



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES  
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE

**TEMA:**

**PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE  
NUBLADO DE LA RESERVA ARCOIRIS Y LA RESERVA EL  
MADRIGAL ECUADOR**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO Y  
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

**DIRECTOR:**

**Dr. John Lattke Ph.D**

**AUTORA:**


**Gabriela Beatriz Piedra Campoverde**

*LOJA – ECUADOR  
2015*

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES  
INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE

TEMA:

  
PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE  
NUBLADO DE LA RESERVA ARCOIRIS Y LA RESERVA EL  
MADRIGAL ECUADOR

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO Y  
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



Hormiga *Acromyrmex coronatus*



Hormiga *Strumigenys madrigalae*  
*n.sp.*

DIRECTOR:

**Dr. John Lattke Ph.D**

AUTORA:

**Gabriela Beatriz Piedra Campoverde**

## **CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director de la tesis titulada **“PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE NUBLADO DE LA RESERVA ARCOIRIS Y LA RESERVA EL MADRIGAL ECUADOR”**, de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente Gabriela Beatriz Piedra Campoverde, certifico que la investigación ha sido revisada y culminada bajo mi dirección dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación

Loja, 3 de junio de 2015



---

**Dr. John Lattke, Ph. D.**  
**DIRECTOR DE TESIS**

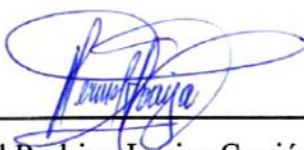
## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de tribunal Calificador de la Tesis titulada “**PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE NUBLADO DE LA RESERVA ARCOIRIS Y LA RESERVA EL MADRIGAL ECUADOR**”, de autoría de la señorita Gabriela Beatriz Piedra Campoverde, egresada de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifica que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos a la señorita egresada, su publicación y difusión

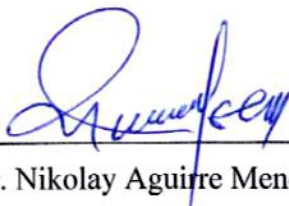
Loja, 3 de junio de 2015

Atentamente,



Ing. Ermel Rodrigo Loaiza Carrión, Mg. Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Dr. Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D

**VOCAL DEL TRIBUNAL**



Ing. Diana Ochoa Gordillo, Mg. Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**

## **AUTORÍA**

Yo **Gabriela Beatriz Piedra Campoverde** declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual



---

**Gabriela Beatriz Piedra Campoverde**

**Autora**

**Cédula:** 1104499676

**Fecha:** Loja, 3 de junio de 2015

## CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **Gabriela Beatriz Piedra Campoverde** declaro ser autora de la tesis titulada **“PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE NUBLADO DE LA RESERVA ARCOIRIS Y LA RESERVA EL MADRIGAL ECUADOR”** como requisito para optar al grado de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción Intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 3 días del mes de junio de 2015, firma la autora.

---

**Autora: Gabriela Beatriz Piedra Campoverde**

1104499676

**Dirección:** Manuel Zambrano y Argentina

**Correo electrónico:** gabriela-piedra.c4@hotmail.com

**Teléfono:** 072- 57 69 80

**Celular:** 0997238506

**Director de tesis:** Ing. John Lattke PhD.

**Tribunal de grado:** Ing. Ermel Rodrigo Loaiza Carrión, Mg. Sc.

Dr. Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D

Ing. Diana Ochoa Gordillo, Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Loja y a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, que con sus docentes impulsaron mi crecimiento profesional.

Esta tesis no pudo haberse realizado sin el apoyo incondicional y amable del Dr. John Lattke Ph.D., Prometeo de la Universidad Nacional de Loja y director de tesis, a quien agradezco por dedicar tiempo para las salidas de campo, la separación de material en laboratorio y la identificación de las especies de hormigas. Pero sobretodo agradezco su paciencia, sus importantes sugerencias, dedicación y guía constante.

Al Dr. Nikolay Aguirre Ph.D., Director del Programa de Investigación: Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos, por su apoyo y el financiamiento económico de este estudio a través del Proyecto de Cambio Climático de la Zona 7 en Ecuador.

A mis compañeros María Fernanda Tuza, Manuel Vélez y Ana Gómez por su ayuda en el levantamiento de información de campo y separación de material en laboratorio.

**La Autora**

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a cada uno de los motores de mi vida:

**A Dios**, porque sin Él todo es vano y por hacer “coincidir” cada cosa para que este proyecto estuviese en mi camino.

Agradezco infinitamente el apoyo de **mis padres**, Beatriz y Julio, porque tenerlos a mi lado es mi mayor bendición. Son mi fortaleza y mi esperanza, gracias a sus grandes enseñanzas y a todos sus sacrificios hoy estoy aquí. Necesitaré otra vida para pagárselos!

**A mis hermanos** Karina, Paulo, María Luisa, Beto y David, por estar a mi lado y motivarme a ser mejor. Cada momento compartido de risas o dificultades me recuerdan que son lo mejor que tengo.

A las personas que siempre estuvieron pendientes de mis pasos, **amigos y familiares** que constantemente me alentaban a concluir esta fase de mi vida, gracias.

**La Autora**



# ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. BIODIVERSIDAD.....	3
2.2. BOSQUE NUBLADO DE MONTAÑA.....	3
2.2.1. Bosque primario.....	4
2.2.2. Bosque secundario.....	4
2.3. LAS HORMIGAS.....	5
2.3.1. Papel de las Hormigas.....	5
2.3.2. Relación de las hormigas con otros organismos.....	6
2.3.3. Hormigas como indicadores Biológicos.....	7
2.4. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA BIODIVERSIDAD DE HORMIGAS.....	7
2.4.1. Temperatura.....	7
2.4.2. Humedad.....	8
2.4.3. Altitud.....	9
2.4.4. Cobertura vegetal y Perturbación.....	9
2.5. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA DIVERSIDAD DE HORMIGAS.....	10
2.5.1. Curva de Acumulación.....	10
2.5.2. Estimación de Riqueza.....	10
2.5.3. Grupos Funcionales.....	11
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
3.1.1. Ubicación Política y Geográfica.....	13
3.1.2. Descripción del Área de Estudio.....	13
3.1.2.1. Suelos.....	15
3.1.2.2. Clima.....	15
3.1.2.3. Fauna y Flora.....	16
3.2. MATERIALES.....	16
3.2.1. Materiales de Campo.....	16

3.2.2.	Materiales y Equipos de Laboratorio.....	17
3.2.3.	Materiales de escritorio.....	17
3.3.	MÉTODOS.....	17
3.3.1.	Métodos de campo.....	17
3.3.2.	Métodos de laboratorio.....	18
3.3.3.	Métodos para cumplir los objetivos.....	18
4.	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
4.1.	DIVERSIDAD ALFA.....	20
4.1.1.	Eficacia de los métodos de colecta de hormigas.....	22
4.1.2.	Riqueza de hormigas en Arcoíris y El Madrigal (Protocolo ALL).....	23
4.1.2.1	Riqueza observada de Arcoíris y El Madrigal.....	25
4.1.2.2.	Estimadores de la riqueza de especies (riqueza estimada).....	25
4.1.3.	Abundancia en Arcoíris y El Madrigal.....	27
4.1.3.1	Índices de Shannon Wiener y Gini Simpson.....	27
4.1.3.2.	Abundancia de hormigas de acuerdo a las Frecuencias.....	28
4.2.	DIVERSIDAD BETA.....	31
4.2.1.	Métodos cualitativos (Coeficiente de similitud de Sørensen).....	31
4.2.2.	Métodos de ordenación y clasificación (Complementariedad).....	31
4.3	GRUPOS FUNCIONALES.....	32
5.	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
5.1.	DIVERSIDAD ALFA.....	34
5.1.1.	Riqueza de hormigas.....	34
5.1.2.	Abundancia de hormigas.....	8
5.2.	DIVERSIDAD BETA.....	39
5.2.1.	Similitud entre Arcoíris y El Madrigal.....	39
5.3.	GRUPOS FUNCIONALES.....	40
6.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
7.	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>45</b>
9.	<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Grupos funcionales en que se clasificarán las hormigas.....	<b>12</b>
<b>Cuadro 2.</b> Promedios anuales meteorológicos de las Estaciones La Argelia y San Francisco.....	<b>16</b>
<b>Cuadro 3.</b> Diversidad de hormigas en los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>21</b>
<b>Cuadro 4.</b> Especies por Subfamilias en los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>25</b>
<b>Cuadro 5.</b> Incidencia de las hormigas en los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>31</b>
<b>Cuadro 6.</b> Especies raras, únicas y compartidas de los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>34</b>
<b>Cuadro 7.</b> Coeficiente de similitud de Sørensen de los sectores El Madrigal y Arcoíris.....	<b>35</b>
<b>Cuadro 8.</b> Complementariedad entre los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>36</b>
<b>Cuadro 9.</b> Grupos funcionales de los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>36</b>
<b>Cuadro 10.</b> Niveles de clasificación del coeficiente de similitud de Sørensen.....	<b>44</b>
<b>Cuadro 11.</b> Especies de hormigas obtenidas de acuerdo al método de captura en el sector Arcoíris.....	<b>59</b>
<b>Cuadro 12.</b> Especies de hormigas obtenidas de acuerdo al método de captura en el sector El Madrigal.....	<b>60</b>
<b>Cuadro 13.</b> Especies de los sectores El Madrigal y Arcoíris únicas y compartidas.	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
<b>Figura 1.</b> Mapa base de la Reserva Arcoíris y la Reserva El Madrigal.....	<b>15</b>
<b>Figura 2.</b> Métodos de colecta de formícidos en el sector El Madrigal y Arcoíris.....	<b>23</b>
<b>Figura 3.</b> Riqueza de hormigas de acuerdo a cada sitio de estudio.....	<b>24</b>
<b>Figura 4.</b> Riqueza de hormigas en total de los sectores El Madrigal y Arcoíris.....	<b>25</b>
<b>Figura 5.</b> Curvas de acumulación de riqueza de especies de hormigas en los sectores Arcoíris y El Madrigal.....	<b>26</b>
<b>Figura 6.</b> Curva de acumulación de especies del sector Arcoíris con índices de riqueza de ICE, Chao 2 y Jackknife 2.....	<b>27</b>
<b>Figura 7.</b> Curva de acumulación de especies del sector El Madrigal con índices de riqueza de ICE, Chao 2 y Jackknife 2.....	<b>28</b>
<b>Figura 8.</b> Frecuencia de la riqueza de hormigas del sector El Madrigal.....	<b>29</b>
<b>Figura 9.</b> Frecuencia de la riqueza de hormigas del sector Arcoíris.....	<b>30</b>
<b>Figuras 10.</b> Identificación del sitio de estudio en a) Arcoíris y b) El Madrigal.....	<b>62</b>
<b>Figuras 11.</b> Método de tamizado de hojarasca en campo.....	<b>63</b>
<b>Figuras 12.</b> Método de recolección manual de hormigas y lavado de suelo.....	<b>64</b>
<b>Figuras 13.</b> Método de trampas de caída para hormigas.....	<b>64</b>
<b>Figura 14.</b> Separación de hormigas del material capturado en trampas de caída y tamizado de hojarasca.....	<b>64</b>
<b>Figura 15.</b> Caja entomológica de hormigas de los sectores Arcoíris y El Madrigal, con sus etiquetas pertinentes.....	<b>65</b>
<b>Figura 16.</b> <i>Strumigenys madrigalae</i> vista lateral y frontal (especie nueva).....	<b>65</b>
<b>Figura 17.</b> <i>Strumigenys lojanensis</i> vista superior y lateral (especie nueva).....	<b>65</b>
<b>Figura 18.</b> <i>Rasopone becculata</i> vista frontal y lateral.....	<b>66</b>
<b>Figura 19.</b> <i>Neoponera carbonaria</i> vista frontal y lateral.....	<b>66</b>
<b>Figura 20.</b> <i>Linepithema piliferum</i> vista frontal y lateral.....	<b>66</b>
<b>Figura 21.</b> <i>Acromyrmex coronatus</i> vista frontal y lateral.....	<b>67</b>
<b>Figura 22.</b> <i>Discothyrea horni</i> vista frontal y lateral.....	<b>67</b>
<b>Figura 23.</b> <i>Hypoponera trigona</i> vista frontal y lateral.....	<b>67</b>

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Anexo 1.</b> Listas de las especies de hormigas capturadas.....	<b>59</b>
<b>Anexo 2.</b> Fotografías.....	<b>62</b>
- Sitio de estudio.....	<b>62</b>
- Fase de campo.....	<b>63</b>
- Fase de Laboratorio.....	<b>64</b>

**PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE NUBLADO  
DE LA RESERVA ARCOIRIS Y LA RESERVA EL MADRIGAL ECUADOR**

## RESUMEN

Se determinó la riqueza, abundancia y grupos funcionales de las hormigas en los bosques nublados de la Reserva Ecológica Arcoíris y la Reserva Ecológica de El Madrigal situados respectivamente a una altura de 2105 y 2350 msnm, mediante tamizado de hojarasca y trampas de caída, lavado de suelo y colecta manual, estos dos últimos considerados para la riqueza total pero no con el programa estadístico Estimates. Se recolectaron 19 especies de hormigas incluidas en 15 géneros; Myrmicinae fue la subfamilia con mayor cantidad de especies y géneros, seguida por la subfamilia Ponerinae. Se aplicaron estimadores de diversidad ICE, Chao 2 y Jackknife 2, obteniéndose el 91,6 % de la riqueza estimada para Arcoíris y el 63,1 % de la riqueza estimada para El Madrigal. La abundancia proporcional de equidad (Shannon) muestra una diversidad media para ambos sitios, mientras que la abundancia proporcional de dominancia (Simpson) muestra una baja dominancia de especies en ambos lugares. El género *Pheidole* es el más frecuente en ambos sitios, y la especie *Hypoponera trigona* (Arcoíris) la que obtuvo la mayor frecuencia de todas las especies registradas. En Arcoíris y El Madrigal se recolectaron 11 y 12 especies de hormigas respectivamente, 4 de las cuales son compartidas; el 79 % del total de especies son únicas, mientras que el 68 % corresponde a las especies raras. Se comparó la diversidad mediante el coeficiente de similitud de Sørensen y el de disimilitud de complementariedad, siendo la composición de especies muy diferente en ambos sitios. Las especies de hormigas fueron clasificadas en grupos funcionales, donde los gremios con mayor cantidad de especies fueron Cazadoras nomádicas y Omnívoras crípticas para El Madrigal y Arcoíris respectivamente. Entre las especies más destacadas se pueden citar: *Simopelta manni*, primer registro desde los años 30; *Myrmelachista zeledoni*, por su primer reporte para Ecuador; *Neivamyrmex macrodentata*, primer reporte para Sudamérica y el descubrimiento de nuevas especies como son *Strumigenys lojanensis*, *Strumigenys madrigalae* y *Protalaridris n. sp.*

**Palabras claves:** hormigas, bosque nublado, riqueza, abundancia, hojarasca, frecuencia.

## SUMMARY

Richness, abundance and functional groups of ants from cloud forests of the Madrigal Ecological Reserve, 2350m, and the Arcoiris Ecological Reserve, 2100m, were determined by sifting leaf litter, placing pitfall traps, washing soil and manual collecting. Nineteen species of ants from 15 genera were collected with Myrmicinae as the most species and genera rich group, followed by Ponerinae. The estimators ICE, Chao2 and Jackknife 2 assessed collection completeness as 91.2% for Arcoiris and 63.1% for El Madrigal. Shannon's proportional equity abundance shows median diversity for both sites whilst Simpson's proportional dominance abundance shows low species dominance from both sites. The most frequent genus in both sites is *Pheidole*, but the most frequent species of all is *Hypoponera trigona* (Arcoiris). In Arcoiris and El Madrigal 11 and 12 species of ants were respectively collected, of which 4 are shared but 79% of the species are found in one site only and 68% are considered rare. Beta diversity was compared using the Sørensen similarity coefficient and the complementarity coefficient, showing quite different faunas amongst the sites. The ants were classified into functional groups, with the most common being nomadic hunters in El Madrigal and cryptic omnivores in Arcoiris. Notable species are: *Simopelta manni*, found for the first time since the 1930s; *Myrmelachista zeledoni*, registered for the country for the first time; *Neivamyrmex macrodentata* is found in South America for the first time; and the following new species are found: *Strumigenys lojanensis*, *Strumigenys madrigalae*, and *Protalaridris n. sp.*

**Keywords:** ants, cloud forest, wealth, abundance, litter, often.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques nublados tropicales son ecosistemas con mayor endemismo y diversidad biológica en el mundo; sin embargo existe gran desconocimiento acerca de estos bosques (Bussmann, 2005). Conocer la diversidad de hormigas en este tipo de bosque y particularmente en los trópicos ha sido un gran reto desde hace más de 150 años (Emery, 1875), particularmente al saber el gran éxito ecológico de las hormigas en los trópicos (CINFA *et al.*, 2006; Folgarait, 1998). Las hormigas están presentes en casi todos los ecosistemas a excepción de hábitats extremos como montañas muy altas, los polos y cuevas profundas (Branstetter y Sáenz, 2012). Son importantes para bioindicación por ser abundantes, presentar poca estacionalidad, tener una historia natural y taxonomía bien conocida, por su presencia en numerosos hábitats, también por tener taxones especializados, sensibilidad al hábitat y por su facilidad de observación y manipulación (Ribas *et al.*, 2012; Paredes, 2011).

Estas características han impulsado estudios sobre el monitoreo biológico y sobre los patrones de diversidad de hormigas a nivel mundial, principalmente en hormigas de la hojarasca (Longino y Colwell, 2011; Ribas *et al.*, 2012; Majer *et al.*, 2007). En Ecuador, existen vacíos de información en el estudio de las hormigas, siendo necesario conocer su distribución, estado de conservación y el posible descubrimiento de nuevas especies como aporte para la ciencia. Esta investigación da a conocer la riqueza, abundancia y los grupos funcionales de las hormigas en dos localidades del Sur del Ecuador; aporta con información sobre formícidos al ecosistema de montaña y muestra un análisis comparativo entre dichos sitios, considerándose algunos factores ambientales como temperatura, precipitación, altitud, estado de conservación del ecosistema, entre otros.

El proyecto se realizó en el bosque primario de la Reserva Fundación Ecológica Arcoíris, ubicado en el sector San Francisco vía Zamora, sitio considerado como un hotspot de diversidad biológica, se caracteriza por tener bosque primario, frecuente lluvia, neblina y deslizamientos naturales (Kiss y Brauning, 2008). El segundo sitio de la investigación es la Reserva Ecológica El Madrigal, la misma que se encuentra en la ciudad de Loja, junto al Parque Nacional Podocarpus, es un sector intervenido pero

actualmente se encuentra en conservación del bosque nublado y protege la microcuenca San Simón que abastece de agua al barrio El Carmen.

