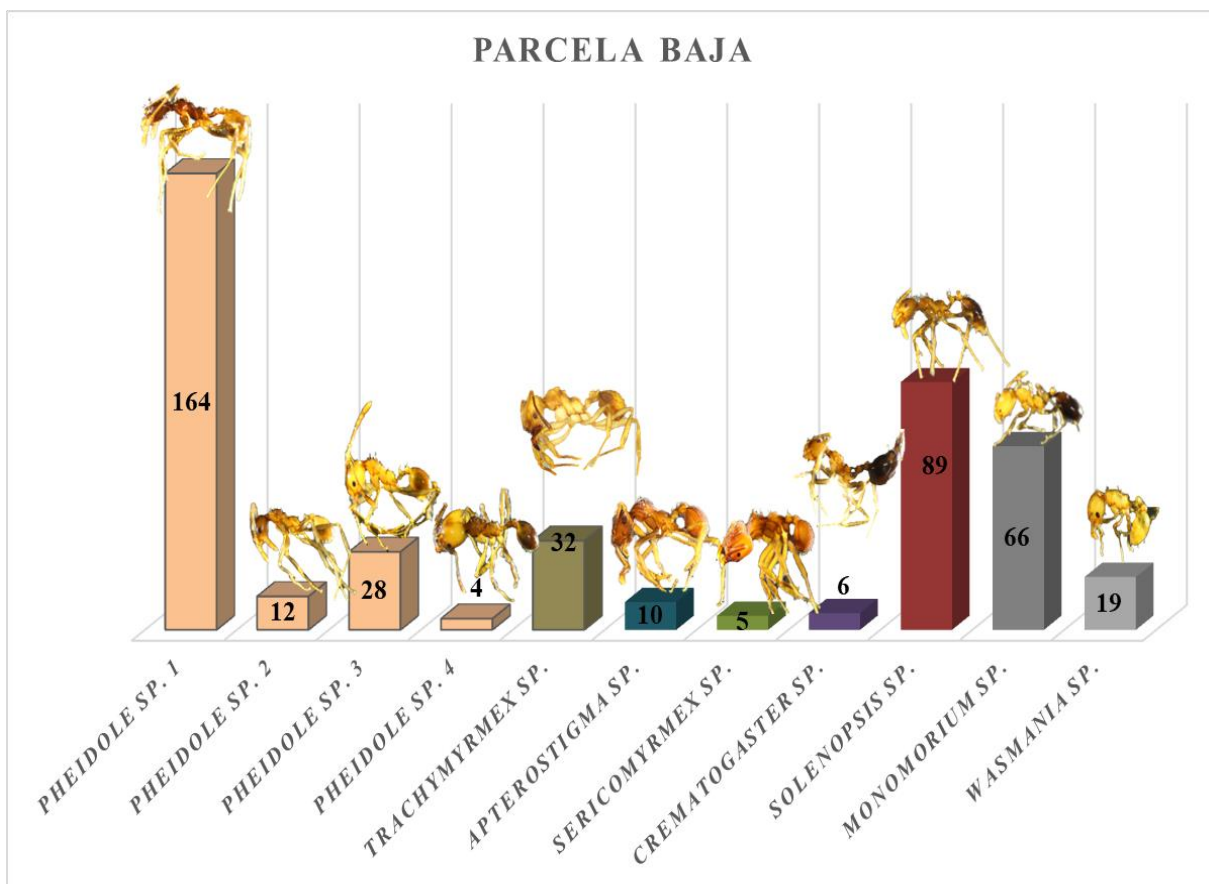


Figura 5. Conteo de la mirmecofauna presente en la parcela baja.

4.2. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESPECIE BIOTURBADORA (ATTINI) EN CONDICIONES EDÁFICAS

4.2.1. pH (4.5, 5.5 y 6,5)

En la figura 6 se puede observar que en el ensayo con pH 3.5 la media tiene una significancia alta en comparación con los demás ensayos (4.5, 5.5 y 6,5).

