

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**MODELIZACIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA DE  
HORMIGAS DEL BOSQUE OTONGACHI**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE  
INGENIERA EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**PAMELA JUANA PAREDES MOREIRA**

pamela.paredes@epn.edu.ec

**DIRECTOR: DAVID A. DONOSO, PhD**

david.donosov@epn.edu.ec

**Quito, junio, 2023**

# **Declaración**

Yo, Pamela Juana Paredes Moreira, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que, he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Pamela Juana Paredes Moreira

# **Certificación**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pamela Juana Paredes Moreira, bajo mi supervisión.

---

David A. Donoso, PhD  
Director

## **Agradecimientos**

*Agradezco a Dios, porque me ha acompañado en todo momento y cuando más lo he necesitado. Mi punto de retorno seguro.*

*A mis padres, Julio y Marisol, por todo su amor y apoyo. Gracias por siempre creer en mí y por hacerme una gran mujer.*

*Papá, gracias por ser mi coach de vida. Con tus sabias palabras me llenas de paz y me motivas a perseguir mis sueños con valentía.*

*Mamá, gracias por tu cariño infinito. Detrás de cada cuidado y acción, tu lenguaje del amor siempre ha estado presente. Me inspiras de por vida mi mujer valiente.*

*A mi hija Milena Doménica, porque has cambiado mi vida y me has enseñado a disfrutar cada momento. También agradezco a esa mujer valiente que se transformó, no solo para darte la vida sino para amarte para siempre.*

*A mis hermanos Bryan y Almendra, porque a pesar de ser tan diferentes, siempre serán incondicionales.*

*A mi sobrino Martín Cristóbal, porque eres como un hermano para mi Milena. Me llena de dicha el verte crecer junto a ella, compartiendo sus vidas y unas cuantas travesuras.*

*A esas amigas y amigos incondicionales que, sin saberlo, con una palabra de apoyo o un gesto, han estado presentes y han iluminado mi maternidad.*

*A mi director de tesis, Dr. David Donoso. Gracias por su paciencia. Mi completa admiración por su trabajo y por su amor hacia las hormigas e insectos que ¡mueven el mundo!*

*A la Dra. Yasmín Salazar. Gracias por confiar en mí para realizar esta tesis. Mi respeto y admiración por su calidad humana y docente.*

**Pamela**

## **Dedicatoria**

*A mi Milena Doménica.*

*A tu lado me he adentrado en el arduo pero maravilloso viaje de la maternidad.  
Mueves mi mundo y me inspiras en todo momento. Mi niña: te cuidaré y acompañaré  
por siempre.*

*Pamela*

# Índice General

Índice de Figuras .....	VIII
Índice de Tablas.....	IX
Resumen .....	X
Abstract.....	XI
Capítulo 1 .....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivo General .....	5
1.4. Objetivos Específicos.....	5
Capítulo 2 .....	7
2. Marco teórico.....	7
2.1. Importancia de los insectos y hormigas en la economía .....	7
2.2. Disminución en abundancia de insectos y hormigas a nivel global.....	11
2.2.1. Factores que explican la disminución de insectos y hormigas .....	1
2.3. Estudios sobre hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi.....	2
2.4. Taxonomía de las hormigas.....	1
2.5. Ecología de las hormigas.....	4
2.6. Hormigas como herramienta para el monitoreo y conservación.....	18
2.7. Hipótesis.....	18
Capítulo 3 .....	20
3. Datos y metodología.....	20
3.1. Descripción del área de estudio.....	20
3.2. Muestreo de hormigas en el campo.....	22
3.3. Base de datos.....	25
3.3.1. Construcción de la base de datos .....	25

3.3.2.	Datos de abundancia de hormigas.....	25
3.4.	Estadística descriptiva .....	27
3.5.	Metodología .....	31
3.5.1.	Metodología de Suavizado exponencial simple (SES) .....	32
Capítulo 4	.....	39
4.	Resultados.....	39
4.1.	Resultados de metodología SES para abundancia de hormigas .....	39
4.1.1.	Pronóstico de abundancia de hormigas.....	41
4.1.2.	Constante de suavizado.....	42
4.1.3.	Error porcentual absoluto medio (MAPE).....	43
4.1.4.	Intervalos de confianza .....	43
4.1.5.	Gráficos de suavizamiento exponencial.....	45
Capítulo 5	.....	56
5.	Discusión .....	56
	Consideraciones sobre los pronósticos de abundancia de hormigas .....	56
	Consideraciones sobre el ajuste de varios modelos econométricos de series temporales .....	60
	Limitaciones metodológicas de este estudio .....	61
	Primera limitación metodológica.....	61
	Segunda limitación metodológica .....	62
	Tercera limitación metodológica.....	62
Capítulo 6	.....	65
6.	Conclusiones.....	65
Capítulo 7	.....	69
7.	Recomendaciones .....	69
Bibliografía	.....	71
Anexos	.....	96
	Anexo 1 Prueba de no estacionariedad (Dickey Fuller Aumentada).....	96
	Anexo 2 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP).....	99
	Anexo 3 Estadística descriptiva de la variable abundancia .....	104
	Anexo 4 Descripción de las series .....	105

Anexo 5 Prueba de tendencia (MannKendall) .....	121
Anexo 6 Prueba de ruido blanco (LJung Box).....	123
Anexo 7 Modelos según la metodología de Box Jenkins .....	125
Anexo 8 Prueba de no linealidad (Keenan y Tsay).....	127