La información obtenida facilita tener un registro y colección de hormigas para el sitio, realizar contrastes con otras investigaciones y servirá como base de datos para estudios futuros. Este estudio tiene particular importancia al obtener información de formícidos sobre los 2000 msnm, conociéndose pocos estudios a dichas alturas. También es un aporte para el monitoreo a largo plazo del cambio climático en la Zona 7 de Ecuador, coadyuvando a complementar estudios del cambio climático en el país. La investigación es viable por la relativa facilidad de recolección de muestras y bajos costos respecto a los materiales y equipos. Los resultados obtenidos eventualmente podrían guiar a grupos sociales de poder a destinar esfuerzos para la toma de decisiones adecuadas y oportunas en el campo ambiental como la generación de políticas ambientales o proyectos.

Este proyecto busca caracterizar la diversidad de hormigas en el bosque nublado de la Reserva Arcoíris y la Reserva El Madrigal, para contribuir al conocimiento de la biodiversidad de la Región Sur del Ecuador, los objetivos específicos planteados fueron los siguientes:

- Calcular la riqueza de hormigas en la Reserva Fundación Ecológica Arcoíris y en la Reserva El Madrigal.
- Calcular la abundancia (incidencia) de hormigas en la Reserva Fundación Ecológica Arcoíris y en la Reserva El Madrigal.
- Formular una serie de grupos funcionales en la Reserva Fundación Ecológica Arcoíris y en la Reserva El Madrigal.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. BIODIVERSIDAD**

Ecuador ocupa el primer lugar de los 17 países megadiversos del mundo por ser el país con mayor diversidad biológica en menor superficie de terreno. Existen algunos factores que influyen en la megadiversidad del país como son el aislamiento geográfico de las Islas Galápagos, la ubicación del país en el neotrópico y la presencia de la Cordillera de los Andes (Aguirre, 2010). Los Andes ha creado un “mosaico ecológico cambiante” debido a la variabilidad de temperaturas, precipitación y vientos; esta cordillera tiene altitudes con más de 6000 m y posee una topografía muy irregular que influye en la circulación del aire y los sistemas hídricos de América del Sur (Young, 2012).

En Ecuador es necesario incrementar los estudios en temas de biodiversidad, especialmente en los menos conocidos (Dangles *et al.*, 2009). Esto facilitará resolver problemas mediante la integración de estrategias nacionales sobre conservación de la biodiversidad, mecanismos de desarrollo limpio y el cambio climático, siendo los ecosistemas de montaña los más vulnerables a los cambios de temperatura (Deutsch *et al.*, 2008; Feeley y Silman, 2010; Cuesta y Becerra, 2012).

### **2.2. BOSQUE NUBLADO DE MONTAÑA**

Los Bosques Nublados constituyen ecosistemas forestales que se caracterizan por una persistente o estacional cobertura de nubes rodeados frecuentemente por niebla. Los árboles y rocas están cubiertos de musgos, helechos, orquídeas y otras plantas epífitas (Tobón *et al.*, 2008; Bruijnzeel, 2004); además tienen menor altura, con densidad mayor en los tallos, generalmente con troncos y ramas retorcidos, y hojas pequeñas (Tobón, 2009). Se considera que los bosques nublados son los más diversos del mundo (Restrepo *et al.*, 2012). Este sistema montañoso se encuentra generalmente entre 1500 y 2500 m de altitud y suelen presentar fuertes pendientes (Espinosa *et al.*, 2012).

Estos ecosistemas son frágiles por lo que existe preocupación a nivel mundial respecto a su estado de conservación, gran parte son víctimas de los impactos antropogénicos como la agricultura, deforestación, ganadería, silvicultura, urbanización y turismo (Restrepo, 2012). Existe poca información de la diversidad funcional y los factores que promueven

la vulnerabilidad estos tipos de ecosistema (Tiessen, 2011). La alta heterogeneidad de diversidad biológica en espacios relativamente pequeños en las regiones montañas condicionan la distribución, morfología, comportamiento y fisiología de los insectos (Larsen *et al.*, 2012), constituyéndose un área de interés para realizar investigaciones. Se prevé que el cambio climático tiene un impacto severo sobre la biodiversidad de los bosques nublados, por estar adaptadas a una temperatura uniforme y condiciones ambientales muy específicas (Deutsch *et al.*, 2008; Feeley y Silman, 2010).

### **2.2.1. Bosque Primario**

El bosque de neblina es una fuente de nuevos descubrimientos para la ciencia, desde especies nuevas, género y familias; sin embargo en la Región Sur del Ecuador, en la provincia de Zamora, estos bosques primarios han sido aprovechados durante años por el hombre principalmente para la ganadería y el comercio de la madera (Uday y Bussmann, 2004). Los bosques primarios tienen alta complejidad espacial, es decir ofrecen diferentes variedades de nichos, en especial para las hormigas, debido a que otorga múltiples sustratos aprovechables (troncos en descomposición, piedras, hojarasca) para anidamiento o forrajeo. Estas características influyen en una mayor diversidad de formícidos, debido a que existe ocupación de nichos muy específicos lo que disminuye la competencia (Bustos y Ulloa, 1997).

### **2.2.2. Bosque secundario**

El bosque primario puede tener una significativa reducción de la vegetación original, debido a una perturbación natural o antrópica, originándose los bosques secundarios (Akindele y Onyekwelu, 2011). Éstos son importantes porque albergan la biodiversidad que ha sobrevivido de los bosques primarios, promueven la fertilidad del suelo evitando la erosión y mejora la irrigación del suelo (Chazdon *et al.*, 2009; Chokkalingam *et al.*, 2001). Por otro lado, cuando un bosque ha sido alterado aunque sea de forma leve, las características del suelo, vegetación y biodiversidad cambian; en el caso de las hormigas provoca que su entorno se encuentre significativamente alterado, haciéndose difícil y tardía su recuperación natural por lo que se encuentra en un estado de ajuste cuando la vegetación ya se ha recuperado (Estrada y Fernández, 1999).

En un bosque secundario la diversidad de hormigas tiende a bajar, mientras las especies generalistas son las que dominan el suelo (Roth *et al.*, 1994), la presencia o ausencia de ciertas especies de hormigas indica el grado de perturbación del ecosistema (Arcila y Lozano, 2003; Gutiérrez, 2014). Generalmente las especies de hormigas que están presentes en bosques secundarios son hormigas omnívoras dominantes del suelo (Silvestre *et al.*, 2003).

### **2.3. LAS HORMIGAS**

Las hormigas son insectos con metamorfosis completa (pasan por huevo, larva, pupa y adulto); son organismos eusociales, se comunican mediante contacto físico (hormigas ciegas) o con la secreción de feromonas (Branstetter y Sáenz, 2012). A nivel mundial existen aproximadamente 12 955 especies de hormigas (Bolton, 2014), de las cuales el 87 % de la familia Formicidae en América del Sur está representada por las subfamilias Myrmicinae, Dolichoderinae y Ponerinae (Fuster, 2008; Branstetter y Sáenz, 2012).

#### **2.3.1. El papel de las Hormigas**

Las hormigas cumplen varios papeles en la naturaleza, por ejemplo en el suelo participan en los procesos fisicoquímicos, la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Brussard *et al.*, 1997). Los nidos enriquecen al suelo con fósforo, detritos y nutrientes, lo que facilita el constante reciclaje del suelo desde niveles inferiores (Ruiz, 2010). Modifican las condiciones de los suelos mediante la bioturbación que facilita el flujo del aire al suelo y evita la compactación de los suelos (Alfonso y Matienzo, 2012). Agregan secreciones mucosas a las partículas del suelo que actúan como cementantes, lo que influye en la disponibilidad del agua, nutrientes y actividad microbiana (Rojas, 2001). Además la acumulación de forraje y residuos en el nido crean un ambiente propicio para los microorganismos que al descomponer los materiales, otorga materia orgánica al suelo, promoviendo el crecimiento de las plantas cerca del nido (Ruiz, 2010).

Las hormigas tienen funciones como dispersoras de semillas, pueden ser útiles en la restauración de hábitats alterados como por ejemplo en ecosistemas naturales o agroecosistemas ganaderos (Escobar *et al.*, 2007). Son organismos en su mayoría depredadores de insectos, por lo que son importantes para el control biológico de plagas

(Majer, 1976); sin embargo existen especies que actúan como plagas al tener asociaciones mutualistas con otros organismos como hemípteros, áfidos entre otros (Alfonso y Matienzo, 2012). Por otra parte las hormigas pueden ser claves para mitigar el calentamiento global, un estudio en Arizona y Texas señala ocho especies de hormigas capaces de secuestrar pequeñas cantidades de carbono al transformar los minerales de la tierra en carbonato de calcio (piedra caliza), así a gran escala disminuiría el CO<sub>2</sub> significativamente (Dorn, 2014).

### **2.3.2. Relación de las hormigas con otros organismos**

Las hormigas en la naturaleza establecen relaciones con múltiples organismos, al encontrarse en alto número afectan de forma importante al ambiente. Se puede mencionar la relación entre las plantas y hormigas, donde las mirmecófitas son las plantas que prestan algún servicio a las hormigas como alimento o abrigo, en este tipo de relaciones puede haber simbiosis, mutualismo o parasitismo comúnmente (Delabie, Ospina y Zábala, 2003; Jaffé, 2004).

Existen relaciones de hormigas con otros organismos como son los homópteros, donde las hormigas crían insectos como los pulgones, cochinillas, membrácidos y psíldeos, cuyo beneficio es succionar la savia de las plantas, recibir protección contra ataques parasitoides y depredadores, mientras las hormigas se benefician de las excreciones azucaradas que ellos secretan (Cushman y Addicott, 1991; Mckey y Meunier, 1996). Sin embargo algunas de éstas asociaciones pueden ser perjudiciales para los cultivos, debido a que prevalecen los hemípteros, áfidos, moscas blancas, saltahojas, cóccidos y pseudocóccidos, que devoran los sembríos y les causan enfermedades (Alfonso y Matienzo, 2012).

### **2.3.3. Hormigas como indicadores Biológicos**

Los indicadores biológicos pueden definirse como especies o grupos de especies, que presentan una tolerancia limitada a los cambios bióticos o abióticos que se producen en el hábitat que ocupan (Ribas *et al.*, 2012). Las hormigas son utilizados como bioindicadores para identificar impactos ambientales en diferentes ámbitos como la

minería, ganadería (Craig y Hoffmann, 2011), forestería y plantas invasoras, o para detectar centros de concentración de especies raras y endemismos (Brown, 1991).

Su comportamiento, ausencia o presencia (incidencia) en diferentes hábitats permite hacer inferencias del estado de conservación de la biodiversidad y facilitan información del cambio climático (Guénard, 2013). Según Brown (1991) las hormigas reciben una puntuación de 21 sobre 24 puntos al considerar los 12 criterios de los buenos indicadores biológicos, entre ellos se mencionan:

- Presentar poca estacionalidad
- Historia natural bien conocida
- Suficiente distribución, abundancia y diversidad
- Permitir la interpretación de los cambios observados (sensible al hábitat)
- Fácil muestreo, manipulación, clasificación e identificación
- Especies con amplia distribución y presente en diferentes hábitats
- Importancia funcional en los ecosistemas
- Estrecha asociación con otros organismos (Branstetter y Sáenz, 2012).
- Presentan relativa estabilidad taxonómica (Ribas *et al.*, 2012).

## **2.4. PARÁMETROS ECOLÓGICOS QUE DETERMINAN LA ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DE HORMIGAS**

### **2.4.1. Temperatura**

La temperatura es uno de los factores más importantes en los patrones de diversidad de hormigas, aproximadamente a más de 39 °C y a menos de los 4 °C, la diversidad de formícidos disminuye, debido a que puede impedir el forrajeo eficiente y afectar negativamente a las larvas y pupas (Rojas, 2001; Southerland, 1988). La tolerancia fisiológica de las hormigas determinan su presencia o ausencia en un sitio, por ejemplo las las Myrmicinae que puede soportar temperaturas más elevadas que las Ponerinae (Rojas, 2001). Las especies adaptadas a temperaturas mayores, son aquellas que se verán más afectadas por el calentamiento global debido a que se encuentran cerca del límite de su tolerancia térmica (Stuble *et al.*, 2013; Diamond *et al.*, 2012).

Cuando la temperatura aumenta, las hormigas son más activas y aumentan las competencias entre ellas por los recursos como alimento o nido (Kaspari, 2003; Perfecto y Vandermeer, 1996; Longino *et al.*, 2014). Este comportamiento se da en la hormiga negra (*Camponotus mus*) que se moviliza 33 % más rápido y se alimenta un 27 % más cuando la temperatura aumenta (Tizón, 2012). Sin embargo existen especies de hormigas que a mayor temperatura reduce el forrajeo de 10 horas a 1 hora (Martins, 2011). Los lugares cálidos albergan mayor riqueza de hormigas generalmente, porque estos organismos dependen del sol para calentarse (Castro, 2008), sin embargo cuando superan los 30 °C estas pueden sufrir una muerte por calor, debido a que por su tamaño y exposición directa al sol experimentan de 10 a 15 °C más que la temperatura ambiente (Patrick *et al.*, 2012).

#### **2.4.2. Humedad**

La diversidad de hormigas puede reducirse cuando hay exceso de humedad, debido a que la producción neblina obstaculiza el paso de los rayos solares hacia el suelo (Castro, 2008). Las consecuencias son temperaturas más bajas y la presencia de gotas de agua que resultan difíciles de manejar para las hormigas, lo que implica una disminución de horas para forrajeo o saturación del suelo con agua, condiciones no gratas para anidar (Kaspari, 2003), esto se debe a que la precipitación borra las señales químicas dejadas por las obreras, principalmente en suelos desprovistos de vegetación (Rojas, 2001).

Por el contrario cuando la humedad es muy baja las hormigas pueden sobrecalentarse y morir o afectar en el número de horas de forrajeo (Castro, 2008). Es así que en los trópicos, particularmente en los bosques de montaña, existe gran diversidad de formícidos por las condiciones climáticas y microclimáticas óptimas, a diferencia de sitios con altas temperaturas y humedad baja como los desiertos.

#### **2.4.3. Altitud**

La riqueza de hormigas tienen una relación inversamente proporcional a la altitud y la latitud, estableciéndose los picos máximos de riqueza a altitudes medias (Castro *et al.*, 2008; Guénard, 2013). Algunos factores que influyen en la diversidad de hormigas por la altitud son: el descenso de la temperatura, el grado de humedad relativa en el aire y el



suelo (Castro *et al.*, 2008), formación de nubes en las partes altas (reducción del tiempo de insolación en el suelo) y la disminución del volumen de la hojarasca (Bruhl *et al.*, 1999).

La densidad y la riqueza de hormigas puede bajar drásticamente a partir de 1500 msnm a 2000 msnm, patrón que se evidenció en las 8 especies registradas a 3000 msnm en el Parque Nacional Podocarpus (Delsinne *et al.*, 2012b; Longino y Colwell, 2011). La influencia de las gradientes altitudinales en la biodiversidad ha mostrado información importante en las respuestas al cambio climático (Deutsch *et al.*, 2008; Colwell y Rangel, 2010).

#### **2.4.4. Cobertura vegetal y Perturbación**

Los bosques cerrados (dosel denso), protegen al sotobosque de los rayos solares directos, del viento y la lluvia, además retienen la humedad, este es el caso de bosques primarios generalmente (Pearcy y Way, 2012). El microclima creado de acuerdo a la cantidad de luz solar que ingresa al sotobosque condiciona la presencia y el comportamiento de los insectos particularmente en la alimentación de las hormigas (Barbosa y Wagner, 1989; Ricard y Messier, 1996). Por otro lado en los bosques abiertos (dosel no denso) existe un microclima más cálido por el paso de luz solar directa, esto facilita la anidación de hormigas; sin embargo en áreas muy abiertas y con cobertura vegetal escasa, pueden afectar negativamente a la diversidad de hormigas (Rojas, 2001).

El grado de conservación de un sitio es un aspecto importante en la riqueza de hormigas, puesto que en los lugares poco intervenidos existe mayor disponibilidad de alimentos y de sitios para anidar, por lo que las competencias entre especies de hormigas disminuyen, existiendo generalmente mayor cantidad de hormigas especialistas (Fuster, 2012). Es importante determinar además el tipo de vegetación puesto que representa mayor o menor cantidad de biomasa al nido de hormigas, así como también determinar el tiempo de intervención antropogénica y la intensidad de perturbación ya que afecta en la riqueza, abundancia y dominancia de algunas especies de hormigas (Rojas, 2001).

## **2.5. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA DIVERSIDAD DE HORMIGAS**

### **2.5.1. Curva de Acumulación:**

La curva de acumulación consiste en ubicar en un plano cartesiano el número acumulado de especies (riqueza acumulada), por ejemplo: si en la primera muestra existen 15 especies de hormigas las coordenadas serán (1, 15) y si la segunda muestra tiene 10 especies, pero 5 no han sido capturadas antes entonces la riqueza acumulada será 20 y el punto en el plano (2, 20), el proceso se repite para cada muestra (Sarmiento, 2003).

La curva de acumulación es de carácter predictiva, pues muestra una aproximación al número de especies de la región debido a que la parte final de la curva es asintótica (Sarmiento, 2003); es decir si la gráfica del muestreo tiene una curva de acumulación con pendiente alta, entonces falta mucho para obtener una muestra completa del sitio, por el contrario si la curva es muy plana en su porción final (asíntota estabilizada), el muestreo es representativo y cerca de ser completo (Gotelli *et al.*, 2011).

La elevada diversidad de hormigas incluye la constante aparición de especies raras y de un listado de hormigas incompleto (Gotelli *et al.*, 2011). En efecto, es necesario extrapolar la acumulación de especies de la curva utilizando los datos existentes, así se estima la asíntota si el muestreo fuese prolongado indefinidamente, los índices más útiles en este caso son los no paramétricos (Chao, 1984). De tal manera la curva representa el camino recorrido y por recorrer del muestreo respecto a la representatividad de la riqueza total del lugar (Sarmiento, 2003).

### **2.5.2. Estimación de Riqueza**

Mediante la curva de acumulación es posible calcular la riqueza de hormigas, cuya predicción es más acertada al tomar en cuenta el número de individuos (abundancia). Para ello se considera el uso de estimadores como el Chao 2 que usa el número de especies con la abundancia y Estimates, que a partir de un muestreo estructurado calcula la riqueza de un sitio (Sarmiento, 2003). Es necesario conocer que la abundancia real de estos insectos es difícil de medir, por ejemplo en hormigas no existe un patrón sus actividades, algunas forrajean en intervalos de tiempo indistintos, mientras que otras se

quedan en los nidos para su protección (Rojas, 2001). Además es muy probable que en las trampas de caída se capturen grandes grupos de hormigas de un mismo nido, alterando los resultados.