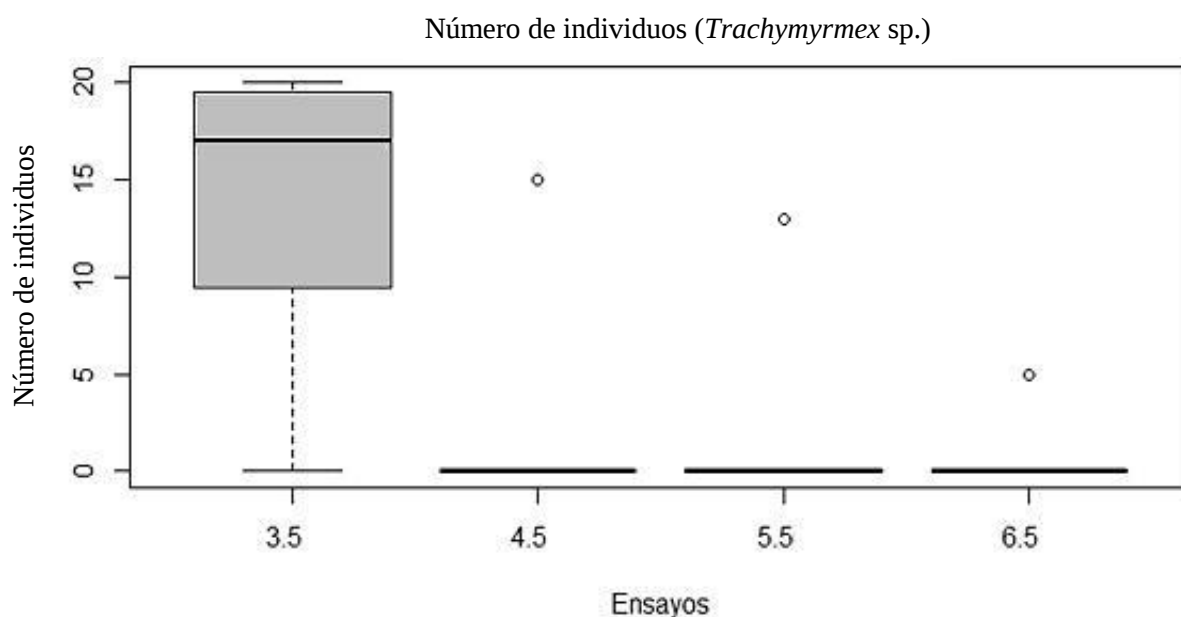


Figura 6. Preferencia de humedad (capacidad de campo) de hormigas bioturbadoras (*Trachymyrmex* sp.) presentes en las parcela bajo diferentes tratamientos.

Loeck *et al.*, (2004), realizaron un estudio para investigar el efecto del pH en el crecimiento del hongo simbionte, en la cual se realizaron bioensayos que contengan un medio mineral con valores de pH 4.0, 5.0, 6.0, y 7.0 para después inocular placas replicadas con cepas de hongos que se encuentran en *Atta laevigata* y *Atta laticeps*. El mejor crecimiento del hongo fue en los ensayos que contenían el pH de 4.0 y 5.0.

Powell y Stradling (1986), realizaron un estudio de las condiciones para el crecimiento óptimo del simbionte *Attamyces bromatificus* (hongos cultivados por hormigas Attini), donde se

revelaron que este crecía mejor a temperaturas entre 20 y 25° C y el pH óptimo mantenido por las hormigas osciló entre 4.3 y 5 independientemente del material vegetal utilizado.

Al comparar los datos obtenidos en nuestro estudio se puede confirmar que las hormigas *Trachymyrmex* sp. (parte de la tribu Attini) prefirieron el ensayo que contenía un pH de 3.5, este valor es muy cercano a los resultados de los estudios ya mencionados anteriormente con un pH de 4 y 5, esto se debe a que posee las mismas características en cuanto al cultivo de hongos.

Tabla 3. Prueba de comparación por pares, con el paquete Phia de R, para determinar la preferencia de pH en hormigas bioturbadoras (*Trachymyrmex* sp).

P- value	Value	gl	Pr(>Chisq)	Significancia
3.5-4.5	206.667	1	<0.001	***
3.5-5.5	207.500	1	<0.001	***
3.5-6.5	210.833	1	<0.001	***
4.5-5.5	0.0833	1	1	NS
4.5-6.5	0.4167	1	1	NS
5.5-6.5	0.3333	1	1	NS

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la **tabla 4** nos muestra el análisis de significancia mediante la prueba de Phia para las interacciones en diferentes tipos de pH, mostrando que los ensayos con mayor significancia se encuentran 3.4-4.5 (<0,001), 3.5-5.5 (<0,001) y 3.5-6.5 (<0,001) pH en comparación con las demás interacciones realizadas, con un estadístico de $X^2(1 N=48)= 206.6$, $p<0.001$.

4.2.2. HUMEDAD (0, 25, 50 y 75%)

El tratamiento con mayor números de individuos (*Tramcymyrmex* sp.) fue el ensayo con 75% de humedad, siendo significativamente diferente de los demás, que no tuvieron concurrencia de individuos, como se puede observar en la Figura 7.