## Índice de Figuras

Figura 2. 1 Fotografías de la cabeza de obreras de los géneros de hormigas del Bosque Otongachi.....	2
Figura 2. 2 Fotografías del cuerpo en vista lateral de obreras de cada género de hormigas del Bosque Otongachi.....	3
Figura 3. 1 Mapa de la Reserva Integral Otonga y del Bosque Otongachi .....	21
Figura 3. 2 Abundancia de <i>Gnamptogenys</i> y <i>NeoponeraL</i> durante el periodo 2003-2020. .....	28
Figura 3. 3 Abundancia de <i>Pheidole</i> y <i>Solenopsis</i> durante el periodo 2003-2020.....	28
Figura 3. 4 Abundancia de <i>Cyphomyrmex</i> e <i>Hypoconera</i> durante el periodo 2003-2020. .....	29
Figura 3. 5 Abundancia de <i>Octostruma</i> y <i>Strumigenys</i> durante el periodo 2003-2020..	29
Figura 3. 6 Gráfico de suavizado exponencial simple.....	38
Figura 4. 1 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Gnamptogenys</i> . ..	47
Figura 4. 2 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>NeoponeraL</i> .....	48
Figura 4. 3 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Pheidole</i> . .....	49
Figura 4. 4 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Solenopsis</i> . .....	50
Figura 4. 5 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Cyphomyrmex</i> . ...	51
Figura 4. 6 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Hypoconera</i> . .....	52
Figura 4. 7 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Octostruma</i> . .....	53
Figura 4. 8 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género <i>Strumigenys</i> . .....	54

## Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Investigaciones que reportan cambios en abundancia de insectos y hormigas en todo el mundo .....	1
Tabla 2. 2 Investigaciones sobre comunidades de hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi.....	1
Tabla 2. 3 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio.....	5
Tabla 3. 1 Métodos de recolección de hormigas.....	24
Tabla 3. 2 Especies de hormigas agrupadas dentro de los diferentes géneros estudiados .....	26
Tabla 4. 1 Resultados de los modelos de abundancia según metodología de suavizado exponencial simple.....	40
Tabla 4. 2 Intervalos de pronóstico para cada género de hormigas.....	44

## Resumen

Las hormigas son insectos muy diversos y abundantes que habitan en casi todos los ecosistemas. Las funciones que las hormigas realizan han permitido directa o indirectamente la existencia de plantas y animales, incluyendo al ser humano. Dada su importancia ecológica y económica, en este trabajo se realiza un análisis temporal de la abundancia de hormigas en Otongachi, un bosque tropical ecuatoriano con gran diversidad de flora y fauna. El objetivo de este estudio es modelizar la abundancia de hormigas mediante métodos econométricos de series temporales. Por lo tanto, el estudio de la abundancia de hormigas permitirá comprender si las comunidades están cambiando. Para ello, se utilizan datos proporcionados por el Departamento de Biología de la Escuela Politécnica Nacional sobre la abundancia de hormigas capturada por trampas pitfall y winkler durante el periodo 2003-2020. Se estudiaron los ocho géneros de hormigas más abundantes del bosque, entre estos: *Gnamptogenys*, *Neoponera*, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Cyphomyrmex*, *Hypoconera*, *Octostruma* y *Strumigenys*. Las metodologías de Box Jenkins y modelos no lineales no lograron modelizar adecuadamente los datos de abundancia de hormigas, por lo que los pronósticos de abundancia de cada género se realizaron mediante modelos de suavizado exponencial simple. Los resultados de este estudio sugieren que la abundancia de hormigas de cada género estudiado se mantendrá constante en el futuro en la localidad de Otongachi. Dicha abundancia constante podría deberse al propio comportamiento de las hormigas que está determinado por su taxonomía y ecología, o por influencia de factores climáticos o antropogénicos. Finalmente, este trabajo constituye un aporte para los campos de la ecología y economía, sobre todo para la conservación de especies y biodiversidad.

**Palabras clave:** hormigas, abundancia, Otongachi, suavizado exponencial simple, abundancia constante, ecología, economía.

## Abstract

Ants are very diverse and abundant insects that inhabit almost all ecosystems. The functions that ants perform have directly or indirectly allowed the existence of plants and animals, including humans. Considering their ecological and economic importance, in this study, a temporal analysis of the abundance of ants of Otongachi is conducted, in an Ecuadorian tropical forest with great diversity of flora and fauna. The objective of this study is to model the abundance of ants using econometric methods of time series. Therefore, the study of the abundance of ants will allow us to understand if ants communities are changing. To do this, data provided by the Department of Biology of the Escuela Politécnica Nacional on the abundance of ants, collected by pitfall and winkler traps during the period 2003-2020, are used. The eight most abundant ant genera in the forest were studied, including: *Gnamptogenys*, *Neoponera*L, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Cyphomyrmex*, *Hypoponera*, *Octostruma* and *Strumigenys*. Box Jenkins methodologies and nonlinear models failed to adequately model ant abundance data, so abundance forecasts for each genus were made using simple exponential smoothing models. The results of this study suggest that the abundance of ants of each genus studied will remain constant in the future within the Otongachi locality. This constant abundance could be explained due to the very behavior of the ants that is determined by their taxonomy and ecology, or by the influence of climatic or anthropogenic factors. Finally, this work is a contribution to the fields of ecology and economics, especially for the conservation of species and biodiversity.

**Keywords:** ants, abundance, Otongachi, simple exponential smoothing, constant abundance, ecology, economics.

# Capítulo 1

## 1. Introducción

### 1.1. Planteamiento del problema

La Región Neotropical es una área zoogeográfica con una gran biodiversidad y riqueza de especies. En esta región, ubicada entre el Trópico de Capricornio y el Trópico de Cáncer, y que abarca parte de América Latina y las islas de El Caribe, los científicos coinciden en que las hormigas son consideradas como los insectos con mayor importancia ecológica. Esta importancia se sostiene en la gran diversidad, abundancia, y cantidad de interacciones que las hormigas mantienen entre ellas y con otras especies en los ecosistemas (Della Lucia, 2003). Solamente en la región Neotropical, las hormigas constituyen un taxón hiperdiverso distribuido en 129 géneros, contenidos en 12 de las 17 subfamilias que existen a nivel global (Fernández et al., 2019).