### 2.5.3. Grupos funcionales

Grupo funcional es el conjunto de especies que poseen atributos (morfológicos, fisiológicos, conductuales o de historia de vida) que son semejantes y que desempeñan papeles ecológicos equivalentes (Martínez, 2008). El estudio de los grupos funcionales permite realizar comparaciones entre comunidades con poco traslape de especies e identificar patrones en la biodiversidad considerando diferentes variables ambientales (Fernández, 2003).

El reconocimiento de los grupos funcionales facilita conocer las dinámicas espaciales necesarias para determinar el estado de conservación de las especies (Lozano *et al*, 2009). Se pueden realizar grupos funcionales por ejemplo en hormigas carnívoras, necrófagas o nectívoras; en función a la localización de nido y el lugar para forrajear, es decir hormigas de hojarasca, subterráneas, arbóreas, etc. (Silvestre *et al.*, 2003). En el Cuadro 1 se indican los grupos funcionales en que se clasificarán las hormigas en esta investigación.

**Cuadro 1. Grupos Funcionales en que se clasificarán las hormigas**

Grupo Funcional	Características	Ejemplos
Cazadoras epigeas grandes	Tamaño relativamente grande (long. del cuerpo 1,5 cm o más), ojos grandes y suelen encontrársela sobre la hojarasca para cazar.	Pachycondyla, Odontomachus y Ectatomma
Cazadoras epigeas generalistas	Depredadoras, tamaño mediano a pequeño (longitud del cuerpo 0,8 a 1,5cm) habitan en el suelo y sobre la hojarasca para cazar.	Pachycondyla, Odontomachus, Ectatomma, Anochetus y Leptogenys.
Cazadoras en grupos (no nomádicas)	Depredadoras con nidos perenes, con exploradoras que reclutan grupos de obreras para cazar presas grandes o abundantes.	Leptogenys, Gnamptogenys (grupo triangularis) y Pachycondyla (grupo laevigata).
Cazadoras	Cazan en grupo, con nidos temporales,	Subfamilia Dorylinae (Géneros

nomádicas	son extremadamente agresivas e invasoras de nidos de colémbolos, abejas, avispa.	como: Eciton, Nomamyrmex, Neivamyrmex, y Labidus) excepto el género Simopelta
Cazadoras crípticas	Su tamaño y ojos son pequeños (longitud del cuerpo aprox. menor a 0,8cm), su método de cacería es dentro de la hojarasca, suelo o madera podrida y no en la superficie.	Ponerinae (Hypoponera, Thaumatomyrmex), Myrmicinae (Rhopalothrix, Protalaridris), Ectatomminae (Typhlomyrmex), Amblyoponinae (Stigmatomma), y Proceratiinae (Discothyrea).
Cazadoras de Collembola	Se estiman estas hormigas como medidores de la diversidad de Collembola.	Hormigas del género Strumigenys de la Tribu Dacetini
Cultivadoras de hongos (detritus)	Son hormigas de la Tribu Attini que no cortan follaje, recolectan materia orgánica miscelánea para usarlo como sustrato para sus jardines; al ser especializadas son un grupo de hormigas más avanzadas.	Cyphomyrmex, Sericomymex, Myrmicocrypta, Mycocephurus, Apterostigma y algunas Trachymyrmex.
Cultivadoras de hongos	Establecen una asociación de cooperación con un hongo que domestican y cultivan (sobre el follaje fresco) para sus crías.	Atta, Acromyrmex y Trachymyrmex

Fuente: Anderson, 1997; Silvestre *et al.*, 2003; Narenda *et al.*, 2010.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. ÁREA DE ESTUDIO**

##### **3.1.1. Ubicación Política y Geográfica**

La investigación se llevó a cabo en dos sitios de bosque nublado al Sur del Ecuador: El primero es en la Reserva Arcoíris, que corresponde a la parte oriental del Parque Nacional Podocarpus, a 12,3 km de Loja, en el sector San Francisco, Parroquia Sabanilla- Provincia de Zamora Chinchipe (Castillo *et al.*, 2007). Limita: al norte: con el río San Francisco, al sureste: Parque Nacional Podocarpus (PNP), al oeste: PNP en la quebrada Consuelo y la quebrada San Ramón. La investigación se realizó en el sector ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: 3.98846 °S y 79.09326 °W; a una altura de 2060 a 2105 msnm.

El segundo sitio se encuentra en la Reserva el Madrigal, ubicada junto al PNP en Zamora Huayco alto a 6 km al sur oriente de la ciudad de Loja, el sitio pertenece al barrio El Carmen, parroquia San Sebastián. Sus límites son: al norte: con la Microcuenca Mendieta, al sur: con la Microcuenca Namanda, al este: Cordillera de los Andes, al oeste: barrio Zamora Huayco Alto. Las coordenadas del sector de investigación son: 4.04655 °S y 79.17583 °W; a 2350 msnm. Entre Arcoíris y El Madrigal existe una distancia aproximada de 11, 17 km.

##### **3.1.2. Descripción del Área de estudio**

La Reserva Arcoíris se creó en 1996, ésta corresponde a una de las cuatro entradas oficiales al PNP, cuenta con una extensión de 6 ha de terreno con bosque primario y con tres senderos que son Romerillos, Golondrinas y Bosque Nublado (Bussmann, 2003). Por otro lado, la Reserva el Madrigal fue creada en 2005, tiene un área de 306 ha, siendo la parte baja bosque intervenido (CNBRPE, 2015). En la reserva se realizan actividades de conservación, protección del bosque nublado y recuperación de la flora nativa, así como actividades educativas, ya que en su interior cuenta con el Centro Educativo Amauta. En la Figura 1 se muestra el mapa de ubicación de los puntos de estudio donde se llevó a cabo la presente investigación.

## MAPA BASE DE LAS RESERVAS ECOLÓGICAS ARCOIRIS Y EL MADRIGAL

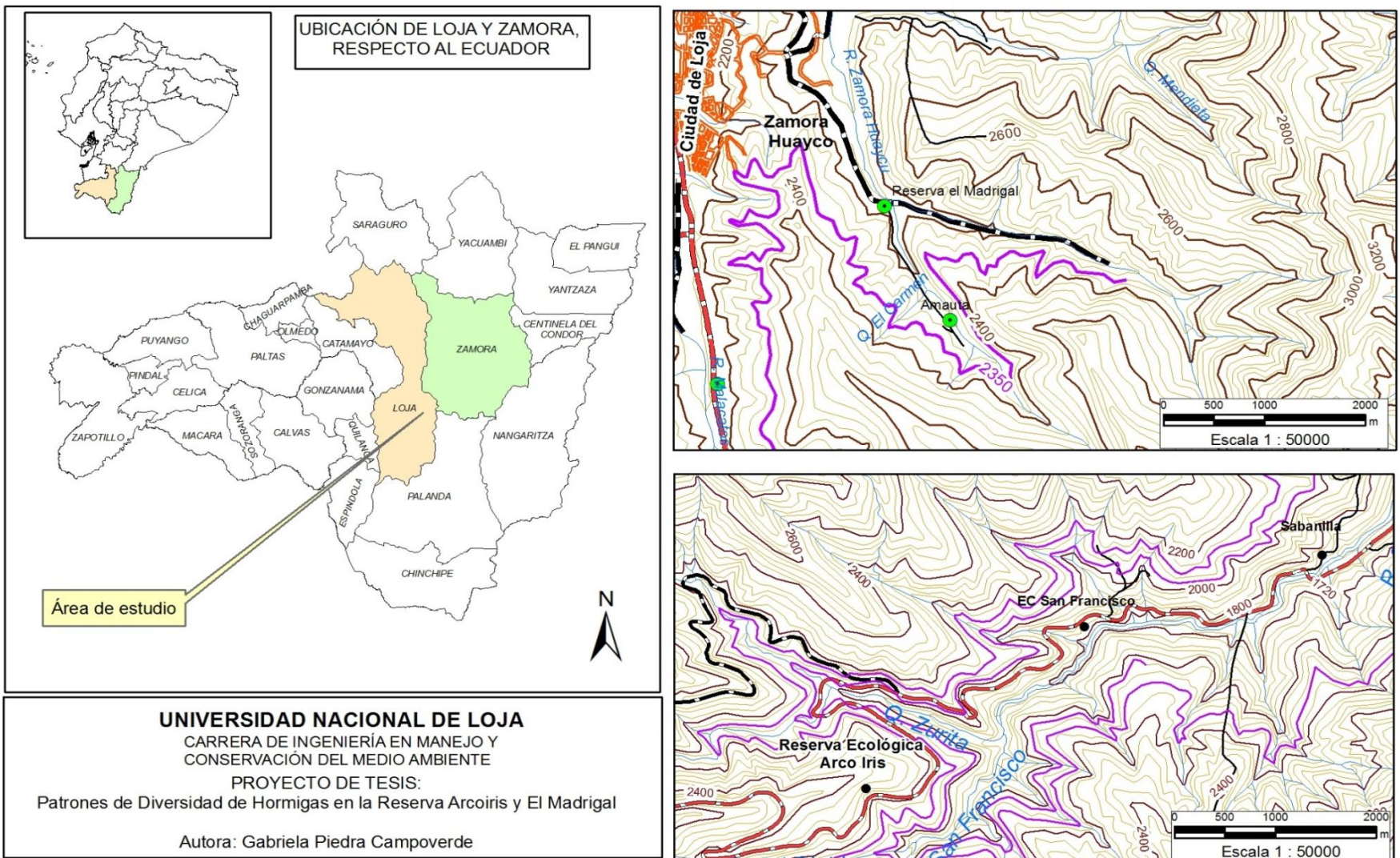


Figura 1. Mapa base de las Reservas Arcoiris y El Madrigal

### 3.1.2.1. Suelos

El tipo de suelo que tiene la Reserva Arcoíris es de tipo franco-esqueléticos en mayor parte, con altos valores de mica y régimen de temperatura isotérmico. Los sustratos geológicos consisten de roca arenosa y piedra azul, cuyo suelos son principalmente Dystrudepts, Humaquepts y Petraquepts (Schrumphf, 2001). Las escarpadas pendientes que van entre 40 % y 80 %, mientras que las lluvias fuertes, la construcción de carreteras, y el tipo de suelo son factores que influyen los constantes derrumbes en la zona (Gálvez *et al.*, 2003; Bussmann, 2006). Estos derrumbes son importantes en el ciclo de nutrientes del ecosistema, en el mantenimiento de la diversidad, la dinámica y la estabilidad del bosque (Schrumphf, 2001; Bussmann, 2006).

### 3.1.2.2. Clima

El clima se encuentra condicionado por la latitud, altitud, el relieve, los vientos y las corrientes marinas. El régimen climático de Arcoíris y el Madrigal, tiene una época fría de mayo a septiembre y una época caliente de octubre a abril y cuentan con un clima templado húmedo sin estación seca. Se consideraron las estaciones meteorológicas más próximas a los sitios de estudio, en el caso de Arcoíris fue la Estación Meteorológica San Francisco ubicada a una altura de 1620 m, la distancia entre ambos sitios es de 2,5 km; mientras que para El Madrigal se tomaron los datos de la Estación Meteorológica La Argelia que se encuentra a una distancia de 3,12 km del sitio de estudio, a 2160 m de altura. En el Cuadro 2 se muestran los promedios anuales de los parámetros meteorológicos durante el lapso del 2000 al 2010.

**Cuadro 2. Promedios anuales meteorológicos de las Estaciones La Argelia y San Francisco**

Estación	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)
La Argelia	16	74,2	1066
San Francisco	12	86	2500

Fuente: INAMHI, 2000-2010; Bussmann, 2006; Gálvez *et al.*, 2003

### **3.1.2.3. Fauna y Flora**

La parte norte del PNP abarca el área de la Reserva Arcoíris, siendo el hábitat de algunos mamíferos como el oso de anteojos, venado enano, tapir, puma, entre otros y más de 600 especies de aves migratorias y endémicas de Ecuador entre ellas: colacinta coliverde (*Lesbia nuna*), carpintero café (*Veniliornis fumigatus*), tangara Cariflama (*Tangara parzudakii*), pava ala de hoz (*Chamaepetes goudotii*), entre otras (López *et al.*, 1999). Por otro lado entre 1500 y 2100 m de altura las familias de árboles más comunes Lauraceae, Melastomataceae, Rubiaceae, Mimosaceae y Sapindaceae (Gentry, 1995; Uday y Bussmann, 2004; Herbario Loja, 1999). Además existe gran presencia de musgos, helechos, orquídeas y bromelias, registrando probablemente su más alta diversidad en estos ecosistemas (Gálvez *et al.*, 2003).

Por otra parte, en la Reserva El Madrigal se pueden reconocer árboles como el Nogal, Cedro, Aliso, Puma maqui, Joyapas, Arrayan, Chilca, Mora de cerro, Quique, Salapa, especies endémicas en peligro de extinción como la Cascarilla (*Cinchona officinalis*), entre otros. De igual manera la reserva otorga un excelente hábitat para el oso de anteojos, zorros (*Vulpes vulpes*), lagartijas roquera (*Podarcis muralis*), lobos de paramo (*Licalopez culpaeus*), zarigüeya andina (*Didelphis perdinagra*), gallina de monte (*Penelope montagnii*), quiques (*Galictis cuja*), palomas torcaza (*Columba fasciata*), Tórtola (*Zenaida auriculata*), quinde (*Amazilia amazilia*), guanchaca, puerco espín, ratón común (*Mus musculus*), entre otros y gran variedad de insectos (CNBRPE, 2015).

## **3.2. MATERIALES**

### **3.2.1. Materiales de Campo**

Para la fase de campo se necesitó: 1 tamizador de hojarasca, 20 extractores mini-winkler, 20 sacos de tela con amarres, 3 guacales de plástico, 1 cinta métrica de 30 m, 2 marcadores punta fina (0,05) tipo pigmento, 1 rollo de cinta de papel, 1 papel grueso o cartulina delgada, 100 alfileres para insectos tamaño 3 de acero inoxidable, 3 cajas entomológicas, pega blanca, esmalte de uñas transparente, 10 pliegos de cartulina blanca o beige, pinceles pequeños, 2 tijeras grandes, 2 tijeras pequeñas, 2 pinzas relojero punta fina inox, 2 pinzas punta mediana, 50 frasquitos con tapa (3-5 ml), 1 pala jardinería, 1



malla tramo fino acuario, 50 vasos desechables plásticos, 50 fundas plásticas, 1 GPS. Los materiales personales necesarios para el campo fueron: linterna frontal, pequeño machete, botas de caucho, impermeable, silbato, navaja de bolsillo, libreta de campo, lápices.

### **3.2.2. Materiales y Equipos de Laboratorio**

En la fase de laboratorio los materiales que se utilizaron fueron 1 pisetas 250 mililitros, 5 platos petri grande, 10 platos petri pequeños, 10 litros etanol; mientras que el equipo de laboratorio fue una lupa estereoscópica con iluminación.

### **3.2.3. Materiales de escritorio**

Los implementos de escritorio fueron: Impresora con tinta tipo pigmento, computadora y el siguiente Software: Procesador de palabras, Hoja de cálculo, Biota (Colwell, 2012), Estimates 9.0 (Colwell, 2009).

## **3.3. MÉTODOS**

### **3.3.1. Métodos de Campo**

Para la recolección de información en campo, fue necesario identificar en cada sitio de estudio, un área apropiada para trazar un transecto lineal de aproximadamente 200 m, en este espacio se ubicaron 20 cuadrículas de 1 m<sup>2</sup> a una distancia de 10 m entre cada una. En cada cuadrícula se picó la hojarasca con un machete, posteriormente se recogió la hojarasca en el tamizador y se obtuvo el material menos grueso. La hojarasca tamizada de cada cuadrícula fue depositado en bolsas de tela numeradas para ser ubicadas en un extractor mini Winkler de acuerdo a su numeración durante 48 horas; con el fin de poner en actividad a las hormigas a se extrajo el material para removerlo y ubicarlo nuevamente en el extractor, esto entre las primeras 24 horas. La fauna capturada fue depositada en alcohol en doble fundas plásticas, con las etiquetas correspondientes, para analizarlas en el laboratorio.

De forma paralela al primer transecto, a una distancia de diez metros se realizó otro transecto con 20 trampas de caída, cuyo procedimiento consiste en ubicar un vaso en al ras del suelo, con agua, sal y jabón en su interior; posteriormente luego de 24 horas el

contenido se recogió y lavó en un tamizador muy pequeño, el contenido fue depositado en bolsas de plástico con alcohol y la debida etiqueta, para estudiarlo en el laboratorio; de éstos análisis se calcularon los índices y estimadores pertinentes. Finalmente con la intención de recolectar ejemplares de hormigas cazadoras nomádicas, se realizaron caminatas lentas en la mañana, tarde y noche, durante aproximadamente una hora. Las especies colectadas se mantuvieron en alcohol absoluto.

### **3.3.2. Métodos de Laboratorio**

Una vez obtenidas las capturas de hormigas en el campo se procedió a llevarlas al laboratorio, donde fueron separadas las hormigas de los otros insectos que han caído en las trampas. Para la separación se hizo uso de una lupa estereoscópica y una caja Petri mediana con una base blanca cuadrículada de 1 cm<sup>2</sup> con el fin de realizar una búsqueda más precisa de las hormigas, dicha separación se la realizó con una muestra a la vez, con la consideración de las etiquetas pertinentes para evitar confusiones. Se elaboraron cajas entomológicas de las especies de hormigas capturadas con las etiquetas respectivas.

### **3.3.3. Métodos para cumplir los objetivos**

#### **- Calcular la riqueza de hormigas en la Reserva Arcoíris y el Madrigal.**

Para este objetivo se realizó una lista de las especies encontradas para ambos sitios, estableciéndose las subfamilias, géneros y especies encontradas, de igual manera se identificó el método de campo con el que se obtuvo al espécimen. Se utilizó únicamente la información de los métodos que constan en el Protocolo ALL, que son trampas de caída y hojarasca; posteriormente se estableció el formato necesario para ingresar las especies colectadas para cada sitio al programa Estimates 9.0 y se hizo correr el programa. Se realizó un conteo del número de especies, géneros y subfamilias obtenidas por cada sitio.

La riqueza estimada fue obtenida a través de índices no paramétricos ICE, Chao 2 y Jackknife de segundo orden, se realizaron curvas de acumulación de especies Mao Tao con el programa Estimates 9.0 (Colwell, 2009) para calcular el rendimiento del muestreo

y facilitar las comparaciones entre las curvas de acumulación de los índices y las de la riqueza calculada para ambos lugares.