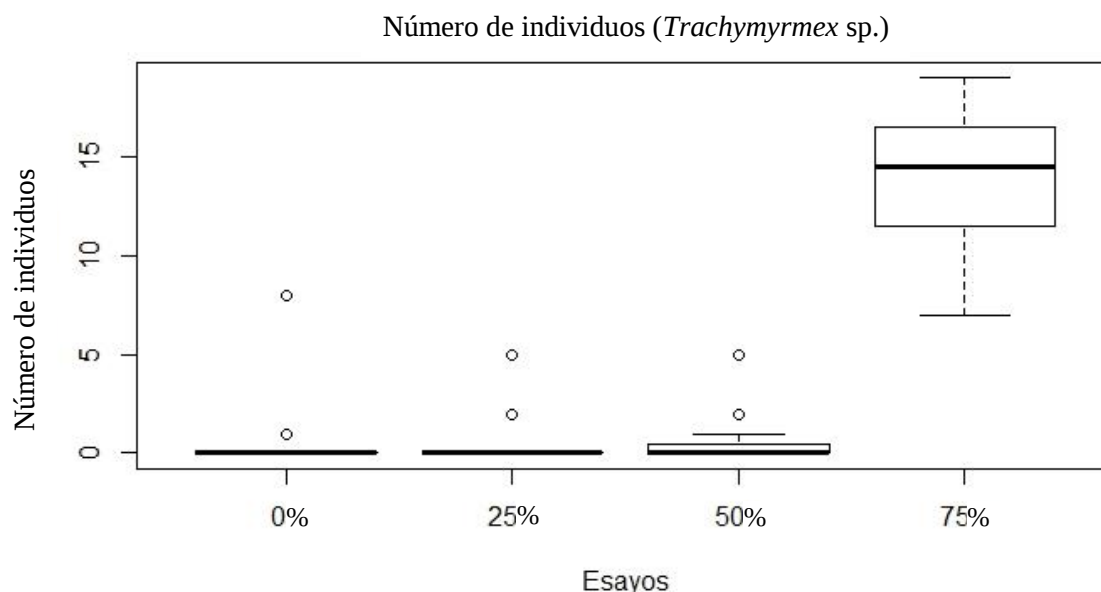


Figura 7. Preferencia de humedad (capacidad de campo) de hormigas bioturbadoras (*Trachymyrmex* sp) en suelos aluviales.

Roces y Kleineidam (2000), realizaron un estudio con hormigas cortadoras (*Atta sexdens*) en laboratorio, utilizando las jardineras junto con los hongos en pequeñas cámaras de nidos interconectados que ofrecían cuatro tipos humedades relativas: 33, 75, 84 y 98%, donde las hormigas se movían libremente entre ellos y reubicaban el hongo según su preferencia de humedad. Mientras que las hormigas se distribuían al azar en las cámaras de nido, resultando la cámara con una humedad de 98% la que presenta las mejores condiciones para las mismas. Resultados que corresponden con los obtenidos en este estudio al ubicarse la especie *Tramcymyrmex* sp. en el ensayo con 75% humedad.

En ambos casos los resultados de este estudio indican que las hormigas cultivadoras de hongos son capaces de sentir las diferencias de humedad, como lo indican Sosa-calvo *et al.* (2017), y esta habilidad se muestra cuando se dedican al cultivo de hongos.

Tabla 4. Prueba de comparación por pares, con el paquete Phia de R, para determinar la preferencia de humedad en hormigas bioturbadoras (*Trachymyrmex* sp).

P-value(%)	Value	gl	Pr (>Chisq)	Significancia
0-25	0.0833	1	1	NS
0-50	-1.2083	1	1	NS
0-75	-24.2083	1	<0.001	***
25-50	-1.2917	1	1	NS
25-75	-24.2917	1	<0.001	***
50-75	-23.000	1	<0.001	***

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La tabla 4 nos muestra el análisis de significancia mediante la prueba de chi cuadrado con el paquete Phia para las interacciones en diferentes tipos de humedad, muestran que el ensayo del 75% de humedad fue significativo, en comparación a los otros tratamientos en estudio, con una estadística de $X^2(1 N=48)=-24.2$, $p<0.001$.

4.2.3. CANTIDAD DE BIOCARBÓN (0, 5, 10 y 15 ton/ha).

En la figura 8 se puede observar que en los ensayos 0 y 15 no tuvieron una representatividad notable.