Las hormigas son himenópteros sociales muy abundantes y ubicuos (Maeterlinck, 2018). Las hormigas también participan de muchos procesos en los ecosistemas, por lo que Wilson (1987) denominó a las hormigas como “las pequeñas cosas que gobiernan el mundo” (p.344). Además, las hormigas “han invadido casi todas las partes habitables de la Tierra” (Maeterlinck, 2018, p.33), con excepción de regiones con alturas y temperaturas extremas como los páramos en las cadenas montañosas y las zonas polares del planeta. De hecho, las hormigas son individuos tan abundantes que “constituyen dos tercios de la biomasa de todos los insectos” (Hölldobler & Wilson, 1990, p.1). Al respecto, Schultheiss et al. (2022) estimaron que la abundancia de hormigas en la Tierra es de aproximadamente  $20 \times 10^{15}$  individuos e indicaron que estos insectos se expanden de forma muy desigual sobre la superficie terrestre. Según los autores, de tal número,  $3 \times 10^{15}$  hormigas habitarían en el suelo y se aglomerarían en su mayoría en zonas tropicales y subtropicales (Schultheiss et al. 2022). El resto de hormigas estaría habitando en las copas de los árboles, y en zonas templadas.

En 1997, Hill reconoció que la subsistencia del ser humano durante miles de años solo ha sido posible gracias a los insectos, ya que estos han permitido el acceso y elaboración de

alimentos, así como la posibilidad de contrarrestar plagas. Dentro de este contexto, las hormigas tienen gran importancia ecológica y económica (Chacón de Ulloa, 1994). La importancia de las hormigas radica en que han sido utilizadas como bioindicadores ambientales, ecológicos o de biodiversidad, es decir, se las ha empleado para monitorear las condiciones ambientales y los cambios que pueden ocurrir en un ecosistema (Allaby, 1992).

Además, para el ser humano, la influencia de las hormigas sobre el medio ambiente y los cultivos puede representar ciertos beneficios o daños (Chacón de Ulloa, 1994). De acuerdo con Moutinho (1995), los beneficios que proporcionan las hormigas se relacionan directamente con las funciones que estas cumplen dentro de los ecosistemas, tales como: (i) remoción del suelo y transporte semillas, (ii) ciclado de nutrientes, (iii) mejora en la fijación de raíces en el suelo, (iv) fertilización del suelo y regeneración de áreas que han sido alteradas (Della Lucia, 2003; Kaspari, 2003). No obstante, los hábitos de vida de las hormigas pueden asociarse a ciertos perjuicios y pérdidas económicas para el ser humano. Por ejemplo, cuando las hormigas se alimentan de vegetación existente en cultivos agrícolas mientras realizan sus actividades de forrajeo (Wilson, 1984). Al respecto, Hill (1997) denominó a los insectos como “el mayor rival de la humanidad”, refiriéndose a los daños que estas pueden provocar sobre los cultivos y a la transmisión de enfermedades hacia el ser humano.

A pesar de su gran importancia, la distribución y abundancia de las hormigas son temáticas que han sido poco estudiadas (Schultheiss et al., 2022). Uno de los factores que impide el estudio de las hormigas es el desconocimiento básico sobre su biodiversidad real en los ecosistemas, dado no existen muchos muestreos en el planeta (Salazar-Buenaño & Donoso, 2019). Por ejemplo, Della Lucia (2003) señaló que el desconocimiento sobre la taxonomía y comportamiento de las comunidades de hormigas impide realizar correctas cuantificaciones de los verdaderos daños ecológicos y económicos que pueden provocar ciertas especies.

En la actualidad, la literatura evidencia un aumento en el número de estudios empíricos que reportan la disminución de poblaciones de insectos en distintas partes de la Tierra (Harvey et al., 2022). La desaparición de diversas especies de insectos es un acontecimiento que genera

gran preocupación y que los científicos han denominado como el “Apocalipsis global de insectos” (Janicki et al., 2022). Sobre esto, Forister et al. (2021) estimaron que la abundancia de insectos se está reduciendo entre el 1% y 2% anual. En este contexto, Salazar-Buenaño & Donoso (2019) analizaron sobre el Armagedón de insectos, refiriéndose con este a la declinación masiva de poblaciones de insectos que está ocurriendo. Según los autores, la desaparición total de los insectos polinizadores no provocaría la extinción del ser humano, pero si afectaría a la economía mundial al impactar sobre la agricultura que representa el 5% del PIB. Como consecuencia, esto provocaría la muerte de muchas personas o disminuiría su calidad de vida (Salazar-Buenaño & Donoso, 2019).

Considerando los argumentos presentados anteriormente, el estudio de las hormigas en cualquier parte de la Tierra es un tema de gran relevancia. En esta investigación se realizará un análisis temporal sobre el comportamiento de la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi. El estudio de la dinámica de hormigas de este bosque tropical es también importante, ya que Otongachi se encuentra ubicado en la región Neotropical, la cual es una zona con un gran endemismo y riqueza de géneros de hormigas (Escárraga et al., 2014). Para este estudio se utilizarán datos de la abundancia de hormigas registrada por trampas pitfall y winkler durante el periodo 2003-2020. Con esta investigación se busca pronosticar la abundancia futura de hormigas, mediante métodos econométricos de series temporales, para los siguientes géneros: *Gnamptogenys*, *Neoponera*L, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Cyphomyrmex*, *Hypoponera*, *Octostruma* y *Strumigenys*. Los resultados de este estudio representarían un aporte para la conservación y protección de la biodiversidad contenida en el bosque.

## **1.2. Justificación**

La disminución sin precedentes de la abundancia de insectos constituye una problemática que no debe ser ignorada. La disminución en abundancia de insectos es un evento que no se lo puede percibir de inmediato, pero que constituye una gran amenaza a largo plazo para la supervivencia de distintas poblaciones de insectos y para la del ser humano (Harvey et al., 2022).