**- Calcular la abundancia (incidencia) de hormigas en la Reserva Arcoíris y el Madrigal**

Se utilizó la lista de especies capturadas con el Protocolo ALL transformándose la matriz de abundancia en una matriz de presencia o ausencia (incidencia), con valores 1 y 0 respectivamente. En el caso de especies que cayeron en ambos métodos de igual forma se midió la incidencia, así la máxima ocurrencia para cada especie sería 20. Se aplicaron para cada localidad los índices de Shannon-Wiener, que se basa en el concepto de equidad, asumiendo que todas las especies están representadas en la muestra y que son seleccionadas al azar, y el índice de Shannon aquel que muestra la probabilidad de que dos individuos tomados al azar correspondan a la misma especie, basado en la dominancia de las especies (Moreno, 2001). Los índices se obtuvieron mediante el ingreso de las presencias y ausencias de las hormigas en el programa Estimates 9.0.

Se obtuvieron frecuencias de las especies para cada sitio, obtenidas de a sumatoria de las presencias de las especies por cada hojarasca y trampa de caída. Se obtuvieron las especies raras, mediante el conteo de las presencias de las especies en una y dos muestras de hojarasca, es decir aquellas especies con frecuencias de 0,1 (2 presencias) y 0,05 (1 presencia), además se hizo el conteo de las especies únicas o exclusivas para cada sitio. Para la diversidad beta se extrajo el índice de Sørensen obtenido los datos obtenidos de Estimates 9.0, y se calculó el grado de complementariedad de las dos diversidades, así como la obtención de las especies compartidas.

**- Formular una serie de grupos funcionales en la Reserva Arcoíris y el Madrigal**

Los grupos funcionales fueron establecidos en base a información secundaria e información de los especímenes colectados en campo, esta clasificación de hormigas se la realizó de acuerdo a sus hábitos alimenticios. Por tratarse de sistemas diferentes o desconocimiento de la biología de las hormigas a estudiar, los grupos fueron establecidos de acuerdo a la historia natural conocida y afinidad filogenética (Anderson 1997; Silvestre *et al.*, 2003; Narendra *et al.*, 2010).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DIVERSIDAD ALFA

Los resultados de riqueza y abundancia de hormigas (diversidad alfa) se obtuvieron únicamente de los métodos de tamizado de hojarasca y trampas de caída (Protocolo ALL), sin embargo con fines de análisis se integró una sección donde se describe la riqueza de hormigas con los cuatro métodos de colecta como se muestra en la Cuadro 3 y una sección que muestra la eficacia de cada método aplicado, Figura 2.

**Cuadro 3. Diversidad de hormigas en los sectores Arcoíris y El Madrigal**

Subfamilias	Especies	Localidad	Frecuencias (%)	Métodos de colecta			
				HJ	TC	CM	LS
<b>Dolichoderinae</b>	<i>Linepithema piliferum</i>	Arcoíris- El Madrigal	10(M), 5(A)	x	x	x	
<b>Dorylinae</b>	<i>Cheliomyrmex andicola</i>	El Madrigal	5	x			
	<i>Labidus coecus</i>	El Madrigal	10	x	x	x	
	<i>Neivamyrmex macrodentata</i>	El Madrigal	5	x			
	<i>Neivamyrmex sp. 1</i>	El Madrigal	5	x			
<b>Ectatomminae</b>	<i>Typhlomyrmex major</i>	El Madrigal					x
<b>Formicidae</b>	<i>Acropyga fuhrmanni</i>	El Madrigal	-				x
	<i>Camponotus propinquus</i>	El Madrigal	-			x	
	<i>Camponotus sp. 2</i>	Arcoíris	-			x	
	<i>Camponotus sp. 3</i>	El Madrigal	-			x	
	<i>Myrmelachista sp. 2</i>	Arcoíris	-			x	x
	<i>Myrmelachista zeledoni</i>	Arcoíris	10	x		x	
	<i>Nylanderia sp. 1</i>	Arcoíris- El Madrigal	-			x	x
	<i>Nylanderia sp. 2</i>	Arcoíris	-			x	
	<i>Nylanderia sp.3</i>	Arcoíris	5			x	
	<i>Nylanderia sp.4</i>	Arcoíris	-			x	
<i>Nylanderia sp. 5</i>	Arcoíris- El Madrigal	-			x		
<b>Myrmicinae</b>	<i>Acromyrmex sp. 1</i>	Arcoíris	10	x		x	
	<i>Megalomyrmex glaesarius</i>	Arcoíris- El Madrigal	-			x	
	<i>Nesomyrmex sp. 1</i>	Arcoíris	-			x	

	<i>Pheidole sp. 1</i>	El Madrigal				<b>x</b>	<b>x</b>
	<i>Pheidole sp. 2</i>	Arcoíris	-			<b>x</b>	
	<i>Pheidole sp. 3</i>	El Madrigal	20	<b>x</b>	<b>x</b>		
	<i>Pheidole sp. 4</i>	El Madrigal	-			<b>x</b>	
	<i>Pheidole sp. 5</i>	Arcoíris	-			<b>x</b>	
	<i>Pheidole sp. 6</i>	Arcoíris	35	<b>x</b>		<b>x</b>	
	<i>Pheidole sp. 7</i>	Arcoíris-El Madrigal	15(M), 30(A)	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	
	<i>Procryptocerus sp.1</i>	Arcoíris	-			<b>x</b>	
	<i>Protalaridris n. sp.</i>	El Madrigal	5	<b>x</b>			
	<i>Strumigenys lojanensis</i>	Arcoíris- El Madrigal	10(M), 5(A)	<b>x</b>			
	<i>Strumigenys madrigalae</i>	El Madrigal	10	<b>x</b>			
<b>Ponerinae</b>	<i>Hypoponera sp. 1</i>	Arcoíris	-			<b>x</b>	
	<i>Hypoponera trigona</i>	Arcoíris	35	<b>x</b>			<b>x</b>
	<i>Neoponera carbonaria</i>	Arcoíris- El Madrigal	10(M), 10(A)		<b>x</b>	<b>x</b>	
	<i>Rasopone becculata</i>	Arcoíris	10	<b>x</b>			
	<i>Simopelta manni</i>	Arcoíris	10	<b>x</b>			
<b>Proceratiinae</b>	<i>Discothyrea horni</i>	El Madrigal	5	<b>x</b>			

**Simbología: HJ: Hojarasca, TC: Trampas de caída, CM: Colecta manual, LS: Lavado de suelo; (M): Madrigal, (A): Arcoíris.**

En el presente cuadro se pueden observar las especies de hormigas capturadas con los cuatro métodos de colecta, con sus respectivas subfamilias y localidades. Las frecuencias se obtuvieron particularmente de las especies de hormigas capturadas con el Protocolo ALL, esto se describirá más adelante. En el Cuadro 4 se indican el número de especies de hormigas por cada subfamilia obtenidas con todos los métodos.

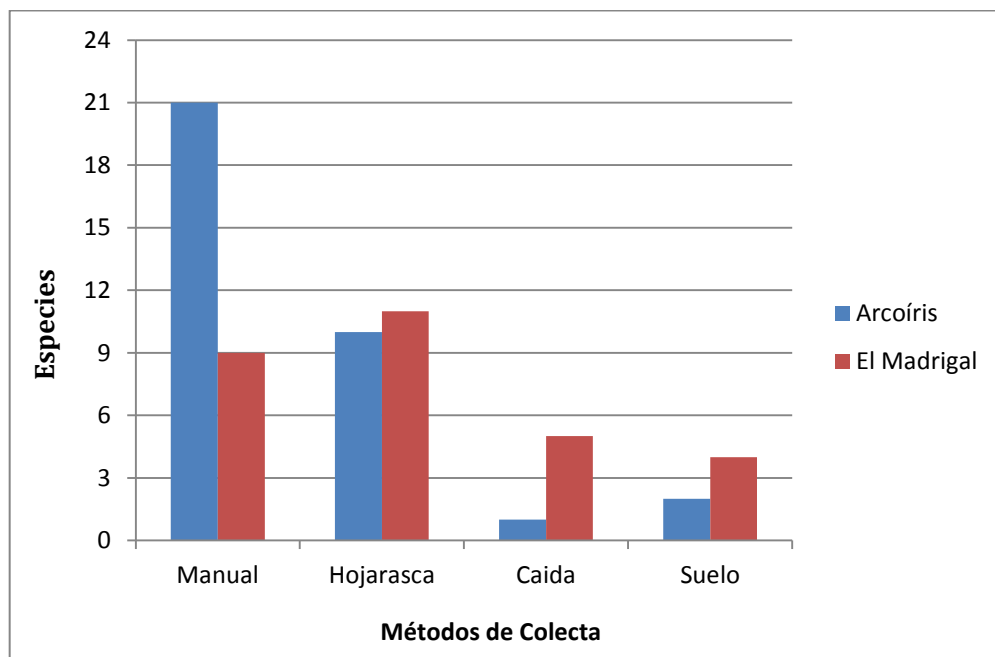
**Cuadro 4. Especies por Subfamilias en los sectores Arcoíris y El Madrigal**

SUBFAMILIA	Arcoíris		El Madrigal	
	Especies	%	Especies	%
<b>Dolichoderinae</b>	1	4	1	5
<b>Dorylinae</b>	0	0	4	20
<b>Ectatomminae</b>	0	0	1	5
<b>Formicinae</b>	8	35	5	25

<b>Myrmicinae</b>	9	39	8	35
<b>Ponerinae</b>	5	22	1	5
<b>Proceratiinae</b>	0	0	1	5
<b>TOTAL</b>	23	100	21	100

En Arcoíris y El Madrigal se obtuvieron 37 especies de hormigas con todos los métodos, 7 son compartidas. Las especies se encuentran distribuidas en 21 géneros siendo los más numerosos *Pheidole*, *Nylanderia* y *Camponotus*, que corresponden al 40,5 % de la totalidad de los géneros. Se determinaron 7 subfamilias Dolichoderinae, Dorylinae, Ectatomminae, Formicidae, Myrmicinae, Ponerinae y Proceratiinae, siendo las más numerosas en especies Myrmicinae (14), Formicinae (11) y Ponerinae (5).

#### 4.1.1. Eficacia de los métodos de colecta de hormigas



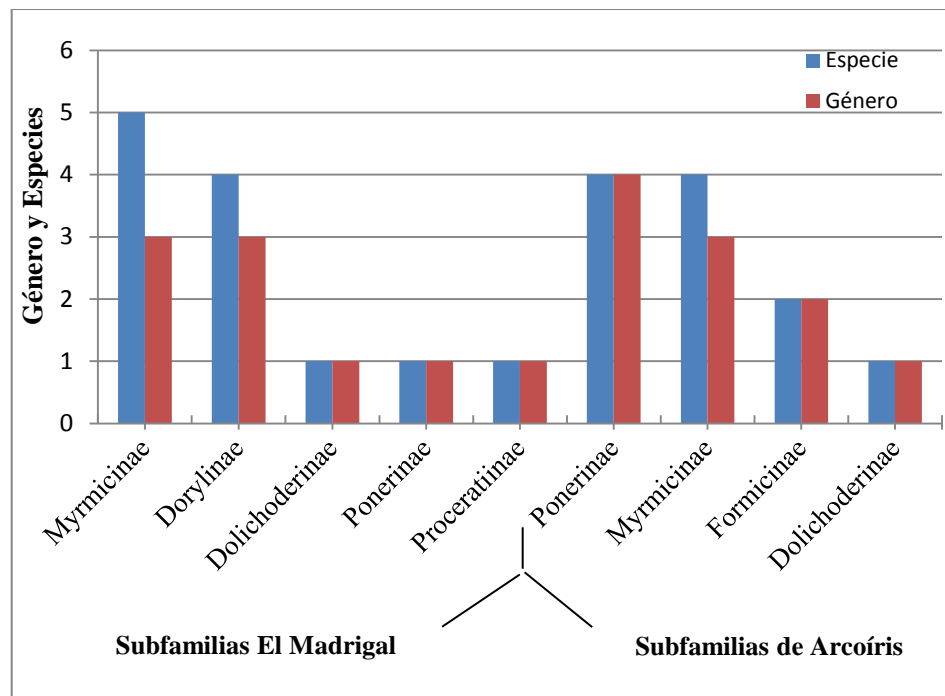
**Figura 2. Métodos de colecta de formícidos en los sectores El Madrigal y Arcoíris**

Los métodos que permitieron coleccionar la mayor cantidad de formícidos fueron captura manual y tamizado de hojarasca. Con el primer método se recolectaron 30 especies repartidas entre El Madrigal (9) y Arcoíris (21), mientras que el segundo método logró

recolectar exitosamente 21 especies de hormigas, donde 10 especies pertenecen al sitio Arcoíris y 11 en El Madrigal, este último método forma parte del Protocolo ALL.

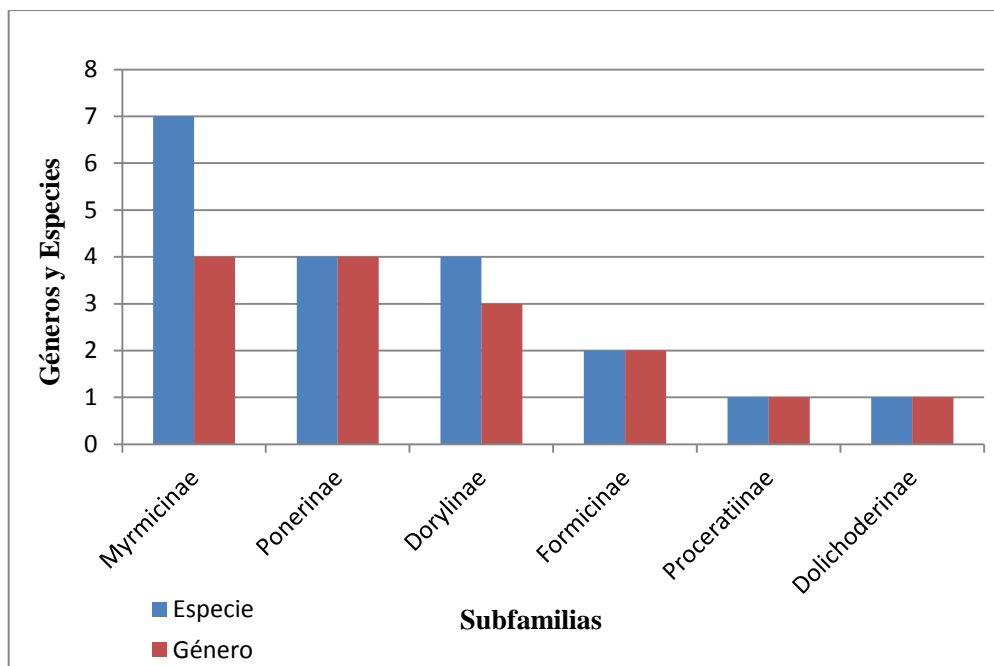
#### 4.1.2. Riqueza de Hormigas en Arcoíris y El Madrigal (Protocolo ALL)

A continuación en la Figura 3 se presentan las subfamilias con sus respectivos géneros y especies de forma separada para El Madrigal y Arcoíris, y en la Figura 4 se muestra los resultados de la riqueza total de hormigas en Arcoíris y El Madrigal, ambas gráficas mediante los métodos de tamizado de hojarasca y trampas de caída.



**Figura 3. Riqueza de hormigas de acuerdo a cada sitio de estudio**

En la Figura 3 se puede observar las subfamilias obtenidas en cada sitio, así como la cantidad de hormigas capturadas en cada uno de los géneros y especies. En el Madrigal se registraron 5 subfamilias, de las cuales las más numerosas en especies fueron Myrmicinae (5) y Dorylinae (4); mientras que en Arcoíris se registraron 4 subfamilias, de las cuales las más numerosas en especies fueron Myrmicinae y Ponerinae con 4 en cada caso. Por otra parte se obtuvieron 3 subfamilias únicas en los sitios, como son Dorylinae (4) y Proceratiinae (1) para El Madrigal; y Formicinae (2) en Arcoíris.



**Figura 4. Riqueza de hormigas en total de los sectores El Madrigal y Arcoíris**

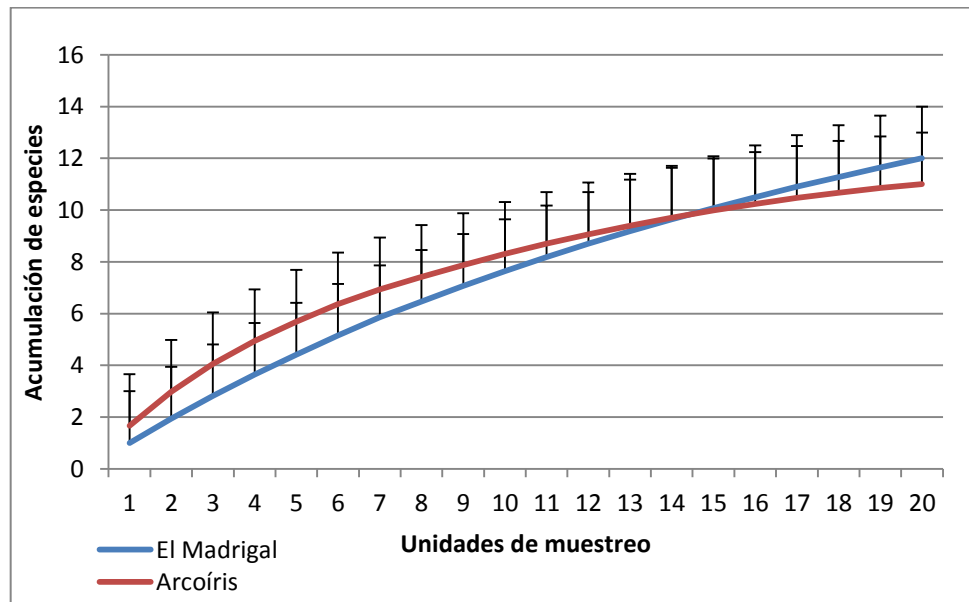
En las dos localidades se registraron 19 especies incluidas en 15 géneros y 6 subfamilias (Figura 4). La subfamilia Myrmicinae es la más diversa conformada por 7 especies de hormigas distribuidas en 4 géneros, seguida de la subfamilia Ponerinae con 4 especies pertenecientes a 4 géneros; Dorylinae con 4 y 3; Formicinae con 2 y 2; y por último, Proceratiinae y Dolichoderinae con una especie en cada caso. Las subfamilias Dorylinae, Ponerinae y Myrmicinae abarcan el 79 % de los géneros existentes. Los géneros con mayor número de especies fueron *Pheidole*, *Neivamyrmex* y *Strumigenys* con 3, 2 y 2 especies de hormigas respectivamente, que representan el 43,7 % del total de la diversidad.