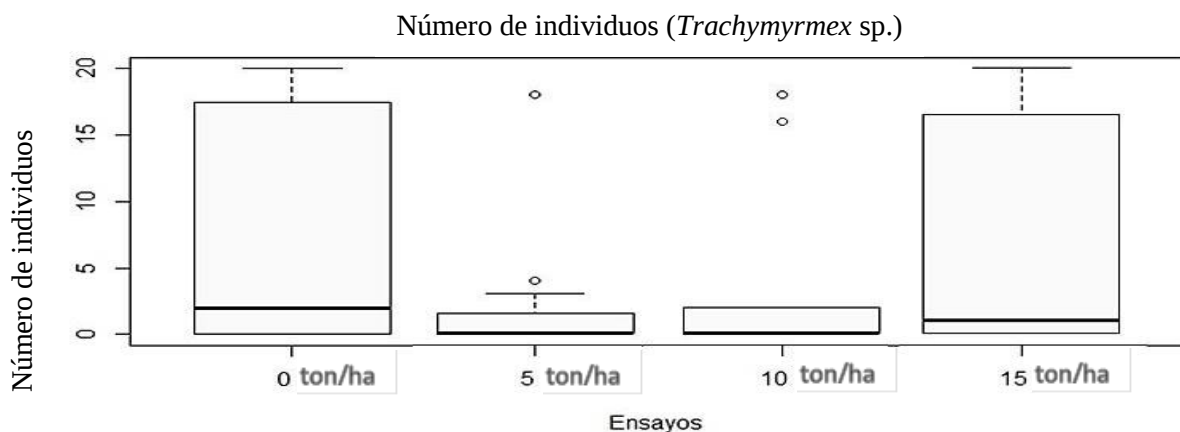


Figura 8. Figura. Preferencia de biocarbón de hormigas bioturbadoras (*Trachymyrmex*

Castracani *et al*, (2015), evaluaron los efectos de la agricultura no manejada en la fauna del suelo con cultivos de tomates, en las cuales construyeron 8 parcelas de 10 m² cada una, en donde se aplicó biocarbón a 14 t/ha enterrándole parcialmente con una labranza rotativa a 15 cm de profundidad, dos meses después el cultivo de tomate fue completamente regado y fertilizado. Esto nos muestra que la fauna del suelo y las plantas se ve beneficiada al momento de incorporar biocarbón en el suelo.

Tabla 5. Prueba de comparación por pares, con el paquete Phia de R, para determinar la preferencia de biocarbón en hormigas bioturbadoras (*Trachymyrmex* sp.)

t/ha	Value	gl	Pr(>Chisq)	Significancia
0-10	5.7917	1	0.9963	NS
0-15	0.2917	1	1.0000	NS
0-5	7.2500	1	0.8944	NS
0-15	-5.5000	1	0.9963	NS
10-5	1.4583	1	1.0000	NS
15-5	6.9583	1	0.8944	NS

0'***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La **tabla 5** nos muestra el análisis de significancia mediante la prueba de chi-cuadrado para las interacciones en diferentes cantidades de biocarbón; no muestra ninguna diferencia significativa entre 0, 15, 10 y 15 t/ha.

4.3. COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO Y ABUNDANCIA DE ESPECIES BIOTURBADORAS

4.3.1. ABUNDANCIA DE MULTIVARIADOS

Tabla 6. Prueba multivariante para las especies presentes en las parcelas.

	G.L	G.L.fact.fijos	Pr(>Dev)	Significancia
Intercepción	143			
B1B2C	141	2	0.705	NS
Tmin	140	1	0.001	***
pH	139	1	0.001	***
B1B2C: Tmin	137	2	0.005	**

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la tabla 6 nos muestran valores muy significantes mediante la desviación estándar con el paquete Binomial negativo para las interacciones con el tratamiento (B1B2C), Temperatura mínima y pH, en el cual nos muestra que Tmin y pH es significativo en el nivel <0.001 (***), mientras que para las interacciones entre los tratamientos y la temperatura mínima existe una significancia en el nivel 0.001 (**).

Tabla 7. Géneros con mayor significancia de manera univariable.

	Pr (>Dev)					
	<i>Pheidole</i> sp. 2	Sig.	<i>Solenopsis</i> sp.	Sig.	<i>Monomorium</i> sp.	Sig.
Intercepción						
B1B2C	0.979	NS	0.978	NS	0.999	NS
Tmin	0.926	NS	0.001	***	0.684	NS
pH	0.022	*	0.827	NS	0.005	**
B1B2C: Tmin	0.860	NS	0.942	NS	0.951	NS

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la tabla 7 nos indica las significancias por especies, para *Pheidole* sp. 2 el pH es significativo en el nivel 0.01 (*), la temperatura es significativo para *Solenopsis* sp. en el nivel <0.001 (***) y para *Monomorium* sp. el pH es significativo en el nivel 0.001 (**).

4.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El uso de este análisis nos permite identificar patrones en los datos, y de expresar los datos de tal manera que se destaquen sus similitudes y diferencias. Este reduce el número de datos, es decir, reduce el número de dimensiones, sin mucha pérdida de información (Smith, 2002)

En la figura 9 nos muestra las correlaciones de las especies y las variables ambientales: temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), materia orgánica (M.O), y pH. Estos resultados nos muestran que las especies de hormigas *Solenopsis* sp. está muy correlacionado positivamente con la temperatura máxima y menos correlacionado con la materia orgánica y temperatura mínima, *Wasmania* sp. está correlacionada negativamente con la temperatura máxima; esto nos muestra que cuando la temperatura aumenta la cantidad de *Wasmania* sp. se reduce. Para pH se puede observar que las especies de hormigas *Pheidole* está correlacionado positivamente, mientras que para las especies de *Monomorium* negativamente pero en menor grado.