De la disminución en abundancia de insectos pueden surgir consecuencias negativas para el funcionamiento de los ecosistemas y para las actividades humanas que se benefician del rol que estos cumplen (Crossley et al., 2020). Los insectos constituyen la base de muchas cadenas tróficas y si estos dejaran de existir, el resto de seres vivos y depredadores también desaparecerían (Janicki et al., 2022). En este sentido, investigadores concuerdan en que no se debe subestimar la gran importancia ecológica de los insectos. Tampoco se debe subestimar los beneficios que aportan los insectos en términos monetarios. Según Losey & Vaughan (2006), el valor económico de las funciones que desarrollaron los insectos en Estados Unidos en el 2006 significó un valor superior a 57 mil millones de dólares. La importancia económica de los insectos se remonta desde hace muchos años atrás. Por ejemplo, en 1978 entomólogos del Instituto de Control Biológico de Commonwealth encontraron que la polinización realizada por insectos en África Occidental representó monetariamente un ahorro anual de 115 millones de dólares en comparación con el uso de polinización manual. Además, en el mismo estudio se determinó que la intervención de los insectos implicaría mayores niveles de polinización (Hill, 1997).

Diversas investigaciones han tratado de comprender sobre los factores que influyen en la reducción en abundancia de insectos, y han asociado el origen de esta disminución a variables antropogénicas, refiriéndose con esto a actividades humanas, como: (i) destrucción del hábitat, (ii) usos de la tierra, (iii) especies invasoras y, (iv) el cambio climático (Crossley et al., 2020; Seibold et al., 2019; Wagner, 2019). En este sentido, Harvey et al. (2022) abordaron sobre la estrecha relación que existe entre el cambio climático influenciado por el hombre y su relación con los insectos. Los autores enfatizaron que la susceptibilidad de los insectos ante cambios de temperatura provoca alteraciones en sus patrones de distribución geográfica. Como resultado de estas alteraciones, se desencadenan cambios en los servicios ecosistémicos que los insectos ofrecen, alteración de las redes alimentarias y desajustes fenológicos (Harvey et al., 2022).

Además, la revisión de la literatura indica que existe un número reducido de investigaciones sobre las comunidades de hormigas que habitan el Bosque Otongachi y, en general, del Ecuador. Aunque existen análisis de series de tiempo sobre fenómenos biológicos y



ecológicos en otras partes del mundo, estos no estudian específicamente la abundancia de hormigas. Debido a esto, y considerando que los cambios en las comunidades de hormigas influyen sobre la biodiversidad, las funciones y los servicios ecosistémicos que estas proveen (Geijzendorffer & Roche, 2013; Haines-Young, 2009; Luck et al., 2009), los resultados de esta investigación resultan oportunos dentro del contexto de declinación de insectos. El propósito de este estudio es modelizar temporalmente la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi, considerando las características de los datos y buscando la metodología más apropiada para series de tiempo que tienen pocas observaciones, como es el caso de las series disponibles para este estudio. Con base en la revisión empírica, para modelizar la abundancia de hormigas se analizará el uso de las metodologías de Box Jenkins, modelado no lineal y suavizado exponencial simple.

Por último, considerando el valor ecológico del Bosque Otongachi y de su biodiversidad, el estudio sobre el comportamiento de la abundancia de las hormigas resulta de absoluto interés para ecólogos, impulsores ambientales y mirmecólogos (Schultheiss et al., 2022). Asimismo, debido a que las funciones que desempeñan las hormigas en los ecosistemas involucran también una importancia económica significativa para el ser humano, este estudio también resulta de interés para economistas y hacedores de política involucrados en la toma de decisiones de carácter ambiental o en proyectos que busquen potenciar al máximo los beneficios que proporcionan las hormigas o, mitigar o compensar los daños que resultan de las variaciones de abundancia (Piedra Campoverde et al., 2017).

### **1.3. Objetivo General**

Modelizar la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi mediante métodos econométricos de series temporales.

### **1.4. Objetivos Específicos**

- Evaluar el ajuste de varios modelos econométricos de series temporales con comunidades naturales de hormigas del Ecuador.
- Proveer de un pronóstico de la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi.

El presente trabajo está conformado por siete capítulos que se organizan de la siguiente forma. El Capítulo 2 contiene una revisión de la literatura y evidencia empírica sobre la abundancia de hormigas. En el Capítulo 3 se describe sobre los datos y metodología a utilizar. En el Capítulo 4 se presentan los resultados de esta investigación. En el Capítulo 5 se presenta una discusión sobre este estudio. En el Capítulo 6 se concluye sobre el análisis. Por último, en el Capítulo 7 se presentan algunas recomendaciones.

## Capítulo 2

### 2. Marco teórico

En este capítulo se presenta sobre la importancia de los insectos y hormigas en la economía. Seguidamente se expone sobre la disminución en abundancia de insectos y hormigas a nivel global, y los factores asociados a esta disminución. Posteriormente se describen algunos estudios sobre hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi. Luego se presenta sobre la taxonomía de las hormigas, su ecología, y uso como herramienta para el monitoreo y conservación. Finalmente, se plantea la hipótesis que se analiza en el presente estudio.

#### 2.1. Importancia de los insectos y hormigas en la economía

Las funciones que los insectos realizan en los ecosistemas benefician directa e indirectamente a las especies animales y vegetales con las que se interrelacionan, incluyendo al ser humano (Hill, 1997). Según Price et al. (2011) y Kremen & Chaplin-Kramer (2007), entre los servicios ecosistémicos que brindan los insectos, de los que forman parte las hormigas, se encuentran: (i) polinización, (ii) control natural de plagas, (iii) descomposición, (iv) dispersión de semillas, y (v) alimentación para otros organismos como vertebrados e invertebrados. A su vez, entre los servicios que favorecen directamente al ser humano se destacan la apicultura y la sericultura, que facilitan la obtención de alimentos como miel, cera y seda (Hill, 1997).

En 2006, Losey & Vaughan estimaron que el valor de los servicios ecosistémicos que proporcionaron los insectos en los Estados Unidos representó más de 57 mil millones de dólares. Dicha cifra incorporó los siguientes servicios ecosistémicos: entierro de estiércol (0.38 mil millones), polinización (3.07 mil millones), control natural de plagas (4.49 mil millones) y recreación para el ser humano (49.96 mil millones). Según los autores, dichos valores deberían ser superiores, dado que se tendrían que considerar otras variables como el valor agregado y salarios pagados hacia personas que se involucran en ciertos procesos. Sin embargo, estas variables no estuvieron disponibles para incluirlas en su estudio (Losey & Vaughan, 2006).