Algunas especies de hormigas recolectadas fueron *Simopelta manni*, registrada por primera vez desde los años 30 en Pastaza; *Myrmelachista zeledoni* reportada por primera vez para el país en Arcoíris; *Neivamyrmex macrodentata* especie conocida únicamente en Centroamérica y ahora registrada por primera vez en Sudamérica. Se colectaron nuevas especies de hormigas para la ciencia como son *Strumigenys lojanensis* (Arcoíris y El Madrigal), *Strumigenys madrigalae* y *Protalaridris n. sp.* (El Madrigal).



#### 4.1.2.1. Riqueza Observada de Arcoíris y El Madrigal

En la Figura 5 se muestran las curvas de acumulación realizadas en base a los datos de Mao Tao. Información obtenida del programa Estimates.

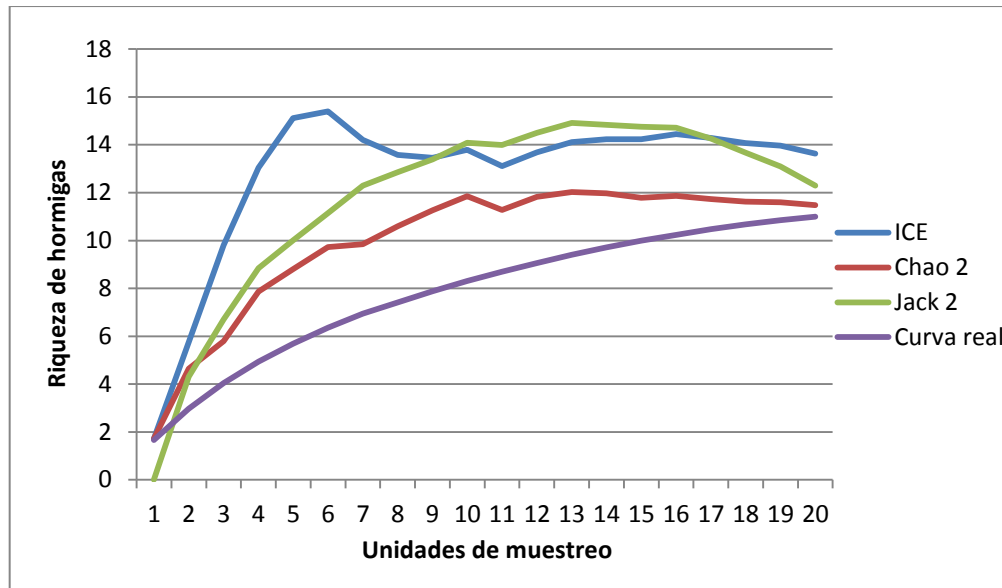


**Figura 5. Curvas de acumulación de riqueza de especies de hormigas en los sectores Arcoíris y El Madrigal. En el eje X se muestra el esfuerzo de muestreo en unidades de muestra, y en el eje Y las especies de hormigas acumuladas en cada muestra**

En la figura anterior se observan las curvas de acumulación de las dos localidades muy próximas debido a la semejanza en la cantidad de especies de hormigas colectadas en ambos casos. La pendiente de la curva de acumulación de El Madrigal es más pronunciada que la de Arcoíris, dichas curvas muestran 12 capturas de especies de hormigas para El Madrigal y 11 especies de hormigas en Arcoíris, para ambos casos no se alcanzan las asintotas.

#### 4.1.2.2. Estimadores de la riqueza de especies (riqueza estimada)

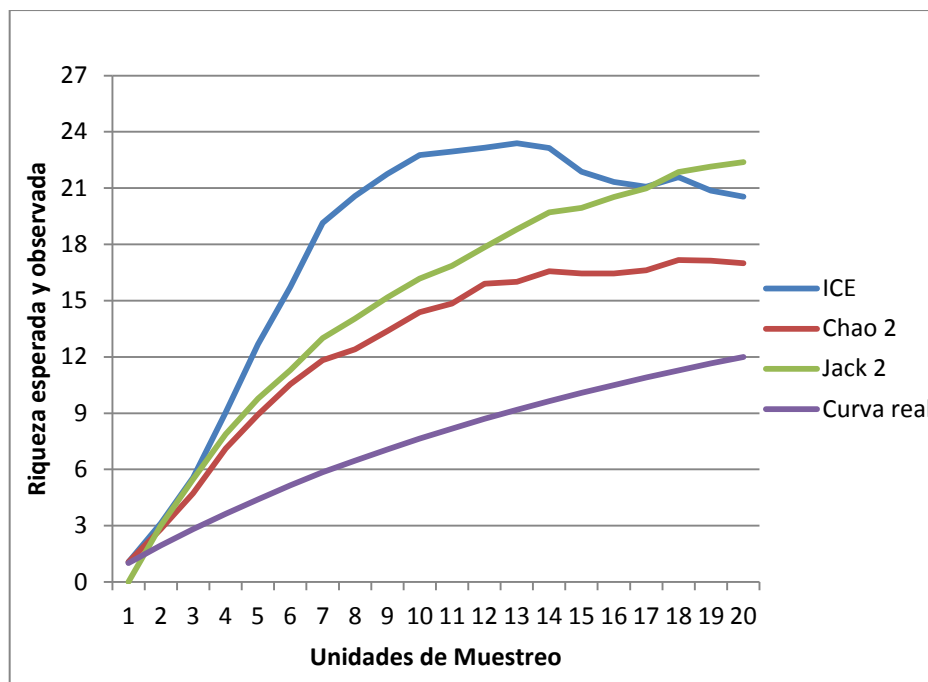
Para estimar la riqueza que puede tener un sitio se hizo uso de los índices ICE, Chao 2 y Jackknife 2, como lo muestran las Figuras 6 y 7. Estos índices se utilizaron para contrastar las curvas reales o riqueza calculada con las curvas estimadas, a fin de evaluar el rendimiento de colecta de hormigas.



**Figura 6. Curva de acumulación de especies del sector Arcoiris con índices de estimación de riqueza de ICE, Chao 2 y Jacknife 2.**

La riqueza estimada de Arcoiris muestra una gran cercanía con la curva real, según el estimador ICE el 78,5 % de las especies de hormigas fueron colectadas para el sitio, es decir 11 especies recolectadas de las 14 especies estimadas. Por otra parte Chao 2 estimó la misma cantidad de especies que la curva calculada obteniéndose el 100% de las especies estimadas para el sitio. El promedio de los tres estimadores indican que se espera encontrar 12 especies de hormigas, es decir se obtuvo el 91,6 % de la riqueza estimada para el sitio.

Mientras que por otro lado en la Figura 7 se puede observar una mayor lejanía entre la curva de acumulación de especies de El Madrigal y los índices aplicados en comparación con Arcoiris, como se muestra a continuación.



**Figura 7. Curva de acumulación de especies del sector El Madrigal con índices de riqueza de ICE, Chao 2 y Jackknife 2.**

El índice de estimación más lejano a la curva real es Jackknife 2 con 22 especies esperadas para el sitio, esto significa que para este estimador se colectó el 54,5 % de especies estimadas. Por otro lado el estimador más próximo a la curva calculada es Chao 2, este determinó 17 especies para el sitio, así la curva real representa el 70,5 % de las especies determinadas para el sitio. En promedio los índices estiman 19 especies para el sitio, es decir se obtuvo el 63,1 % de especies estimadas para el sitio de acuerdo a la curva real.

#### **4.1.3. Abundancia (incidencia) en los sectores de Arcoíris y Madrigal**

##### **4.1.3.1. Índices de Shannon Wiener y Gini Simpson**

Los valores de Shannon (abundancia proporcional de equidad) en Arcoíris y El Madrigal se muestran en el Cuadro 5, siendo el valor más alto para Arcoíris pero muy cercano al de El Madrigal. Según Magurran (1998), utilizando el índice de Shannon se considera diversidad baja a aquellos valores que caen por debajo de 1,6; diversidad media a los valores entre 1,6 a 3 y diversidad alta a valores que superan el 3.

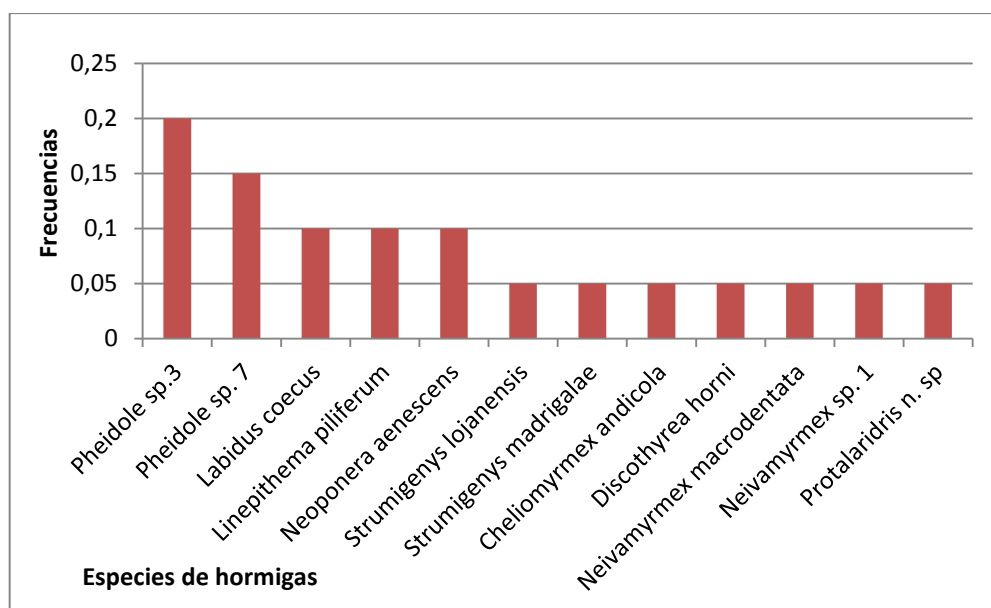
**Cuadro 5. Incidencia de las hormigas en los sectores Arcoíris y El Madrigal**

SITIO	Datos de abundancia	
	Shannon-Wiener	Gini- Simpson
Arcoíris	2,14	6,94
Madrigal	1,80	6,35

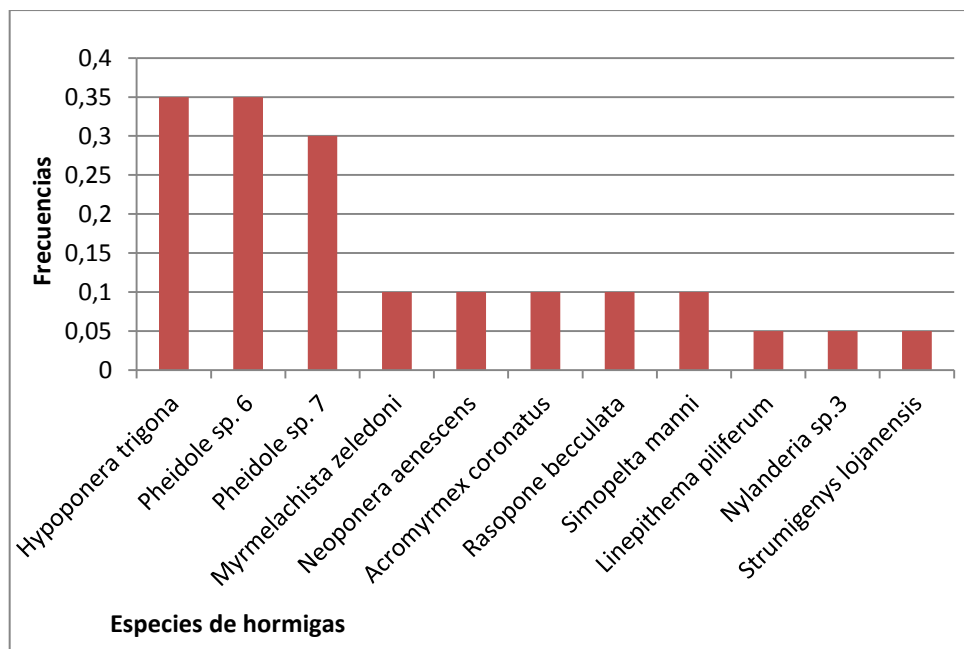
En Arcoíris y El Madrigal la diversidad es media, si se asume la uniformidad de las especies. Inverso a la abundancia de equidad, la abundancia proporcional de dominancia índice de Simpson, toma en cuenta el valor de importancia de cada especie. Cuando este índice toma valores superiores a 5 se considera que el sitio es medianamente diverso (Gliessman, 2002), es el caso de El Madrigal y Arcoíris con 6,35 y 6,94 respectivamente, mostrando una baja dominancia en las especies de hormigas.

#### 4.1.3.2. Abundancia de hormigas de acuerdo a las Frecuencias

Las frecuencias presentadas a continuación en las Figuras 8 y 9 muestran las especies con mayor presencia en cada unidad de muestreo,



**Figura 8. Frecuencia de la riqueza de hormigas en el sector El Madrigal**



**Figura 9. Frecuencia de la riqueza de hormigas en el sector Arcoírís**

En las figuras anteriores se evidencia una considerable diferencia en las frecuencias de hormigas capturadas para ambos sitios; así en El Madrigal las mayores frecuencias registradas fueron de 0,2 y 0,15 correspondientes a *Pheidole sp. 3* y *Pheidole sp. 7* respectivamente, mientras que siete especies de hormigas cayeron en la frecuencia más baja que es de 0,05. Por otro lado Arcoírís registra tres especies con mayor frecuencia, estas son *Hypoponera trigona*, *Pheidole sp. 6* y *Pheidole sp. 7*, que corresponden a las frecuencias de 0,35 para las dos primeras especies y 0,30 para la última citada, la frecuencia más baja registrada es de 0,05 donde cayeron únicamente tres especies. Arcoírís en comparación con El Madrigal tiene mayor cantidad de especies de hormigas con frecuencias altas.

Por otra parte de las especies compartidas *Pheidole 7* tiene la frecuencia más alta con 0,35 en Arcoírís y 0,15 en El Madrigal; seguida por *Linepithema piliferum* con una frecuencia en El Madrigal de 0,1 y en Arcoírís de 0,05; mientras que *Neoponera carbonaria* y *Strumigenys lojanensis* tienen la misma frecuencia en ambos sitios con 0,1 y 0,5 respectivamente. A continuación en el Cuadro 6 se presentan las especies de hormigas consideradas especies raras y únicas.

**Cuadro 6. Especies raras, únicas y compartidas de los sectores Arcoíris y El Madrigal**

Sitio	Especies de hormigas	N° de muestras	Especies Raras	Especies únicas
<b>El Madrigal</b>	<i>Neivamyrmex macrodentata</i>	1	x	x
	<i>Neivamyrmex sp. 1</i>	1	x	x
	<i>Cheliomyrmex andicola</i>	1	x	x
	<i>Protalaridris n. sp</i>	1	x	x
	<i>Discothyrea horni</i>	1	x	x
	<i>Labidus coecus</i>	2	x	x
	<i>Pheidole sp.3</i>	4	-	x
	<i>Strumigenys madrigalae</i>	2	x	x
<b>Arcoíris</b>	<i>Acromyrmex coronatus</i>	2	x	x
	<i>Rasopone becculata</i>	2	x	x
	<i>Simopelta manni</i>	2	x	x
	<i>Nylanderia sp.3</i>	1	x	x
	<i>Pheidole sp.6</i>	7	-	x
	<i>Myrmelachista zeledoni</i>	2	x	x
	<i>Hypoponera trigona</i>	7	-	x
<b>Compartidas</b>	<i>Linepithema piliferum</i>	1A- 3M	-	-
	<i>Neoponera carbonaria</i>	2A-4M	-	-
	<i>Pheidole sp.7</i>	6A-7M	-	-
	<i>Strumigenys lojanensis</i>	1A-3M	-	-
<b>TOTAL (%)</b>			<b>63,1 %</b>	<b>79 %</b>

**Simbología: A: Arcoíris; M: El Madrigal**

De la diversidad total de los sitios el 79 % de especies que son únicas, es decir 15 de 19 especies están en un solo sitio. Al realizar un conteo de la presencia o ausencia de las especies de hormigas por número de hojarasca, se identificaron 13 especies que cayeron en una o dos parcelas de hojarasca, esto corresponde al 63,1 % de especies raras para El Madrigal (7 especies) y Arcoíris (5 especies). Por unidad de muestreo se obtuvo una frecuencia de hormigas de 1,5 en el Madrigal y 1,7 en Arcoíris, equivalente a 1 o 2 especies de hormigas por metro cuadrado.

## 4.2. DIVERSIDAD BETA

### 4.2.1. Métodos cualitativos (Coeficiente de similitud Sørensen)

Este coeficiente permitió comparar la diversidad de hormigas de El Madrigal y Arcoíris, cuyos resultados se pueden observar en el Cuadro 7. La información que se muestra se la obtuvo mediante Estimates 9.0.

**Cuadro 7. Coeficiente de similitud de Sørensen de los sectores El Madrigal y Arcoíris**

Arcoíris	El Madrigal	ssp compartidas	Sørensen Clásico
11	12	4	0,34

El valor obtenido del coeficiente de Sørensen para El Madrigal y Arcoíris es de 0,3 lo que significa que los sitios son disímiles, las especies duplicadas corresponden al 21 % (4 especies) de las capturas para ambos sitios. La riqueza de hormigas en El Madrigal es semejante a la de Arcoíris, sin embargo al comparar los sitios, están compuestos por especies muy diferentes en cada caso.

### 4.2.2. Métodos de ordenación y clasificación (Complementariedad)

Para conocer el grado de complementariedad entre los dos sitios se aplicaron las fórmulas a continuación con sus respectivos resultados como lo muestra el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Complementariedad entre los sectores Arcoíris y El Madrigal**

Parámetros de medición	Fórmulas	Resultado de complementariedad
Riqueza total para ambos sitios combinados	$S_{ab} = A+B-c$ ; $S_{ab} = 12+11-4$	$S_{ab} = 19$
Número de especies únicas (cualquier sitio)	$U_{ab} = S_{ab} + c - (c*2)$ ; $U_{ab} = 19 + 4 - (4*2)$	$U = 15$
Complementariedad de A y B	$C_{ab} = U_{ab}/S_{ab}$ ; $C_{ab} = 15/20$	$C_{ab} = 0,75$

**Simbología.- A: Sitio 1 (El Madrigal); B: Sitio 2 (Arcoíris); c: Número de especies en común para A y B;  $S_{ab}$ : riqueza total A y B;  $U_{ab}$ : especies únicas;  $C_{ab}$ : Complementariedad A y B.**

La complementariedad entre Arcoíris y El Madrigal (Cuadro 8) fue 0,75 es decir que las especies existentes en ambos sitios es muy distinta, puesto que uno significa que ambos sitios son completamente distintos (Colwell y Coddington, 1994), esto corrobora los resultados obtenidos con del coeficiente de Sørensen.