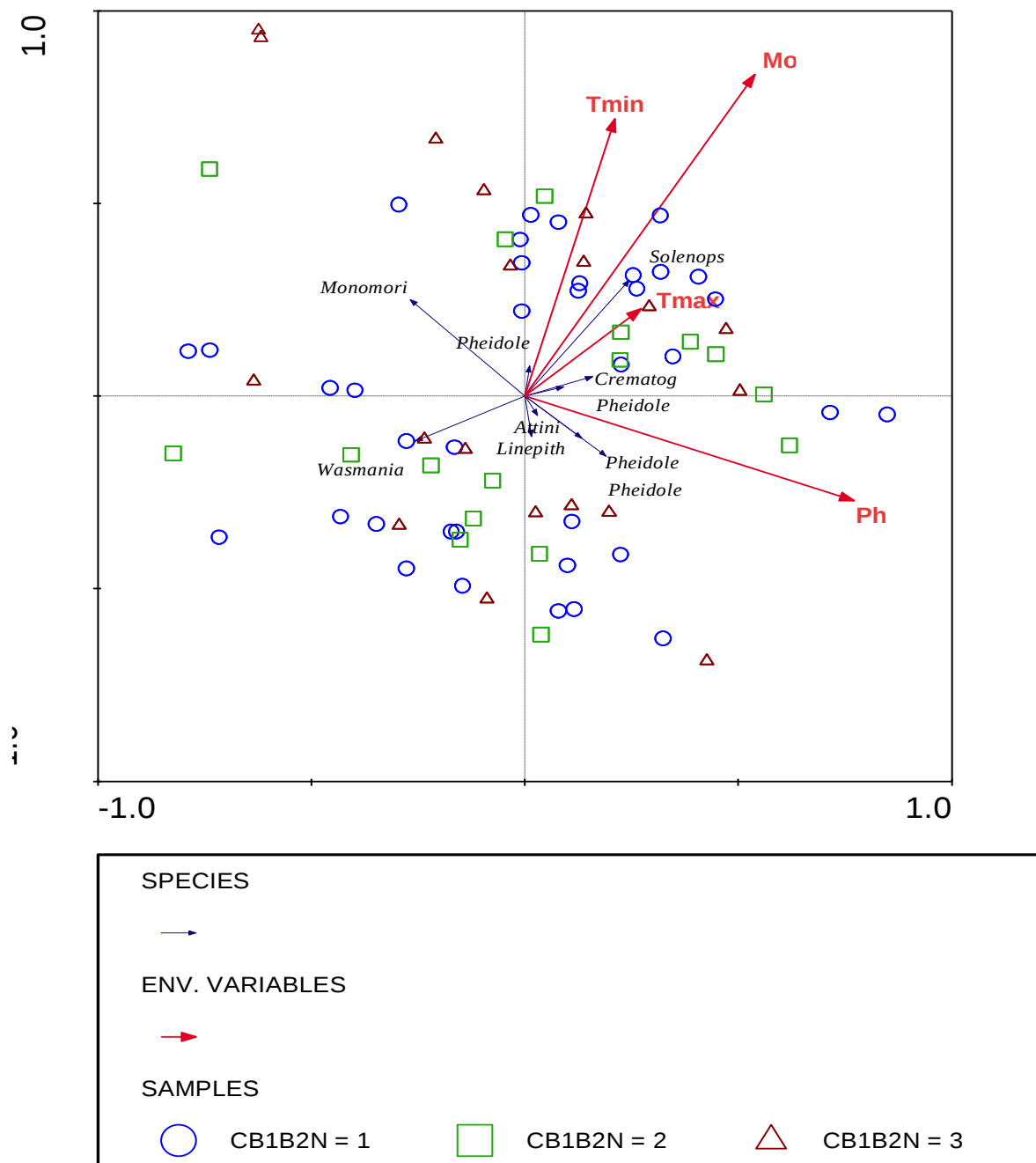


Figura 9. Variables ambientales (Tmax, Tmin, M.O y pH) interrelacionadas con las diferentes especies de hormigas.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las plantaciones silvícolas enmendadas con biocarbón cuentan con 10 géneros los cuales son más representativos y más abundantes, en los cuales resaltan *Solenopsis* sp. y *Pheidole* sp. 1.
- La especie de hormiga Attini bioturbadora *Trachymyrmex* sp. presentó mayor representatividad para la evaluación del comportamiento en laboratorio.
- La hormiga *Trachymyrmex* sp. tuvo la capacidad y la habilidad de diferenciar las condiciones a la que fueron expuestas para así poder habitar en un ambiente favorable.
- En el análisis de comportamiento de la hormiga *Trachymyrmex* sp. bajo suelos enmendados con biocarbón no tuvo ningún tipo de representatividad.
- En el análisis de pruebas multivariantes se pudo determinar una interacción muy significativa entre los tratamientos y la temperatura mínima el cual representa un 5% significancia.