Con relación a la polinización, se calcula que más del 80% de las plantas con flores en todo el mundo son polinizadas por insectos (Ollerton et al., 2011; Vanbergen et al., 2013). Asimismo, se estima que tres cuartas partes del total de especies de plantas de cultivo dependen también de la polinización natural por insectos como abejas, moscas, escarabajos y hormigas (Klein et al., 2007; Vanbergen et al., 2013). A pesar de la gran importancia de la polinización que realizan los insectos, Hill (1997) señaló que cuantificar su beneficio económico es complejo, debido a que se necesitaría tomar en cuenta tanto plantas cultivadas como silvestres. Sin embargo, en 1986 se estimó que el valor de la polinización, que los insectos realizaron exclusivamente sobre los cultivos, representó alrededor de 17 mil millones de dólares en los Estados Unidos Hill (1997). En 2005 se realizó un nuevo cálculo, estimándose que el valor de la polinización realizada por los insectos sobre el 75% de especies de cultivos representaría aproximadamente 215 mil millones de dólares a nivel mundial (FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations], 2019; Vanbergen et al., 2013).

Respecto a la relación de los insectos con la economía agrícola, existe evidencia de que cerca del 75% de plantas de cultivo a nivel mundial mejoran sus rendimientos cuando actúan los insectos polinizadores (Klein et al., 2007). Además, los insectos polinizan entre el 15% y 30% de alimentos que son consumidos por la población humana (Crane, 1990; Mcgregor, 1976). En este sentido, la disminución de las poblaciones de insectos polinizadores impactaría negativamente sobre la productividad de los cultivos y semillas (Powney et al., 2019). A su vez, este impacto sobre el sistema agrícola encargado de proveer alimentos, extendería la problemática a un tema de seguridad alimentaria. Al respecto, Anderson (1990) define la seguridad alimentaria como:

El acceso de todas las personas en todo momento a suficientes alimentos para una vida activa, sana y que incluye como mínimo: a) la disponibilidad inmediata de alimentos nutricionalmente adecuados e inocuos, y b) la capacidad asegurada de adquirir alimentos aceptables en formas socialmente aceptables (p. 1560).

El consumo de insectos, o entomofagia, también se relaciona con la economía. A lo largo del tiempo se ha considerado erróneamente que el consumo de insectos se limita únicamente al ser humano primitivo. Sin embargo, en la actualidad existen diversos países, sobre todo subdesarrollados y tropicales, en los que el consumo de insectos forma parte de la dieta humana (Van Huis, 2013). Dado esto, Van Huis (2013) enfatizó sobre el potencial de los insectos como una alternativa para mejorar la seguridad alimentaria en el futuro, sobre todo si se mantienen en ciertas partes del mundo el crecimiento acelerado de la población y el agotamiento de recursos alimentarios.

El consumo y uso de insectos como componente de alimentos elaborados representarían propuestas ante el cambio climático. Su uso permitiría reemplazar el alto costo de producción de alimentos que utilizan otras fuentes animales, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero hacia el medio ambiente (Van Huis, 2013). Por un lado, se considera que la producción de carne no es sostenible. Se conoce que dos tercios de las tierras agrícolas a nivel mundial corresponden a prados y pastos utilizados para el pastoreo de ganado (FAO, 2019). En el 2020, el pastoreo generó más del 14% del total de las emisiones de efecto invernadero a nivel mundial y el 59% del total de emisiones de amoníaco agrícola del mismo año (Beusen et al., 2008). Por otro lado, el uso de insectos representaría bajas emisiones de gases contaminantes, ya que las eficientes tasas de conversión alimenticia harían que la producción de insectos también sea eficiente. Esto significa que, se requiere cantidades reducidas de factores como tierra, agua y energía para producir un kilogramo de proteína de insectos, en comparación a la producción de un kilogramo de proteínas cárnicas (Van Huis et al., 2013). Como resultado, la sustitución de proteínas de origen cárnico por proteínas provenientes de insectos favorecería al medio ambiente.

Adicionalmente, debido a que los insectos constituyen una fuente de alimento con alto contenido nutricional, la entomofagia aportaría a una dieta equilibrada y representaría un beneficio para la salud humana (Bodenheimer, 1951). Los insectos contienen nutrientes como proteínas, vitaminas, minerales y ácidos grasos (Acosta-Estrada et al., 2021). Además, dado su alto contenido de proteínas, lípidos y fibras, los insectos se podrían usar como sustituto de la harina de cereales que se utilizan para fabricar otros productos. Los insectos

también contienen minerales, como: cobre, selenio, hierro, zinc, calcio, magnesio, manganeso y fósforo; y también vitaminas B7 (biotina), B2 (riboflavina), B5 (ácido pantoténico) y B9 (ácido fólico) (Rumpold & Schlüter, 2013).

En Ecuador ya existen empresas que elaboran y comercializan productos a base de insectos. Por ejemplo, Crick Superfoods y SARgrillo son empresas que elaboran snacks a partir de la proteína de grillo (Alvarado, 2021). Según Castellanos, fundadora de Crick Superfoods, su emprendimiento fue creado con la finalidad de disminuir la desnutrición, y considerando el bajo impacto ambiental y el alto impacto nutricional que tienen estos alimentos (Alvarado, 2021). Además, SARgrillo cuenta con una granja para criar grillos ubicada en la provincia de Pichincha, y los distribuye como materia prima a otras empresas y restaurantes de la ciudad de Quito (Morán Vargas & Quituña Quintuña, 2021; Zumba, 2021).