### 4.3. GRUPOS FUNCIONALES

Las hormigas se clasificaron en gremios de acuerdo a sus hábitos de caza o preferencias alimenticias. En el Cuadro 9 se presentan las especies de hormigas clasificadas en los respectivos grupos funcionales.

**Cuadro 9. Grupos funcionales de los sectores Arcoíris y El Madrigal**

Especies de Hormigas	Grupos funcionales	Especies de hormigas	Grupos funcionales
<i>Cheliomyrmex andicola</i>	Cazadora nomádica	<i>Hypoponera trigona</i>	Cazadora críptica
<i>Labidus coecus</i>	Cazadora nomádica	<i>Discothyrea horni</i>	Cazadora críptica
<i>Neivamyrmex macrodentata</i>	Cazadora nomádica	<i>Strumigenys lojanensis</i>	Cazadoras de collembola
<i>Neivamyrmex sp. 1</i>	Cazadora nomádica	<i>Strumigenys madrigalae</i>	Cazadoras de collembola
<i>Simopelta manni</i>	Cazadora nomádica	<i>Neoponera carbonaria</i>	Cazadoras epigeicas generalistas
<i>Linepithema piliferum</i>	Omnívoras crípticas	<i>Rasopone becculata</i>	Cazadoras epigeicas generalista
<i>Nylanderia sp. 3</i>	Omnívoras crípticas	<i>Pheidole sp. 3</i>	Omnívoras epigeicas generalistas
<i>Pheidole sp. 6</i>	Omnívoras crípticas	<i>Acromyrmex coronatus</i>	Cultivadora de hongos
<i>Pheidole sp. 7</i>	Omnívoras crípticas	<i>Myrmelachista zeledoni</i>	Arbórea
<i>Protalaridris sp. 7</i>	Cazadora críptica		

De las 19 especies registradas en El Madrigal y Arcoíris, 5 pertenecen al gremio de cazadoras nomádicas que corresponden al 26,3 % del total de especies, seguidas por el



gremio Omnívoras crípticas con 4 especies que representan el 21 % y el de Cazadoras crípticas con 3 especies de hormigas correspondientes al 15,7 %, siendo estos tres gremios los más numerosos que equivalen al 63 % del total de las especies. Se clasificaron tres especies que caen en un único grupo funcional pertenecientes a Omnívoras epigeicas generalistas (*Pheidole sp. 3*), Cultivadoras de hongos (*Acromyrmex coronatus*) y finalmente Arbóreas (*Myrmelachista zeledoni*). En El Madrigal prevalece el grupo funcional correspondiente a cazadoras nomádicas, mientras que en Arcoíris son las Omnívoras crípticas, dichos grupos funcionales están conformados por 4 especies de hormigas que equivale al 33,3 % del total de la riqueza en cada sitio.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. DIVERSIDAD ALFA

#### 5.1.1. Riqueza de hormigas

Los resultados de riqueza de hormigas en Arcoíris y El Madrigal muestran una mayor eficacia de recolección de especímenes con los métodos de colecta manual y tamizado de hojarasca. Sin embargo colecta manual no se incluyó en la cuantificación para evitar sesgos en los resultados, puesto que deben considerarse factores como la hora, mano de obra y tiempo empleado en la recolección de hormigas (Castro *et al.*, 2008). El Protocolo ALL permite obtener datos estadísticos estrictos de riqueza y abundancia (Olson, 1991; Agosti *et al.*, 2000; Fisher, 2002) uno de ellos es el tamizado de hojarasca que fue el método más efectivo a nivel de proyecto, al igual que en otros estudios (Fisher, 1996; Robertson, 2002; Fisher, 2002). Los métodos de colecta manual y lavado de suelo permitieron obtener más información sobre las especies presentes en los sitios.

Se obtuvo una riqueza de 23 especies en El Madrigal (12) y Arcoíris (11), integradas en 15 géneros y 6 subfamilias. La subfamilia Myrmicinae fue la más numerosa en especies y géneros, seguida por Ponerinae, patrón conocido para el trópico (Fisher 1996; Robertson 2002; Guerrero y Sarmiento, 2010; Lattke y Riera, 2012) estas subfamilias junto a Dorylinae corresponden al 79 % de las especies registradas. Bustos y Ulloa (1997) registraron 25 especies de hormigas en el bosque de niebla del Parque Nacional Natural Farallones de Cali a 2300 msnm, algunos géneros compartidos con este proyecto fueron *Labidus*, *Neivamyrmex*, *Strumigenys*, *Pheidole* entre otros.

Estrada y Fernández (1999) obtuvieron 63 especies de hormigas en el bosque nublado de Nariño a 1850 msnm, probablemente dicha riqueza está relacionada a la menor altitud de la localidad colombiana. En la Montaña Kinabalu en Malasia, fue evidente la influencia de la gradiente altitudinal encontrándose 49 especies en tres estratos: alto (1824-2023 msnm), medio (1362-1433 msnm) y bajo (600-810msnm), con 16 y 17 especies en los estratos bajos y medio, ninguna especie en el alto (Brühl *et al.*, 1999). Delsinne y Arias (2012) realizaron un estudio en la “Estación Científica San Francisco”, ubicado a menos de 1 Km del sitio de muestreo de esta investigación, aplicaron el Protocolo ALL como

en este estudio, con el uso de extractores mini Winkler durante 48 horas, las condiciones ambientales son las mismas que este estudio encontrándose 28 especies de hormigas a 2000 msnm, sus análisis se centraron en la influencia de la humedad sobre la riqueza de hormigas. Al comparar la cantidad de especies obtenidas en este estudio se puede determinar que la información obtenida concuerda con otros estudios considerando que Arcoíris se encuentra a mayor altura.

El género *Solenopsis* obtuvo gran número de ejemplares, sin embargo no fueron considerados para la cuantificación por ser un grupo muy difícil de identificar, siendo necesario información molecular para diferenciarlas (Delsinne *et al.*, 2012a). Los géneros más numerosos fueron *Pheidole*, *Neivamyrmex* y *Strumigenys*, siendo los dos primeros los más diversos en zonas tropicales como afirman también otros estudios (Rojas, 2001; Latke y Rodríguez, 2012) y el último el más común en sitios más húmedos (Castro *et al.*, 2008). Los géneros *Pheidole* y *Solenopsis* se caracterizan por tener un comportamiento generalista propio de sitios perturbados (Perfecto, 1991; Guerrero y Sarmiento, 2010).

Las especies de mayor interés fueron *Simopelta manni*, *Myrmelachista zeledoni*, *Neivamyrmex macrodentata*, y el descubrimiento de nuevas especies como son *Strumigenys lojanensis*, *Strumigenys madrigalae* y *Protalaridris n. sp.* El descubrimiento de estas especies muestra la importancia de continuar realizando estudios para tener un registro de hormigas en el país y para coadyuvar al conocimiento de la distribución de formícidos en el trópico. Las especies nuevas sugieren una importante diversidad por descubrir en los bosques de neblina, la necesidad de nuevas investigaciones en estos ecosistemas y el interés por su conservación (Bussmann, 2005). Esto ratifica las afirmaciones de algunos autores acerca de la elevada posibilidad de encontrar especies nuevas y raras al estudiar las hormigas de la hojarasca (Olson, 1991; Fisher, 2002).

En El Madrigal y Arcoíris las curvas reales o calculadas muestran una riqueza de 12 y 11 especies respectivamente, es decir que la riqueza de hormigas es semejante, sin embargo la pendiente de la curva de El Madrigal es más pronunciada esperándose encontrar más especies de hormigas si se aumenta el esfuerzo de muestreo (Magurran,

2004). En Arcoíris se ha registrado gran parte de la diversidad de hormigas, debido a que la curva tiende a formar una paralela con el eje X, siendo el esfuerzo de muestreo relativamente suficiente (Gotelli y Colwell, 2001). En ambos casos la curva de acumulación no alcanza la asíntota, por tratarse de grupos hiperdiversos como las hormigas y la constante aparición de especies raras (Jiménez y Hortal, 2003; Gotelli y Colwell, 2001; Fisher, 2002).

Calcular la riqueza no es simple por lo que es necesario usar estimadores de riqueza (Leitner y Turner, 2001; Magurran, 2004). El promedio de los tres estimadores ICE, Chao 2 y Jackknife 2, mostró que se obtuvo el 91,6 % de la riqueza esperada para Arcoíris, mientras que en El Madrigal se recolectó el 63,1 % de las especies previstas, es decir que en Arcoíris se recolectó gran parte de la riqueza de hormigas mientras que en El Madrigal se espera sea mayor su riqueza (Magurran, 2004).

Estos estimadores son muy sensibles al tamaño de la muestra por lo que se recomienda usar Chao 2 para muestras pequeñas (Colwell y Coddington, 1994). Chao 2 fue el más próximo a la curva calculada en ambos sitios, (Guerrero y Sarmiento, 2010) encontraron esta aproximación en la primer grupo de alturas, a 835 y 968 msnm. Entonces se puede decir que 20 cuadrículas de tamizado de hojarasca durante 48 horas y las 20 trampas de caída durante 24 horas, fueron suficientes para coleccionar una representación acertada de la riqueza existente en ambos sitios (Delssine y Arias, 2012).

### **Condiciones que influyen en la riqueza de hormigas**

La mayor riqueza de El Madrigal podría deberse a factores de conservación, climáticos y topográficos como lo muestran otros estudios (Castro *et al.*, 2008; Brühl *et al.*, 1999). Los bosques primarios como Arcoíris, tienen mayor disponibilidad de nichos para las hormigas y menor competencia entre las especies, (Bustos y Ulloa, 1997) encontraron mayor riqueza de especies en este tipo de bosques. Sin embargo este estudio discrepa de esta afirmación, ya que se obtuvo mayor riqueza de hormigas en el bosque secundario. Algunos factores pudieron influir en esta riqueza, uno de ellos es el menor espesor del dosel (bosque abierto) que aumenta la temperatura, siendo una ventaja en organismos ectodermos como las hormigas (Rojas, 2001; Ricard y Messier, 1996).

Un aspecto importante en la distribución de formícidos es el clima, donde la temperatura, humedad y la precipitación son determinantes en la diversidad y distribución de las hormigas (Estrada y Fernández, 1999; Kaspari *et al.*, 2003; Kaspari y Weiser, 2000). La temperatura determina la presencia o ausencia de hormigas en un sitio, a menor temperatura menor será la riqueza de formícidos (Rojas, 2001; Castro *et al.*, 2008), esta es probablemente una de las razones de mayor riqueza en El Madrigal (16 °C) que en Arcoíris (12°C). Cuando la temperatura aumenta las hormigas son más activas y cambian su comportamiento (horas de forrajeo, reproducción, competencia, alimentación) (Longino *et al.*, 2014; Martins, 2011).

La humedad en forma de neblina obstaculiza la cantidad de radiación solar que ingresa al sotobosque, esto sumado a bajas temperaturas pueden limitar la presencia de hormigas (Castro, 2008; Delsinne y Arias, 2012). Esto explica hipotéticamente la menor riqueza en Arcoíris con humedad relativa de 86 %, en comparación a El Madrigal 74,6 %; otros estudios mencionan la relación entre la temperatura, humedad y riqueza de hormigas (Brühl *et al.*, 1999; Kaspari, 2003). El Madrigal (1066 mm) tiene menor precipitación anual que Arcoíris (2500 mm), factor que pudo influir en una mayor riqueza de hormigas (Levings, 1983; Estrada y Fernández, 1999), debido a que las gotas de agua son difíciles de manejar para las hormigas y borran las señales químicas dejadas por las obreras para alimentación, ubicación del nido y alerta de amenaza (Kaspari, 2003; Rojas, 2001). Esto disminuye las horas dedicadas para el forrajeo y las óptimas condiciones de anidación (Kaspari, 2003).

Otro aspecto que determina la riqueza de hormigas es la topografía, El Madrigal se encuentra en una depresión topográfica que produce temperaturas más altas, con menor exposición a vientos fuertes (CINFA *et al.*, 2006), a diferencia de Arcoíris cuyo muestreo se realizó en la ladera de una montaña con menor variación microclimática y exposición directa a vientos (Gálvez, 2003). Las fuertes pendientes y la cobertura vegetal constantemente húmeda son otros factores que pudieron influir en una menor diversidad para Arcoíris (Ricard y Messier, 1996).

La biodiversidad está influenciada por la gradiente altitudinal donde la riqueza de especies disminuye a medida que aumenta la gradiente altitudinal (Robertson, 2002), sin

embargo El Madrigal (2350 msnm) tiene mayor riqueza estimada y calculada que Arcoíris (2105 msnm). Este patrón fue reportado también en otros estudios en el rango altitudinal de 900 a 2500 msnm (Sanders *et al.*, 2003) y particularmente en las hormigas de la hojarasca (Guerrero y Sarmiento, 2010); pero difiere de otros estudios (Folgarait *et al.*, 2005; Brehm *et al.*, 2007). Esta discrepancia con otros estudios muestra que no siempre la altitud es un factor determinante en la riqueza de especies, deben considerarse factores como la latitud, la temperatura y vegetación (Ward, 2000; Del Toro, 2013), aunque en este estudio la diferencia en latitud es mínima, podría considerarse la latitud en otros estudios.

### **5.1.2. Abundancia de hormigas**

La abundancia real de las hormigas es difícil de calcular, porque las hormigas forrajean en intervalos de tiempo limitados y la mayoría permanece en el nido (Rojas, 2001), por esta razón la abundancia fue medida con datos de presencia-ausencia. Utilizando el índice de Shannon Wiener se obtuvo una diversidad media para El Madrigal y Arcoíris y una dominancia baja de especies al aplicar el índice Gini-Simpson. Las especies dominantes son muy agresivas y pueden producir una baja riqueza de hormigas, no siendo el caso de este estudio. Algunas de las especies con frecuencias más altas fueron *Pheidole sp. 3* y *Pheidole sp. 7* en El Madrigal e *Hypoponera trigona*, *Pheidole sp. 6* y *Pheidole sp. 7* en Arcoíris.

El género *Pheidole* es el más predominante en ambos sitios, mientras que *Hypoponera trigona* obtuvo la mayor frecuencia de captura (abundancia relativa) de todas las especies registradas, otros estudios corroboran estos resultados (Bustos y Ulloa, 1997; Castro *et al.*, 2008). La frecuencia elevada de *Pheidole* para ambos sitios muestra que se adapta fácilmente a cualquier estrato de forrajeo, característica de especies que pueden convertirse en dominantes (Guerrero y Sarmiento, 2010). Las especies compartidas *Pheidole 7*, *Linepithema piliferum*, *Neoponera carbonaria* y *Strumigenys lojanensis* sugieren su mayor tolerancia a rangos climáticos y geográficos (Castro *et al.*, 2008), resultados similares aseguran que las especies compartidas suelen ser dominantes (Guerrero y Sarmiento, 2010).

A la altura de 2350 msnm las abundancias relativas fueron menores que a 2105 msnm aunque no de forma muy marcada. Según Fisher (1999) en hormigas de la hojarasca las frecuencias disminuyen a mayor altitud y dependen de las condiciones ambientales como se había mencionado (Olson, 1994; Frith y Frith, 1990). Analizando las frecuencias obtenidas por unidades de muestra se obtuvo un promedio de una a dos especies de hormigas por metro cuadrado, considerando la cercanía a la altitud límite de las hormigas en el trópico (2300 a 2600 msnm) la diversidad recolectada en ambos sitios es importante (Brown, 1973). Otro estudio predice 150 especies de hormigas en 10 m<sup>2</sup> de hojarasca al nivel del mar y solamente una especie a los 2900 m (Bruhl *et al.*, 1999).

Es evidente que existen más especies por descubrir en ambos sitios al observar que el 63,1 % de la riqueza total corresponde a las especies raras, que corresponde a 7 especies en El Madrigal y 5 especies en Arcoíris, siendo nuevamente El Madrigal el más diverso. La rareza de especies en un sitio cuenta como medida de selección de áreas protegidas, siendo los bosques más ricos y diversos los que tienen mayor cantidad de especies raras (Kershaw *et al.*, 1995). Por otra parte el 79 % de especies son únicas, siendo 15 de 19 especies exclusivas para cada sitio, esto muestra la diferencia entre las comunidades de hormigas a una distancia corta.

## 5.2. DIVERSIDAD BETA

### 5.2.1. Similitud entre Arcoíris y El Madrigal

La riqueza calculada de hormigas entre los sitios fue semejante, sin embargo el tipo de especies de los sectores El Madrigal y Arcoíris fueron diferente como lo muestra el Cuadro 10.

**Cuadro 10. Niveles de clasificación del coeficiente de similitud de Sørensen**

Clasificación	Rangos
Muy similares	0,7-1
Medianamente similar	0,4-0,6
Disímiles	0,3-0

Al comparar el tipo de especies presentes en cada lugar mediante el coeficiente de similitud de Sørensen, se obtuvo un valor de 0,3 que significa que Arcoíris y El Madrigal son disímiles (Cuadro 10). Ambos sitios pertenecen al bosque nublado, sin embargo la sensibilidad de las hormigas a las condiciones climáticas y de conservación principalmente, determinan el tipo de hormigas presentes para cada sitio (Longino y Colwell, 2011). Se corroboró la diferencia entre los sitios al calcular el grado de complementariedad, cuyo valor fue cercano a 1 que significa que los sitios son muy distintos (Colwell y Coddington, 1994), existe una disimilitud del 75 % entre los sitios.

### 5.3. GRUPOS FUNCIONALES

Los grupos funcionales presentados muestran el grado de interacción ecológica existente, lo que influye en la estructura de la comunidad (Brandão, 2008). En Arcoíris se determinaron 7 grupos funcionales, de los cuales omnívoras crípticas y cazadoras epigeicas generalistas presentaron 4 y 2 especies respectivamente, siendo las más numerosas. Las omnívoras crípticas se caracterizan por ser generalistas, (Wild, 2007) registró la especie *Linepithema piliferum* en tres excavaciones de nido en Ecuador en el año 2002 bajo piedras, tamizado de hojarasca y a lo largo de los caminos del bosque nublado, puede encontrarse esta especie en rangos de 780 a 2340 msnm. Las cazadoras epigeicas generalistas fueron el segundo grupo funcional más diverso de Arcoíris, pero ausente a 2350 m; el descenso de este grupo con el aumento de altura también se evidenció en otro estudio (Lattke y Rodríguez, 2012).