5.2. RECOMENDACIONES

- Utilizar otros tipos de especie que sea representativa y se encuentre presente en las plantaciones silvícolas industriales nativas (parcelas) para poder evaluar el comportamiento bajo condiciones de laboratorio, para así poder conocer más a fondo los efectos producidos por el biocarbón en la biota del suelo.
- En la evaluación del comportamiento en laboratorio con la hormiga *Trachymyrmex* sp. bajo suelos enmendados con biocarbón no se tuvo una significancia notable, por ende se recomienda realizar más réplicas para así poder conocer la aceptación del biocarbón como tal.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Garavito, M., Ramírez, W (Eds.) (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.
- Arenas, B., y Armbrrecht, I. (2018). Gremios y diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en tres usos del suelo de un paisaje cafetero del Cauca-Colombia. *Biología Tropical*, 66(1), 48-57. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/30269/31889>
- Ascuntar, O., Armbrrecht, I., y Torres, A. (2018). Remoción de semillas por hormigas (hymenoptera: formicidae) en un gradiente borde - interior de un bosque seco. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 18(1), 1-11. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10893/11534>
- Basset, Y., Cizek, L., Cuenoud, P., Didham, RK, Guilhaumon, F., Missa, O.,... Leponce, M. (2012). Diversidad de artrópodos en un bosque tropical. *Science*, 338 (6113), 1481–1484. doi: 10.1126 / science.1226727
- Bilde, T., Axelsen, J.A., Toft, S. (2000). The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *Journal of Applied Ecology* 37, 672–683.
- Bolton B. (2003) Synopsis and classification of Formicidae. *Memoirs of the American Entomological Institute* 71:1-370.
- Bolton, B. (2018). *An Online Catalog of the Ants of the World*. Recuperado de <http://antcat.org/catalog/429011>
- Branstetter, M., y Saenz, L. (2012). Las Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Guatemala. *Biodiversidad de Guatemala*. Guatemala, Guatemala. 2:221-268.
- Brown, G., Da Silva, E., Thomazini, M., Niva, C., Decaëns, T., Cunha, L.,...Lavelle, P. (2015). The role of soil fauna in soil health and delivery of ecosystem services. *Burleigh Dodds Science Publishing*. 1, 197-241. doi: 10.19103/AS.2017.0033.11
- Cabrera, G., Socarrás, A., Gutiérrez, E., Tcherva, T., Martínez-Muñoz, C., y Lozada, A. (2017). Fauna del suelo. Pp. 254-283. *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (C. A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.). Editorial AMA, La Habana, 502 pp.

- Calderón, F., y Pavlova, M. (1999). Metodologías para Análisis Químico de Suelos. Recuperado de http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm#10
- Campos, L., Ferreira, C., y Gracias, S. (2013) Cytogenetic studies of five taxa of the tribe Attini (Formicidae: Myrmicinae), *Caryologia*, 66:1, 59-64, DOI: 10.1080/00087114.2013.780443
- Castaño-Meneses, G., Palacios-Vargas, J., Delabie, J., Zeppelini, D., y Mariano, C. (2017) Springtails (Collembola) Associated with Nests of Fungus-Growing Ants (Formicidae: Myrmicinae: Attini) in Southern Bahia, Brazil. *Florida Entomologist*, 100 (4), 740-742pp. doi: org/10.1653/024.100.0421
- Castracani, C., Maienza, A., Grasso, DA, Genesio, L., Malcevschi, A., Miglietta, F., ... Mori, A. (2015). Interacción biochar-macrofauna: búsqueda de nuevos bioindicadores. *La ciencia del medio ambiente total*, 536, 449–456. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2015.07.019
- Chávez, L., Labrada Y., y Álvarez., A. (2016). Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 39 (3), 111-115.
- CINCIA (2017). *Centro de Innovacion Cientifica Amazonica*. Recuperado de <http://cincia.wfu.edu/prensa/audio-y-video/que-es-el-biocarbon/>
- Dias, N., Zanetti, R., Santos, M., Gomes, M., Forti, S., y Charles, J. (2013). The Impact of Coffee and Pasture Agriculture on Predatory and Omnivorous Leaf-Litter Ants. *Journal of Insect Science*, 13,1. doi: 10.1673/031.013.2901
- Edward, W. (1987). The Little Things That Run the world* (The Importance and Conservation of Invertebrates). *Conservation Biology*, 1(4), 344–346. doi:10.1111/j.1523-1739.1987.tb00055.x
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., y Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biocarbón) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34 (3), 367-382. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57346617009>
- FAO. (2018). *¿Qué es el Suelo?*. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fernández, F. (ed.).(2003). Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. XXV+398 pp.