A pesar de los beneficios antes mencionados, el consumo y uso de insectos pueden implicar ciertos riesgos relacionados con la alimentación y salud humana. De acuerdo con Acosta-Estrada et al. (2021): “los insectos pueden ser un vector de contaminación microbiana” (p.16). Por tanto, la fabricación y conservación de productos a base de insectos requieren prácticas adecuadas y que sean reguladas legislativamente (Van der Spiegel et al., 2013). Estos elementos dañinos pueden proceder de los propios insectos o de los procesos de producción, y pueden provocar daños a la salud de las personas (Van der Spiegel et al., 2013).

El control natural de plagas también se vincula con la economía. En una forma básica, el control natural de plagas se da por el mutualismo entre insectos y plantas (Vega & Gómez, 2014). Los insectos defienden a las plantas ante plagas y a cambio, las plantas ofrecen hábitat para los nidos de los insectos o alimento como néctar u otros nutrientes (Hanzawa et al., 1988; Janzen, 1966; Vega & Gómez, 2014). Se calcula que las plagas producidas por hongos, invertebrados o malas hierbas destruyen entre el 25% y 50% de cosechas agrícolas a nivel mundial (Pimentel et al., 1993). Debido a esto, se ha considerado indispensable el uso de pesticidas y herbicidas para el control de plagas de los cultivos (Tudi et al., 2021). Sin embargo, el control de plagas que realizan los insectos también resulta indispensable para la salud de los cultivos y es beneficioso para la economía del ser humano.

De acuerdo con Naylor & Ehrlich (1997), se gasta anualmente más de 54 mil millones de dólares en programas que utilizan pesticidas. Pese al uso de estos agroquímicos, se estima una pérdida anual de aproximadamente el 37% de los cultivos en los Estados Unidos (Kremen & Chaplin-Kramer, 2007). Por lo tanto, el control natural de plagas permitiría reducir el gasto que se destina al uso de agroquímicos. Además, la disminución del uso de productos químicos agrícolas podría ser favorable, debido a que cantidades elevadas de pesticidas podrían acarrear consecuencias negativas para los ecosistemas a largo plazo (Naylor & Ehrlich, 1997). Entre estas consecuencias negativas están la resistencia a plagas, afectación a insectos y depredadores, y perjuicios para la salud humana (Naylor & Ehrlich, 1997).

Por todo lo expuesto anteriormente, se evidencia que los insectos aportan con importantes beneficios económicos y ecológicos tanto para los ecosistemas como para el ser humano (Chacón de Ulloa, 1994).

## **2.2. Disminución en abundancia de insectos y hormigas a nivel global**

La disminución en abundancia de insectos es un acontecimiento que ha sido reportado por diversos estudios a nivel global (Harvey et al., 2022; Wagner, 2020). De acuerdo con Kolbert (2014), el ritmo de declinación de la abundancia de especies es una realidad que nos está acercando cada vez más hacia la sexta extinción planetaria. Debido a esto, la pérdida en abundancia de insectos es un tema que ha despertado gran interés y preocupación de muchos entomólogos, biólogos, ecologistas y hacedores de políticas ambientales (Wagner, 2020).

Según Wagner (2020), la declinación en abundancia de distintas especies de insectos es un fenómeno que no ha sido correctamente documentado y comprendido. Los estudios sobre las comunidades de insectos se han intensificado en Europa, dado que para esa región se cuenta con datos geográficos y taxonómicos completos y de calidad para un gran número de especies (Crossley et al., 2020; Wagner, 2020). Para el resto de regiones, no se cuenta con datos suficientes, o estos no han sido recolectados de forma adecuada. Desfavorablemente, esto

limita la investigación sobre las comunidades de insectos (y hormigas) en regiones zoogeográficas que también son muy importantes, y pone en cuestionamiento la magnitud de las tasas de disminución de especies que hasta el momento han sido reportadas (Wagner, 2020).

Dirzo et al. (2014) reportaron que la abundancia de vertebrados de todas las especies ha disminuido en 28% en promedio durante las últimas cuatro décadas. Los autores también señalaron que el 67% de las poblaciones de invertebrados que han sido monitoreadas, muestra una disminución de la abundancia media del 45% en el mismo periodo. Dirzo et al. (2014) denominaron a esta disminución simultánea de vertebrados e invertebrados como la “defaunación del Antropoceno” (p.401), refiriéndose con este término a la pérdida de especies y de poblaciones de vida silvestre, y a la disminución en abundancia influenciadas por causas antropogénicas.

Es importante también mencionar que, no todas las investigaciones evidencian una reducción en la abundancia de insectos. Van Klink et al. (2020) analizaron la dinámica de comunidades de insectos y arácnidos en 1 676 sitios de América del Norte y Europa. Los autores reportaron diferentes tendencias de la abundancia de insectos, registrándose tendencias crecientes, decrecientes y constantes. Además, los autores atribuyeron estos cambios a las actividades humanas relacionadas con los diferentes usos de la tierra. A pesar de la variabilidad de tendencias, los resultados de dicho estudio indicaron que: en promedio, la abundancia de insectos terrestres disminuye a una tasa de 9% por década, y la abundancia de insectos de agua dulce aumenta a una tasa de 11% por década (Van Klink et al., 2020).

Así también, Vasconcelos et al. (2017) reportaron en su estudio tendencias decrecientes y constantes de la abundancia de hormigas. Los resultados de dicho estudio informaron que no existió ningún cambio en la abundancia durante los últimos 70 años; esto tras analizar 10 regiones ubicadas en Australia, Brasil y los Estados Unidos. Los autores concluyeron que la abundancia se mantuvo constante a pesar de tratarse de sabanas y bosques que habían sido afectados por el fuego, sobre todo bosques tropicales (Vasconcelos et al., 2017). Además, según Fowler et al. (1986) & Jaffe (1986), existen otros estudios en diferentes partes del



mundo que reportan aumentos en abundancia de hormigas cortadoras de hojas, a pesar de la intensificación de perturbaciones como el uso agrícola de la tierra, deforestación y fragmentación del ambiente.