En El Madrigal los grupos funcionales con mayor número de especies fueron las cazadoras nomádicas (*Cheliomyrmex andicola*, *Labidus coecus*, *Neivamyrmex macrodentata* y *Neivamyrmex sp.1*), seguidas por omnívoras crípticas, cazadoras crípticas y cazadoras de collembola con 2 especies en cada caso. Las cazadoras nomádicas son todas las especies de la subfamilia Dorylinae de El Madrigal y ciertas especies de Ponerinae como es el caso de *Simopelta manni* de Arcoíris (Rojas, 2001). Este grupo se caracteriza por tener un amplio rango de forrajeo al igual que el grupo *Solenopsis*, son depredadoras generalistas conocidas como marabuntas, carnívoras o legionarias, extremadamente agresivas e invasoras de nidos de colémbolos (Hölldobler y Wilson, 1990; Jaffé, 2004).



Las cazadoras crípticas como *Discothyrea horni* tienen afinidad por los bosques secos (Lattke y Rodríguez, 2012), sin embargo está presente en otro tipo de ecosistemas como es el caso de El Madrigal que tiene bosque nublado. Las cazadoras de colémbolos se encuentran presentes a 2105 y 2350 msnm, debido probablemente a la humedad que es el factor determinante para los colémbolos (Arbea y Blasco, 2001; Borror *et al.*, 1992). (Castro *et al.*, 2008) identificaron este grupo a diferentes gradientes altitudinales y verificaron la mayor presencia de este grupo en estratos más altos. Las cazadoras de colémbolos necesitan condiciones ambientales muy específicas y tienen una amplia distribución en las zonas boscosas de los trópicos (Bolton, 2000), sirven como bioindicadores generales y de riqueza de colémbolos (Rusek, 2009). Las hormigas de este grupo funcional son nuevas para la ciencia, siendo necesario estudiar su comportamiento.

Uno de los grupos funcionales con menor frecuencia de hormigas fue cultivadoras de hongos (*Acromyrmex coronatus*) registrada en el bosque primario a 2105 msnm. Lattke y Rodríguez (2012) registraron esta especie en un sitio alterado y con menor humedad, resultados que difieren con este estudio. Las micófagas son consideradas como consumidores primarios y por la gran cantidad de biomasa que consumen se los comparan con grandes herbívoros (Holldobler y Wilson, 1990).

El cambio climático en los bosques de neblina particularmente afectaría a la población de hormigas, debido a las condiciones climáticas muy estrictas de estos ecosistemas, como consecuencia las hormigas se desplazarían a alturas con ambientes favorables, según sus posibilidades (Longino y Colwell, 2011). Respecto a *Strumigenys* y su principal presa los colémbolos, el desplazamiento a mayores alturas en ciertos casos, pueden no brindar las condiciones ambientales de humedad exigentes para su supervivencia; mientras que por otro lado los cambios ambientales para el grupo de las *Attini* o cazadoras epigeas pueden provocar su expansión (Lattke y Rodríguez, 2012).

## 6. CONCLUSIONES

- La riqueza de hormigas en las Reservas Arcoíris y El Madrigal (19 especies) es característico de bosques nublados y del neotrópico, siendo las subfamilias Myrmicinae y Ponerinae las más numerosas con 7 y 4 especies; mientras que los géneros con mayor número de especies fueron *Pheidole*, *Neivamyrmex* y *Strumigenys* con 3, 2 y 2 especies de hormigas respectivamente.
- La riqueza de hormigas en los sectores El Madrigal y Arcoíris fue semejante, sin embargo según los estimadores de diversidad ICE, Chao 2 y Jackknife 2 se espera encontrar mayor riqueza en El Madrigal habiéndose registrado el 63,1 % de las especies, mientras que en Arcoíris se colectó el 91,6 % de las especies estimadas para el sitio.
- Se registraron nuevas especies para la ciencia (*Strumigenys lojanensis*, *Strumigenys madrigalae* y *Protalaridris n. sp*), dos nuevos reportes de hormigas para el Ecuador (*Myrmelachista zeledoni*) y Sudamérica (*Neivamyrmex macrodentata*) y una hormiga registrada por primera vez desde los años 30 (*Simopelta manni*), siendo sitios importantes para investigación y conservación.
- La influencia de factores ambientales como el clima (principalmente la temperatura, humedad y precipitación), topografía y estado de conservación ejercen importante influencia en los patrones de diversidad de las hormigas, mientras que la altitud no siempre es un factor determinante de la riqueza de formícidos.
- La Reserva Arcoíris y El Madrigal tienen una diversidad de hormigas media según el índice de Shannon-Wiener con valores de 2,14 y 1,80 respectivamente, mientras que el índice de Gini-Simpson evidencia una dominancia de especies baja con valores de 6,94 y 6,35 respectivamente para cada sitio.
- La abundancia en base a las frecuencias de especies en los sectores Arcoíris y El Madrigal mostraron un predominio del género *Pheidole* e *Hypoconerina trigona*, lo que sugiere posiblemente un dominio sobre otras especies.

- El índice de similitud de Sørensen aplicado entre los sectores El Madrigal y Arcoíris dio como resultado un 34% de semejanza en diversidad, siendo el 63,1 % especies raras, el 79 % especies únicas y solamente 4 especies compartidas.
- Los grupos funcionales con mayor cantidad de ejemplares en los sectores de El Madrigal y Arcoíris fueron las cazadoras nomádicas, con 5 especies que corresponden al 26,3 % del total de especies, seguido por el gremio Omnívoras crípticas y Cazadoras crípticas, con 4 y 3 especies que representan el 21 y 15,7 % respectivamente..
- El método Protocolo ALL permitió obtener información confiable y capturar una riqueza de especies muy próxima a las esperadas para los sectores de El Madrigal y Arcoíris, así como el éxito en la captura de especies raras y únicas en cada caso.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar nuevas investigaciones en el sitio que permitan determinar con mayor exactitud la diversidad de los sitios y el potencial descubrimiento de nuevas especies.
- En próximos estudios relacionar la riqueza de especies con parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa, vegetación y conservación permitirá evaluar su influencia en los patrones de diversidad de hormigas.
- Realizar nuevos estudios de patrones de diversidad de hormigas en estos sitios para determinar los cambios en la distribución, comportamiento o establecimiento de grupos funcionales, que faciliten obtener información a largo plazo del cambio climático.
- Se considera que el lavado de suelo es una metodología que facilita conocer de forma detallada la diversidad de hormigas, por lo que es conveniente integrar este método en los resultados de otros estudios.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Agosti D. y L. Alonso. 2003. El Protocolo ALL: un estándar para la colección de hormigas del suelo. Pp. 415-118. En: Fernández F (Eds) Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. Bogotá, Colombia.

Agosti D., J. Majer., L. Alonso., T. Schultz., J. Delabie., B. Fisher., I. Wright. 2000. El esfuerzo de muestreo y la elección de los métodos. En: Agosti D., J. Majer., L. Alonso., T. Schultz (Eds) Hormigas: Métodos estándar para medir y Monitoreo de la Biodiversidad. Bogotá, Colombia.

Akindele O. y J. Onyekwelu. 2011. Review: Silviculture in Secondary Forest. Pp. 351-367. En: Günter S., M. Weber., B. Stimm y R. Mosandl (Eds) Silviculture in the tropics. Muenchen, Springer.

Alfonso J. y Y. Matienzo. 2012. Las Hormigas: ¿Plaga o enemigos naturales de plagas?. LEISA revista de agroecología 28(1): 20-22.

Anderson A. 1997. Using ants as bioindicators: Multiscale issues in ant community ecology. Conservation Ecology 1(8):425.

Arbea I. y J. Blasco. 2001. Ecología de los Colémbolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España). Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa 28(2001): 35-48.

Arcila A. y F. Lozano. 2003. Hormigas como herramientas para la bioindicación y el monitoreo. Pp. 415-418. En: Fernández F (Eds) Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Bogotá, Colombia.

Arriaza M. 2006. Guía práctica de análisis de datos. Córdoba, Argentina. 198 p.

Disponible en:

[http://www.um.es/jmpaz/AGP1213/guia\\_practica\\_de\\_analisis\\_de\\_datos.pdf](http://www.um.es/jmpaz/AGP1213/guia_practica_de_analisis_de_datos.pdf) (Consultado enero 5, 2015)

Bolton B. 2000. The ant tribe Dacetini. With a revision of the *Strumigenys* species of the Malgasy Region. *Memoirs of the American Entomological Institute* 65(118):1-1028.

Bolton B. 2014. An Online Catalog of the Ants of the World. *AntCat* 5(6):14pp (en línea) URL: <http://www.antcat.org>.

Borror D., C. Triplehorn y N. Johnson. 1992. *Study of Insects*. Saunders College Publishing. Pensilvania, EEUU. 875 p.

Brandão R. 2008. Prólogo. Pp. IX-X. En: Jiménez E., F. Fernández., T. Arias y F. Lozano (Eds) *Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia*. Bogotá, Colombia.

Branstetter M. y L. Sáenz. 2012. *Biodiversidad de Guatemala: Las Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Guatemala*. Editorial: Cano B y C. Schuster. Publicado por Universidad del Valle de Guatemala. 50p.

Brehm G., R. Colwell y J. Kluge. 2007. The role of environment and mid-domain effect on moth species richness along a tropical elevational gradient. *Global Ecology and Biogeography* 16(2):205-219.

Brown K. 1991. The conservation of Neotropical environments. Insects as indicators. Pp. 349-404. En: Collins N y J. Thomas (Eds) *The conservation of insects and their habitats*. Royal Entomological Society Symposium XV of London. England.

Brown R. 1973. A comparison of the Hylean and Congo-West African rain forest ant faunas. Pp. 161-185. En: B. Meggers., E. Ayensu y W. Duckworth (Eds) *Tropical forest Ecosystems in Africa and South America: A comparative review*. Smithsonian Institution Press. Washington, EEUU.

Brühl C., M. Mohamed y K. Linsenmair. 1999. Altitudinal distribution of leaf litter ants along a transect in primary forests on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology* 15(3):265-277.

Bruijnzeel L. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture Ecosystems and Environment*. 104 p.

Brussard L., V. Behan., D. Bignell., V. Brown., W. Didden., P. Folgarait., C. Fragoso., D. Freckman., V. Gupta., S. Hattori., D. Hawksworth., C. Klopatek., P. Lavelle., D. Malloch., J. Rusek., B. Söderström., J. Tiedje y R. Virginia. 1997. Biodiversity and Ecosystem functioning in Soil. *Ambio* 26:563-570.

Bussmann R. 2003. Los bosques montanos de la Reserva Biológica San Francisco (Zamora-Chinchipec, Ecuador) zonación de la vegetación y regeneración natural. *Lyonia* 3(1):57-72.

Bussmann R. 2005. Bosques andinos del Sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología* 12(2):203-216.

Bussmann R. 2006. Manteniendo el balance de naturaleza y hombre: La diversidad florística andina y su importancia para la diversidad cultural-ejemplos del Norte de Perú y Sur de Ecuador. *Arnaldoa* 13(2):382-397.

Bustos J. y P. Ulloa. 1997. Mirmecofauna y perturbación en un bosque de niebla Neotropical-Colombia. *Revista de Biología Tropical* 45(1):259-266.

Cáceres L. y A. Núnes. 2011. “El Cambio Climático en el Ecuador”, Ministerio del Ambiente, Proyecto GEF/PNUD/MAE Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Quito-Ecuador. 293 p.

Castillo M., D. Cueva., N. Aguirre y S. Gunter. 2007. Propagación vegetativa de especies de la familia Podocarpaceae. *Bosques de Latitud Cero* 1(3):3-5.

Castro S., C. Vergara y C. Arellano. 2008. Distribución de la riqueza, composición taxonómica y grupos funcionales de hormigas del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal en el refugio de vida silvestre Laquipampa Lambayeque-Perú. *Ecología Aplicada* 7(1-2):89-103.

Centro Integrado de Geomática Ambiental (CINFA). 2006. Herbario Reinaldo Espinosa y Carrera de Ingeniería Forestal. 2006. Estado de Conservación de Áreas Protegidas y Bosques Protectores de Loja y Zamora Chinchipe y Perspectivas de Intervención. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 586 p.

Chao A. 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11(4):265-270.

Chazdon R., C. Peres., D. Dent., D. Sheil., A. Lugo., D. Lamb., N. Storck y S. Miller. 2009. The potential for species conservation in tropical secondary forest. *Conservation Biology* 23(6):1406-1417.

Chokkalingam U., W. de Jong., J. Smith y C. Sabogal. 2001. Secondary forest in Asia: Their diversity, importance, and role in future environmental management. *Journal of Tropical Forest Science* 13(4):5-20.

Colwell R. y J. Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 345(1311):101-118.

Colwell R. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.0. User's Guide and application. Disponible en: [purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates)

Colwell R. 2012. Biota: El gestor de bases de la biodiversidad. Versión 2.04. Storrs, Universidad de Connecticut (Publicado originalmente por Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts). Guía del usuario y la aplicación. Disponible en línea en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/Biota>

Colwell R. y T. Rangel. 2010. A stochastic, evolutionary model for range shifts and richness on tropical elevational gradients under Quaternary glacial cycles. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 365(1558):3695-3707.

Craig J. y B. Hoffmann. 2011. The use of ants to manage sustainable pastoralism: Dynamics of ant faunas along gradients of grazing sheep fit four global patterns. *Ecological Society of Australia* 36(6):698-708.



Cuesta F. y M. Becerra. 2012. Biodiversidad y Cambio climático en los Andes: Importancia del monitoreo y el trabajo regional. *Revista Virtual REDESMA* 6(1):876-976.

Cushman R. y T. Addicott. 1991. Conditional interactions in ant-plant-herbivore mutualisms. Pp. 92-103. En: Huxley C y D. Cutler (Eds) *Ant-plant interactions*. Oxford University Press. Oxford.

Dangles O., A. Barragán., R. Cárdenas., G. Onore y K. Keil. 2009. Entomology in Ecuador: Recent developments and future challenges. *Annales de la Société entomologique de France. International Journal of Entomology* 45(4):424-436.

Del Toro I. 2013. Diversity of eastern North American ant communities along environmental gradients. *Plos one* 8(7):1-8.

Delabie J., M. Ospina y G. Zabala. 2003. Relaciones entre hormigas y plantas: una introducción a las hormigas de la región Neotropical. Pp. 167-180. En: Fernández F (Eds) *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Bogotá, Colombia.

Delsinne T. y T. Arias. 2012. Influencia de la humedad hojarasca en la eficiencia del método de Winkler para la extracción de hormigas. *Entomological Society of America* 12(1):1-7.

Delsinne T., G. Sone., Z. Nagy., N. Wauters., J. Jacquemin y M. Leponce. 2012b. High species turnover of the ant genus *Solenopsis* (Hymenoptera; Formicidae) along an altitudinal gradient in the Ecuadorian Andes, indicated by a combined DNA sequencing and morphological approach. *Invertebrate Systematics* 26(6): 457-469.

Delsinne T., T. Arias., J. Jacquemin., Y. Laurent., I. Bachy y M. Leponce. 2012a. Subfamilias y géneros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. URL: <http://hdl.handle.net/2013/ULB-DIPOT:oai:dipot.ulb.ac.be:2013/138274>

- Deutsch C., J. Tewksbury., R. Huey., K. Sheldon., C. Ghalambor., D. Haak y P. Martin. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitudes. *Proceedings of the National Academy of the Sciences* 105:68-72.
- Diamond S., L. Nichols., N. Mccy., C. Hirsch., S. Pelini., N. Sanders., *et al.* 2012. A physiological trait-based approach to predicting the responses of species to experimental climate warming. *Reports* 93(11):2305-2312.
- Dorn R. 2014. Ants as a powerful biotic agent of olivine and plagioclase dissolution. *The Geological Society of America: Geology* 42 (9):771-774.
- Emery C. 1875. Ueber hypogeische Ameisen. *Stettiner Entomologische Zeitung* 37(1): 71-76.
- Escobar S., I. Armbrrecht y Z. Calle. 2007. Transporte de semillas por hormigas en bosques y agroecosistemas ganaderos de los Andes Colombianos. *Agroecología* 2(2007):65-74.
- Espinosa M., J. Meave., N. Ramírez., T. Toledo., F. Lorea y G. Ibarra. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Revista Ecosistemas* 21(1-2):36-52.
- Estrada C. y F. Fernández. 1999. Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en un gradiente sucesional del bosque nublado (Nariño, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 4(2):189-201.
- Feeley K. y M. Silman. 2010. Biotic attrition from tropical forests correcting for truncated temperature niches. *Global Change Biology* 16(6):1830-1836.
- Fernández F. 2003. Breve introducción a la biología social de las hormigas. Pp. 89-95. En: Fernández F (Eds) *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Bogotá, Colombia.
- Fernández M. y W. Wcislo. 2010. Hormigas cultivadoras de hongos. *Investigación y Ciencia* 10(409):12-14.

Fisher B. 1996. Ant diversity patterns along an elevational gradient in the Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra, Madagascar. *Fieldiana Zoology* 85(2):93-108.

Fisher B. 1999. Ant diversity patterns along an elevational gradient in the Réserve Naturelle Intégrale d'Andohahela, Madagascar. *Fieldiana Zoology* 94(2): 129-147.

Fisher B. 2002. Ant diversity patterns along an elevational gradient in the Réserve Spéciale de Manongarivo, Madagascar. Pp. 311-327. En: Gaultier L. y S. Goodman (Eds) *Inventaire Floristique et Faunistique de la Réserve Spéciale de Manongarivo*. Ambanja, Madagascar.

Folgarait P. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7(9):1221-1244.

Folgarait P., O. Bruzzone., S. Porter., M. Pesquero y L. Gilbert. 2005. Biogeography and macroecology of phorid flies that attack fire ants in south-eastern Brazil and Argentina. *Journal of Biogeography* 32(2):353-367.

Frith D. y C. Frith. 1990. Seasonality of litter invertebrate populations in an Australian upland tropical rainforest. *Biotropica* 22(2):181-190.

Fuster A. 2008. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae), indicadoras de perturbación en un ecosistema forestal, en el Chaco Semiárido Argentino. *Biotrópica* 9(5):1-8.

Gálvez J., O. Ordoñez y R. Bussmann. 2003. Estructura del bosque montano perturbado y no-perturbado en el Sur de Ecuador Structure of disturbed and un disturbed mountain forests in Southern. *Lyonia* 3(1):83-98.

Gentry A. 1995. Patterns of Diversity and Floristic Composition in Neotropical Montane Forest: Biodiversity and conservation of Neotropical Montane forest. Edited by Missouri Botanical Garden. New York. 126 p.

Gliessman S. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Diversidad y estabilidad del agroecosistema. Editorial LITOCAT Turrialba. Costa rica. 359 p.