- Flores-Prado, L. (2012). Evolución de la sociabilidad en Hymenoptera: Rasgos conductuales vinculados a niveles sociales y precursores de sociabilidad en especies solitarias. *Revista chilena de historia natural*, 85(3), 245-266. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2012000300001>
- González-Valdivia, N., González-Escolástico, G., Hernández-Daumás, S., y Ochoa-Gaona, S. (2013). Mirmecofauna asociada con sistemas agroforestales en el Corredor Biológico Mesoamericano en Tabasco, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(1), 306-317. <https://dx.doi.org/10.7550/rmb.30996>
- Grove, S. (2002). Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests (Vol. 33).
- Hamilton, A., Basset, Y., Benke, K., Grimbacher, P., Miller, S., Novotný, V.,... y Yen, J. (2010). Quantifying Uncertainty in Estimation of Tropical Arthropod Species Richness. *The American Naturalist*, 176(1), 90–95. doi:10.1086/652998
- Ješovnik, A., González, V., y Schultz, T. (2016) Phylogenomics and Divergence Dating of Fungus-Farming Ants (Hymenoptera: Formicidae) of the Genera *Sericomyrmex* and *Apterostigma*. *PLoS ONE* 11(7): e0151059. doi:10.1371/journal.pone.0151059
- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlöf, J., Lavelle, P., y Lepage, M. (2006). Invertebrados del suelo como ingenieros del ecosistema: efectos intencionados y accidentales en el suelo y bucles de retroalimentación. *Ecología del suelo aplicada*, 32 (2), 153-164. doi: 10.1016 / j.apsoil.2005.07.004
- Kastner, R. (2014). Oro Negro: Biocarbón, una solución global para la conservación del suelo y la captura de carbono. *Vía Orgánica*. Recuperado de <https://viaorganica.org/oro-negro-biocarbon-una-solucion-global-para-la-conservacion-del-suelo-y-la-captura-de-carbono/>
- Klaus, J.C. 1993. El Mundo de las Hormigas. Ed. Equinoccio. Valle de Sartenejas, Baruta, Venezuela. 186 pp.
- Lefebvre, D., Cabanillas, F., Román, F., Silman, M., y Fernandez, L. (2018). Producción y utilización de biocarbón en Madre de Dios-Perú. *CINCIA. Centro de Innovación Científica Amazonica*. Recuperado de http://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/Nota-T%C3%A9cnica_Biochar-1.pdf
- Loeck, Alci Enimar, Pierobom, Carlos Roberto, Gusmão, Luciana Guerra de, & Afonso, Ana Paula. (2004). Growth of symbiont fungi of some higher attine ants in mineral medium. *Ciência Rural*, 34(1), 79-82. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000100012>

- Meyer, W. M., III, Ostertag, R. & Cowie, R. H. (2011) Macro-invertebrates accelerate litter decomposition and nutrient release in a Hawaiian rainforest. *Soil Biology & Biochemistry*. 43 (1), 206-211.
- Phopi, M., Mafongoya, P., Odindo, A., Magwaza, L. (2017). Screening Cover Crops for Soil Macrofauna Abundance and Diversity in Conservation Agriculture. *Sustainable Agriculture Research*, 6(4), doi: <https://doi.org/10.5539/sar.v6n4p142>
- Powell, RJ, & Stradling, DJ (1986). Factors influencing the growth of *Attamyces bromatificus*, a symbiont of attine ants. *Transacciones de la British Mycological Society*, 87 (2), 205-213. doi: 10.1016 / s0007-1536 (86) 80022-5
- Powers, J., Becknell, J., Irving, J., y Pérez-Aviles, D. (2009). Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 959–970. doi:10.1016/j.foreco.2008.10.036
- Ríos Guayasamín, Pedro. (2013). Native silvicultural-industrial systems as a multifunctional alternative to green economy in Amazonian production. Pp 20-21. *In: ITT Alumni Seminar “Rio+20: From Recommendation to Practice - Regional Showcases for Implementation” Book of Abstracts 2013. Institute for Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics (ITT)Pg 0-24.*
- Ríos Guayasamín, Pedro. (2017). Biotic responses to biocarbón amendment in the Ecuadorian Amazon rainforest. Pp. 0-31. (working document)
- Roces, F., y Kleineidam, C. (2000). Humidity preference for fungus culturing by workers of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Vol. 47).
- Rocha, W., Dorval, A., Peres, O., Vaez, C., y Ribeiro, E. (2015). Formigas (Hymenoptera: Formicidae) Bioindicadoras de Degradação Ambiental em Poxoréu, Mato Grosso, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 88-98. <https://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.0049>
- Simonetti, A., y Brito, Y. (2012). Las hormigas: ¿plagas o enemigos naturales de plagas? *LEISA revista de agroecología*. Lima, Perú. 28(1): 20-22.
- Smith, L. (2002). *A tutorial on Principal Components Analysis*. Recuperado de http://www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials/principal_components.pdf
- Sosa-Calvo, J., Ješovnik, A., Okonski, E., y Schultz, T. (2017). Locating, collecting, and maintaining colonies of fungus-farming ants (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Attini). *Sociobiology*, 62(2), 300-320, doi: 10.13102/sociobiology.v62i2.300-320

- Tschinkel WR, Seal JN (2016) Bioturbation by the Fungus-Gardening Ant, *Trachymyrmex septentrionalis*. PLoS ONE 11(7): e0158920.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158920>
- UEA. (2017). *Centro de investigación, Posgrado y Conservación Amazónica*. Puyo, Ecuador.
Recuperado de <https://www.uea.edu.ec/cipca/index.php/2-uncategorised?start=156>
- UEA. (2018). *Centro de investigación, Posgrado y Conservación Amazónica*. Puyo, Ecuador.
Recuperado de https://www.uea.edu.ec/?page_id=2376

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de datos del conteo de especies recolectadas en campo.