También es importante mencionar que, pronósticos crecientes o constantes en abundancia de insectos o de hormigas no quieren decir que estas comunidades serán estables a largo plazo. Por el contrario, debe existir un monitoreo continuo de las especies, ya que cualquier cambio imperceptible podría alterar las funciones ecológicas que prestan los insectos (Crossley et al., 2020). De esta forma, ciertas alteraciones y consecuencias desfavorables podrían propagarse hacia el resto de los seres vivos de las cadenas tróficas en forma de un efecto cascada (Almeida et al., 2023; Losey & Vaughan, 2006).

Además de la abundancia, el estudio de la diversidad de especies también es importante. Según Hallmann et al. (2017), tanto la abundancia como la diversidad de insectos deberían considerarse prioridades de conservación en los ecosistemas. Sin embargo, en el presente estudio solo se aborda un análisis de abundancia. La diversidad se refiere a la variedad de especies de hormigas en un hábitat (Sánchez y Gándara, 2011). Vasconcelos et al. (2017) reportaron en su estudio una disminución promedio del 18% de diversidad alfa (diversidad local) de hormigas durante los últimos 70 años, tras considerar ecosistemas en Australia, Brasil y los Estados Unidos que fueron afectados por el fuego. Según estos autores, la diversidad varió dependiendo del tipo de hábitat. En los bosques disminuyó la diversidad; y en desiertos, praderas y sabanas, la diversidad se mantuvo constante (Vasconcelos et al., 2017).

A continuación, en la Tabla 2.1 se presenta un resumen de trabajos que reportan cambios en abundancia de insectos y hormigas en todo el mundo.

Tabla 2. 1 Investigaciones que reportan cambios en abundancia de insectos y hormigas en todo el mundo

<b>Estudio</b>	<b>Especie</b>	<b>Ecosistema</b>	<b>País o región</b>	<b>Factor</b>	<b>Reporte</b>
<b>Almeida et al. (2023)</b>	Hormigas terrestres	Bosque Nacional Caxiuanã (bosque tropical)	Pará, Brasil	Sequías	Pérdida de abundancia relativa (composición) de hormigas
<b>Crossley et al. (2020)</b>	Artrópodos e insectos	Áreas naturales y sitios de monitoreo	Estados Unidos	Agricultura y usos de la tierra	Tendencia constante, aumento o disminución en abundancia de ciertos taxones
<b>Seibold et al. (2019)</b>	Artrópodos	Pastizales y sitios forestales (bosques templados)	Alemania	Agricultura y usos de la tierra	Disminución de la abundancia de artrópodos

Tabla 2. 2 Investigaciones que reportan cambios en abundancia de insectos y hormigas en todo el mundo (Continuación)

<b>Estudio</b>	<b>Especie</b>	<b>Ecosistema</b>	<b>País o región</b>	<b>Factor</b>	<b>Reporte</b>
<b>Longino et al. (2014)</b>	Hormigas de hojarasca	Bosques húmedos y tropicales	Chiapas, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica	Temperatura	Disminución gradual de la abundancia de hormigas
<b>Peters et al. (2011)</b>	Hormiga guerrera <i>Dorylus wilverthi</i>	Selva tropical (hábitats forestales y no forestales)	África: Oeste de Kenia	Deforestación	Aumento exponencial de la abundancia de hormigas cuando aumenta la cubierta forestal

Elaboración: la autora

### **2.2.1. Factores que explican la disminución de insectos y hormigas**

En la Tabla 2.1 se muestran algunos factores que pueden influir en la disminución de abundancia de insectos y hormigas. Entre los factores más comunes encontrados en la literatura se encuentran: sequías, agricultura y uso de la tierra, cambios de temperatura y deforestación. Además, según Longino et al. (2014), no se ha logrado una comprensión absoluta de la forma en que estos factores influyen en la abundancia de hormigas.

Existen factores climáticos que pueden influir en la disminución de abundancia de insectos y hormigas, entre estos: (i) la temperatura, (ii) humedad, (iii) precipitación y (iv) disponibilidad de energía (Guerrero & Sarmiento, 2010). Las alteraciones extremas del clima, como olas de calor o de frío, sequías e inundaciones también podrían impactar sobre la disminución en abundancia debido a que alteran la fisiología, comportamiento, fenología, distribución e interacción entre especies (Harvey et al., 2022). Además, los cambios de temperatura influyen sobre el comportamiento de las hormigas, ya que estas son insectos termofílicos y su nivel de interacción depende de la temperatura presente en el ambiente (Kaspari, 2003). A temperaturas bajas (alta elevación), la productividad e interacción de las hormigas disminuye. Por el contrario, a temperaturas más altas (baja elevación), las comunidades de hormigas interactúan en mayor medida (Longino et al., 2014).

Ciertos factores antropogénicos también pueden impactar en la disminución de abundancia de insectos y hormigas, tales como: (i) pérdida y destrucción del hábitat, (ii) agricultura y uso de agroquímicos, (iii) cambios en el uso de la tierra (iv) cambio climático (v) especies invasoras (vi) nitrificación atmosférica causada por la quema de combustibles fósiles y (vii) deposición de nitrógeno (Crossley et al., 2020; Hallmann et al., 2017; Harvey et al., 2022; Longino et al., 2014; Oliver & Morecroft, 2014; Sala et al., 2000; Seibold et al., 2019; Valtonen et al., 2017; Wagner, 2020). Estas actividades realizadas por el ser humano reducen el tamaño de las áreas de distribución geográfica de los insectos y la abundancia de especies (Oliver & Morecroft, 2014).

También existen algunos factores biológicos y ecológicos que pueden determinar la disminución de abundancia de hormigas. Entre estos factores se encuentran el acceso a recursos, el clima y la competencia. Los recursos pueden ser alimentos o sitios para anidar. Entre estos factores también están “enemigos naturales, composición de la hojarasca, vegetación y paisaje” (Bravo et al., 2011, p.121). Estos factores podrían interferir en el acceso a recursos (Kaspari, 2003).