- Gotelli N., A. Elloson., R. Dunn y N. Sanders. 2011. Counting ants (Hymenoptera: Formicidae): biodiversity sampling and statistical analysis for myrmecologists. *Myrmecological News* 15:13-19.
- Gotelli y Colwell, 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4(4):379-391.
- Guénard B. 2013. An Overview of the Species and Ecological Diversity of Ants. Biodiversity and Biocomplexity Unit, Okinawa. Institute of Science and Technology, Onna-son. Okinawa- Japan 9(5):567-590.
- Guerrero R. y C. Sarmiento. 2010. Distribución altitudinal de hormigas (Hymenóptera, Formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Acta Zoológica Mexicana* 26(2):279-302.
- Gutiérrez P. 2014. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del bosque tropical lluvioso de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Costa Rica. *Entomotrópica* 29(2):69-76.
- Herbario Loja. 1999. Composición Florística, Endemismo y Etnobotánica de la Vegetación del Sector Oriental, Parte Baja del Parque Nacional Podocarpus. Universidad Nacional de Loja. Convenio GEF/INEFAN/UNL. Loja, Ecuador. 71 p.
- Hölldobler B. y E. Wilson, 1990. The ants. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge. Massachusetts, EEUU. 896 pp.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. 2000-2010. Anuarios Meteorológicos. Quito, Ecuador.
- Jaffé K. 2004. El mundo de las hormigas. Universidad Simón Bolívar. Equinoccio. Caracas, Venezuela. 183 p.
- Jiménez A y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 2(8):151-161.

Kaspari M. 2003. Introducción a la ecología de las hormigas. Pp. 97-112. En: Fernández F (Eds) Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Bogotá, Colombia.

Kaspari M. y M. Weiser. 2000. Ant activity along moisture gradients in a Neotropical forest. *Biotropica* 32(4):703-711.

Kershaw M., G. Mace y H. Willlams. 1995. Threatened status, rarity, and diversity as alternative selection measures for protected areas: a test using Afrotropical antelopes. *Conservation Biology* 9(2):324-334.

Kiss K. y A. Brauning. 2008. El bosque húmedo de montaña: Investigaciones sobre la diversidad de un ecosistema de montaña en el Sur del Ecuador. Proyecto de la Fundación Alemana para la Investigación Científica. Naturaleza y Cultura Internacional. Loja, Ecuador. 64 p.

Larsen T., F. Escobar y I. Armbrecht. 2012. Insectos de los Andes Tropicales: Patrones de diversidad, procesos y cambio global. Pp. 265- 279. En: Herzog S., R. Martínez., P. Jørgensen., H. Tiessen (Eds) Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales. París.

Lattke J. y E. Rodríguez. 2012. Diversidad de hormigas en un gradiente altitudinal de la Cordillera de La Costa, Venezuela (Hymenóptera:Formicinae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 50(2012):295-304.

Lattke J. y M. Riera. 2012. Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la hojarasca y suelo de selvas nubladas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Métodos en Ecología y sistemática* 7(1):20-34.

Leitner W. y W. Turner. 2001. Measurement and analysis of biodiversity. Pp. 123-144. En: Levin S (Ed) *Encyclopedia of biodiversity*. Nueva Jersey, EEUU.

Levings S. 1983. Seasonal, annual, and among-site variation in the ground ant community of a deciduous tropical forest: Some causes of patchy species distributions. *Ecological Monographs* 53(4):435-455.

Longino J. y R. Colwell. 2011. Density compensation, species composition, and richness of ants on a neotropical elevational gradient. *Ecosphere* 2(3):1-20.

Longino J., M. Branstetter y R. Colwell. 2014. How ants drop out: Ant abundance on tropic mountains. *Plos one* 9(8): e104030. (en línea) URL:  
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0104030>  
(Consultado noviembre 5, 2014)

López F., N. Calispa., J. Carrión y A. Jiménez. 1999. Guía de las aves del bosque nublado de San Francisco Parque Nacional Podocarpus. Biblioteca Nacional del Ecuador "Eugenio Espejo" 555:57 pp. (en línea) URL:  
<http://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-ISBDdetail.pl?biblionumber=50893> (Consultado noviembre 8, 2014).

Lozano F., P. Ulloa y I. Armbrrecht. 2009. Hormigas: Relaciones Especies-Área en Fragmentos de Bosque Seco Tropical. *Ecology, Behavior and Bionomics* 38(1):44-54.

Magurran A. 1998. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. 179 p.

Magurran A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Editorial ilustrada, reimpressa. Oxford, EEUU. 256 p.

Majer J. 1976. The influence of ants and manipulation on the cocoa farm fauna. *Journal of Applied Ecology* 13(1):157-175.

Majer J., G. Orabi y L. Besivac. 2007. Ants pass the bioindicator scorecard. *Myrmecological News* 10:69-76.

Martella B., E. Trumper., L. Bellis., D. Renison., P. Giordano., G. Bazzano y R. Gleiser. 2012. Manual de Ecología Evaluación de la biodiversidad. *Reduca- Ecología* 5(1):71-115.

Martínez M. 2008. Grupos funcionales, en *Capital Natural de México: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México. 365-412p.

Martins A. 2011. El cambio climático podría afectar seriamente a las hormigas. BBC en prensa. Disponible en:

[http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/11/111102\\_hormigas\\_cambio\\_climatico\\_am.shtml#page-top](http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/11/111102_hormigas_cambio_climatico_am.shtml#page-top)

Mckey T. y G. Meunier. 1996. Évolution des mutualismes plantes-forumis-quelques éléments de réflexion. Actes des Colloques Insectes Sociaux 10:1-9.

Moreno C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Editorial M&T Manuales y Tesis SEA. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 84 p.

Narendra A., G. Heloise y T. Musthak. 2010. Structure of ant assemblages in Western Ghats, India: role of habitat, disturbance and introduced species. The Royal Entomological Society 4(2):132-141.

Olson D. 1991. A Comparison of the efficacy of litter sifting and pitfall traps for sampling leaf litter ants (Hymenoptera: Formicidae) in a Tropical Wet Forest, Costa Rica. Biotropica 23(2):166-172.

Olson D. 1994. The distribution of leaf litter invertebrates along a Neotropical altitudinal gradient. Journal of Tropical Ecology 10(2):129-150.

Paredes J., M. Arias., W. Flowers., M. Medina., P. Herrera y E. Peralta. 2011. Medición de la Biodiversidad Alfa de Insectos en el Bosque “Cruz del Hueso” de Bucay, Guayas-Ecuador. Revista Lyonia 5(6):234-267.

Patrick M., D. Fowler., R. Dunn y N. Sanders. 2012. Effects of Treefall Gap Disturbances on Ant Assemblages in a Tropical Montane Cloud Forest. Biotropica 44(4):472-478.

Perfecto I. 1991. Ants (Hymenoptera, Formicidae) as natural control agents of pests in irrigated maize in Nicaragua. Entomological society of America 84(1): 65-70.

Perfecto I. y J. Vandermeer. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. Oecologia 108(3):577-582.

Restrepo H., S. Orrego y O. Galeano. 2012. Estructura de bosques secundarios y rastros montano bajos del norte de Antioquia, Colombia. *Colombia Forestal* 15(2):173-189.

Ribas C., R. Campos., F. Schmidt y R. Solar. 2012. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche* 2012:1-23. (en línea) URL:  
<http://www.hindawi.com/journals/psyche/2012/636749>

Ricard J., C. Messier. 1996. Abundance, growth and allometry of red raspberry (*Rubus idaeus L.*) along a natural light gradient in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 81(1-3):153-160.

Robertson H. 2002. Comparison of leaf litter ant communities in woodlands, lowland forest and montane forest of North-Eastern Tanzania. *Biodiversity and Conservation* 11(9):1637-1652.

Rojas P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* 1(1):189-238.

Roth D., I. Perfecto y B. Rathcke. 1994. The effects of management systems on ground-foraging ant diversity in Costa Rica. *Ecological Applications* 4(3):423-436.

Ruiz J. 2010. Hormigas zompopas (*Atta cephalotes*) influyen positivamente en la biodiversidad vegetal de bosques húmedos tropicales. *Encuentro* 42(86):29-41.

Rusek J. 2009. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 7(9):1207-1219.

Sanders N., J. Moss y D. Wagner. 2003. Patterns of ant species richness along elevational gradients in an arid ecosystem. *Global Ecology and Biogeography* 12(2):93-102.



Sarmiento C. 2003. Metodologías de captura y estudio de las hormigas. Pp. 201-210. En: Fernández F (Eds) Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. Bogotá, Colombia.

Schrumpf M., G. Guggenberger., C. Valarezo y W. Zech. 2001. Tropical rain forest soils. Die ERDE 132:59 pp. (en línea) URL: <http://www.die-erde.de/html/schrumpf.html0988097626> (Consultado noviembre 5, 2014).

Silvestre R., C. Brandão y R. Rosa da Silva. 2003. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. Pp. 113-148. En: Fernández F (Eds) Introducción a las Hormigas de la región Neotropical. Bogotá, Colombia.

Southerland M. 1988. The effects of temperature and food on the growth of laboratory colonies of *Aphaenogaster rudis* Emery (Hymenoptera: Formicidae). *Insectes Sociaux* 35(3):304-309.

Stuble K., S. Pelini., S. Diamond., D. Fowler., R. Dunn<sup>3</sup> y N. Sanders. 2013. Foraging by forest ants under experimental climatic warming: a test at two sites. *Ecology and Evolution* 3(3):482-491.

Tiessen H. 2011. Introducción. Pp. xi-xiv. En: Herzog S., R. Martínez., P. Jørgensen., H. Tiessen (Eds) Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales. París.

Tobón C. 2009. Los Bosques Andinos y el agua. Programa Regional para la Gestión Social de Ecosistemas Forestales Andinos ECOBONA. Quito-Ecuador. 64 p.

Tobón C., G. Gil y C. Villegas. 2008. Aportes de la niebla al balance hídrico de los bosques alto andinos. La Carreta, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 261 p.

Uday M. y R. Bussmann. 2004. Floristic distribution of the montane cloud forest at the Tapichalaca reserve, Cantón Palanda, Zamora province. *Lyonia* 7(1):91-98.

Ward P. 2000. Broad-scale patterns in leaf litter ant communities. Pp. 99-121. En Agosti D., J. Majer., L. Alonso., T. Schultz (Eds) *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Washington, EEUU.

Wild, A. 2007. Taxonomic Revision of the Ant Genus *Linepithema* (Hymenoptera: Formicidae). *Entomology*. London, EEUU. 158 p.

Young B., K. Young y C. Josse. 2012. Vulnerabilidad de los ecosistemas de los andes tropicales al cambio climático. Pp. 195- 205. En: Herzog S., R. Martínez., P. Jørgensen., H. Tiessen (Eds) *Cambio climático y biodiversidad en los Andes Tropicales*. París.

## 9. ANEXOS

### Anexos 1. Listas de las especies de hormigas capturadas

**Cuadro 11. Especies de hormigas obtenidas de acuerdo al método de captura en el sector Arcoíris**

<b>Genero</b>	<b>Especie</b>	<b>Hojarasca</b>	<b>Caída</b>	<b>Suelo</b>	<b>Manual</b>
Acromyrmex	coronatus	X			X
Camponotus	sp. 2				X
Hypoponera	trigona	X		X	X
Hypoponera	sp. 2				X
Linepithema	piliferum	X			X
Megalomyrmex	glaesarius				X
Myrmelachista	zeledoni	X			X
Myrmelachista	sp. 2			X	X
Megalomyrmex	glaesarius				X
Neoponera	aenescens	X	X		X
Nylanderia	sp. 1				X
Nylanderia	sp. 2				X
Nylanderia	sp. 3				X
Nylanderia	sp. 4				X
Nylanderia	sp. 5				X
Pheidole	sp. 2				X
Pheidole	sp. 5				X
Pheidole	sp. 6	X			X
Pheidole	sp. 7	X			X
Procryptocerus	sp. 1				X
Rasopone	becculata	X			
Simopelta	manni	X			
Strumigenys	lojanensis	X			X
Nesomyrmex	sp. 1				X
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>21</b>

**Cuadro 12. Especies de hormigas obtenidas de acuerdo al método de captura en el sector El Madrigal**

<b>Genero</b>	<b>Especie</b>	<b>Hojarasca</b>	<b>Caída</b>	<b>Suelo</b>	<b>Manual</b>
Acropyga	fuhrmanni			X	
Camponotus	propinquus				X
Camponotus	sp. 3				X
Cheliomyrmex	andicola	X			
Discothyrea	horni	X			
Labidus	coecus	X	X		X
Linepithema	piliferum	X	X		X
Megalomyrmex	glaesarius				X
Neivamyrmex	macrodentata	X			
Neivamyrmex	sp. 1	X			
Neoponera	aenescens		X		
Nylanderia	sp. 1			X	X
Nylanderia	sp. 5				X
Pheidole	sp. 1			X	X
Pheidole	sp. 3	X	X		
Pheidole	sp. 4				X
Pheidole	sp. 7	X	X		
Protalaridris	n. sp.	X			
Strumigenys	lojanensis	X			
Strumigenys	madrigalae	X			
Typhlomyrmex	major			x	
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9</b>

**Cuadro 13. Especies de los sectores El Madrigal y Arcoíris únicas y compartidas. A: Arcoíris, M: El Madrigal, H: métodos de tamizado de hojarasca y trampas de caída**

Sitios	Género	Especie	H 1	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 11	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	H 18	H 19	H 20	Frecuencias
Arcoíris	Rasopone	becculata											1	1									2
	Simopelta	manni			1		1																2
	Nylanderia	sp. 3						1															1
	Pheidole	sp. 6	1		1	1		1		1			1									1	7
	Myrmelachista	zeledoni				1						1											2
	Acromyrmex	coronatus															1	1					2
	Hypoponera	trigona			1		1	1	1							1	1	1					7
El Madrigal	Cheliomyrmex	andicola									1												1
	Discothyrea	horni				1																	1
	Labidus	coecus				1						1											2
	Neivamyrmex	macrodentata	1																				1
	Neivamyrmex	sp. 1															1						1
	Pheidole	sp. 3				1									1				1	1			4
	Protalaridris	n. sp.	1																				1
	Strumigenys	madrigalae														1	1						2
Compartidas	Linepithema	piliferum											1				1	1					1A;2M.
	Strumigenys	lojanensis			1											1	1						1A;2M.
	Neoponera	aenescens					1						1						1	1			2A;2M.
	Pheidole	sp. 7						1		1			1			1		1		1	1		6A;7M.

## Anexos 2. Fotografías

- Sitios de estudio



**Figuras 10. Identificación del sitio de estudio en a) Arcoíris y b) El Madrigal**

- **Fase de campo**



**Figuras 11. Método de tamizado de hojarasca en campo**

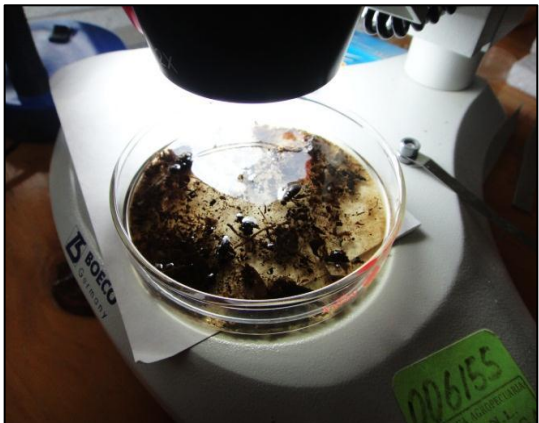
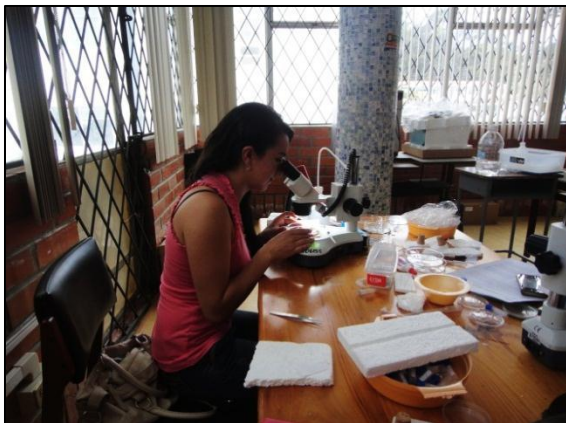


**Figuras 12. Método de recolección manual de hormigas y lavado de suelo**



**Figuras 13. Método de trampas de caída para hormigas**

**• Fase de laboratorio**



**Figura 14. Separación de hormigas del material capturado en trampas de caída y tamizado de hojarasca**





Figura 15. Caja entomológica de hormigas de Arcoíris y El Madrigal, con sus etiquetas pertinentes



Figura 16. *Strumigenys madrigalae* vista lateral y frontal (especie nueva)

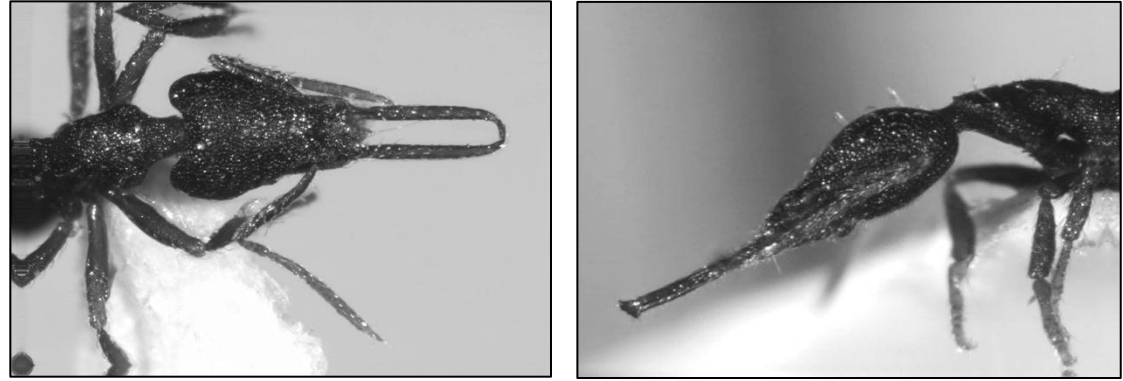


Figura 17. *Strumigenys lojanensis* vista superior y lateral (especie nueva)



**Figura 18.** *Rasopone becculata* vista frontal y lateral. Fuente: antweb.com



**Figura 19.** *Neoponera carbonaria* vista frontal y lateral. Fuente: antweb.com



**Figura 20.** *Linepithema piliferum* vista frontal y lateral. Fuente: antweb.com



**Figura 21. *Acromyrmex coronatus* vista frontal y lateral. Fuente: antweb.com**



**Figura 22. *Discothyrea horni* vista frontal y lateral. Fuente: antweb.com**



**Figura 23. *Hypoponera trigona* vista frontal y lateral. Fuente: antweb.com**