Código	Parcela	Bloque	Tratamiento	B1B2C	BC	Rep	<i>Pheidole</i> sp. 1	<i>Pheidole</i> sp. 2	<i>Pheidole</i> sp. 3	<i>Pheidole</i> sp. 4	<i>Trachymyrmex</i> sp.	<i>Apterostigma</i> sp.	<i>Sericomyrmex</i> sp.	<i>Crematogaster</i> sp.	<i>Solenopsis</i> sp.	<i>Monomorium</i> sp.	<i>Wasmania</i> sp.
PBB1T1S1	PB	B1	T1	C	C	1	2										
PBB1T1S1	PB	B1	T1	C	C	2	4								30		
PBB1T1S2	PB	B1	T1	C	C	1										3	
PBB1T1S2	PB	B1	T1	C	C	2										4	
PBB1T1C1	PB	B1	T1	B1	B	1	1										
PBB1T1C1	PB	B1	T1	B1	B	2										12	
PBB1T1C2	PB	B1	T1	B2	B	1			2								6
PBB1T1C2	PB	B1	T1	B2	B	2			2								6
PBB1T2S1	PB	B1	T2	C	C	1											
PBB1T2S1	PB	B1	T2	C	C	2									15		
PBB1T2S2	PB	B1	T2	C	C	1	3									11	
PBB1T2S2	PB	B1	T2	C	C	2											
PBB1T2C1	PB	B1	T2	B1	B	1	1									1	
PBB1T2C1	PB	B1	T2	B1	B	2	1										
PBB1T2C2	PB	B1	T2	B2	B	1										11	
PBB1T2C2	PB	B1	T2	B2	B	2									3	1	
PBB1T3S1	PB	B1	T3	C	C	1	2							1			
PBB1T3S1	PB	B1	T3	C	C	2	1							2			
PBB1T3S2	PB	B1	T3	C	C	1									25		
PBB1T3S2	PB	B1	T3	C	C	2			5					2		2	
PBB1T3C1	PB	B1	T3	B1	B	1											
PBB1T3C1	PB	B1	T3	B1	B	2	2										
PBB1T3C2	PB	B1	T3	B2	B	1											
PBB1T3C2	PB	B1	T3	B2	B	2	1										
PBB2T1S1	PB	B2	T1	C	C	1			3								
PBB2T1S1	PB	B2	T1	C	C	2	6										
PBB2T1S2	PB	B2	T1	C	C	1	1	1									
PBB2T1S2	PB	B2	T1	C	C	2	2										
PBB2T1C1	PB	B2	T1	B1	B	1						6					
PBB2T1C1	PB	B2	T1	B1	B	2	7										
PBB2T1C2	PB	B2	T1	B2	B	1										2	
PBB2T1C2	PB	B2	T1	B2	B	2										5	
PBB2T2S1	PB	B2	T2	C	C	1	1									2	
PBB2T2S1	PB	B2	T2	C	C	2		1									
PBB2T2S2	PB	B2	T2	C	C	1	20									4	
PBB2T2S2	PB	B2	T2	C	C	2	3									2	
PBB2T2C1	PB	B2	T2	B1	B	1	1										
PBB2T2C1	PB	B2	T2	B1	B	2		3									
PBB2T2C2	PB	B2	T2	B2	B	1	2										
PBB2T2C2	PB	B2	T2	B2	B	2			2		6						
PBB2T3S1	PB	B2	T3	C	C	1	2										
PBB2T3S1	PB	B2	T3	C	C	2											



Anexo 2. Preparación del cebo con crema de arroz para el muestreo de hormigas.



Anexo 3. Conteo y recolección de muestras.



Anexo 4. Captura de colonias de hormigas *Trachymyrmex* sp.



Anexo 5. Muestreo y secado de suelo.

Fase de laboratorio:



Anexo 6. Figura. Identificación de hormigas recolectadas encampo.



Anexo 7. Construcción de cajas para realizar los ensayos.



Anexo 8. Modificación de pH para los diferentes niveles establecidos.



Anexo 9. Agregado de agua para los diferentes niveles de humedad.



Anexo 10. Aleación de biocarbón con el suelo y colocación de hormigas *Trachymyrmex* sp.



Anexo 11. Observación y conteo de hormigas de acuerdo a sus preferencias.