Aunque la base de datos que se utiliza en este estudio no contiene información sobre factores climáticos o antropogénicos, en esta investigación se abarca un análisis de factores taxonómicos al estudiar el comportamiento en el tiempo de varios taxones (p. ej., géneros de hormigas) que presentan ecologías diferentes. Además, el muestreo temporal permite estudiar variaciones naturales en la abundancia de hormigas, que pueden entenderse por efectos temporales como la migración, competencia entre especies y emigración o muerte.

### **2.3. Estudios sobre hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi**

La revisión de investigaciones empíricas sobre comunidades de hormigas indica que la mayoría de estudios se han llevado a cabo en zonas geográficas localizadas al sur de Ecuador. Dichas investigaciones emplean análisis estadísticos respecto a medidas de riqueza, abundancia, biodiversidad y rasgos funcionales de especies de hormigas, pero no análisis de series de tiempo propiamente. A continuación, en la Tabla 2.2 se presenta un resumen de trabajos sobre comunidades de hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi.

Tabla 2. 3 Investigaciones sobre comunidades de hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi

<b>Estudio</b>	<b>Variable de estudio</b>	<b>Lugar de investigación</b>	<b>Tipo de ecosistema</b>	<b>Provincia</b>	<b>Reporte</b>
<b>Mendoza-Viteri et al. (2022)</b>	Riqueza, grupos funcionales y abundancia	3 bosques ubicados en Centinela del Cóndor	Bosques húmedos tropicales	Zamora Chinchipe	Correlación negativa entre la altura y abundancia de hormigas (con excepciones)
<b>Donoso (2017)</b>	Diversidad, riqueza y abundancia	Bosque Otongachi	Bosque húmedo premontano secundario	Pichincha	Comunidad de hormigas muy dinámica entre los distintos años, pero riqueza constante durante una década. Entre años, los cambios en el rango de abundancia de especies de trampas winkler duplicaron a los de pitfall.

Tabla 2. 4 Investigaciones sobre comunidades de hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi (Continuación)

<b>Estudio</b>	<b>Variable de estudio</b>	<b>Lugar de investigación</b>	<b>Tipo de ecosistema</b>	<b>Provincia</b>	<b>Reporte</b>
<b>Nieto Lucero (2017)</b>	Rasgos funcionales, diversidad, riqueza y composición	Parque Nacional Yasuní	Bosque húmedo tropical	Orellana	Similitud de diversidad funcional, riqueza y composición entre los dos estratos de hormigas analizados
<b>Piedra Campoverde et al. (2017)</b>	Abundancia, riqueza, diversidad y grupos funcionales	Reserva Ecológica Arcoíris y El Madrigal	Bosques nublados	Zamora Chinchipe Y Loja	Especies más abundantes en El Madrigal: <i>Pheidole sp. 3</i> y <i>Pheidole sp. 7.</i> ; en Arcoíris: <i>Hypoponera trigona</i> , <i>Pheidole sp.6</i> y <i>Pheidole sp.7</i> A mayor altura, menor abundancia relativa

Tabla 2. 5 Investigaciones sobre comunidades de hormigas realizados en Ecuador y el Bosque Otongachi (Continuación)

<b>Leeanne &amp; Lloyd (2011)</b>	Diversidad	Tepuyes de San Miguel de las Orquídeas	Bosques tropicales y nublados	Zamora Chinchipe y Morona Santiago	Menor diversidad de hormigas, pero mayor número de especies diferentes en las zonas más altas que en las bajas
<b>Donoso &amp; Ramón (2009)</b>	Abundancia, riqueza, diversidad, rasgos funcionales	Bosque Otongachi	Bosque húmedo premontano secundario	Pichincha	Diferencias de diversidad y morfología entre las hormigas muestreadas por trampas pitfall y trampas winkler  La abundancia de <i>Solenopsis</i> , <i>Pheidole</i> , <i>Azteca</i> y <i>Paratrechina</i> representaron el 73% de la abundancia total

Elaboración: la autora



## 2.4. Taxonomía de las hormigas

La entomología es la ciencia que se encarga del estudio científico de los insectos (Dunn, 1991). Conocer sobre la taxonomía, biología, ecología, morfología y fisiología de los insectos ayudaría a comprender su rol en los ecosistemas y en el planeta Tierra (Jiménez Martínez, 2009).

La taxonomía se refiere a la “clasificación ordenada y jerárquica” de los animales (Alvarado, 1966, p.3). Las principales categorías taxonómicas son: clase, orden, género y especie (Linnaeus, 1735). Por ejemplo, el ser humano está clasificado en la clase *Mammalia*, orden *Primates*, género *Homo* y especie *Homo Sapiens* (Linnaeus, 1758). La taxonomía también incluye el estudio filogenético de los organismos, es decir, de sus relaciones de parentesco y evolución a través del tiempo (Alvarado, 1966; E. Wilson, 1985). De acuerdo con Ward (2007), conocer sobre la taxonomía, biología y morfología de las hormigas es importante, debido a que Formicidae es una familia que se caracteriza por tener antenas largas, un pectiole entre el tórax y el abdomen, y por su comportamiento social que incluye la presencia de una reina y trabajadoras en un nido.

Las hormigas se dividen en 17 subfamilias, 334 géneros y al menos 14 000 especies distribuidas en todo el mundo. De estas cifras, 12 subfamilias, 129 géneros y 3 400 especies se encuentran en la región Neotropical (Fernández et al., 2019). El Bosque Otongachi que corresponde al área de estudio de la presente investigación, se encuentra ubicado en esta región. En Otongachi habitan 11 subfamilias de hormigas, entre estas: *Agroecomyrmecinae*, *Amblyoponinae*, *Dolichoderinae*, *Dorylinae*, *Ectatomminae*, *Formicinae*, *Myrmicinae*, *Paraponerinae*, *Ponerinae*, *Proceratiinae* y *Pseudomyrmecinae*. En la presente investigación se abordan las subfamilias *Ectatomminae*, *Ponerinae* y *Myrmicinae* mediante el análisis de los siguientes géneros: *Gnamptogenys*, (Subfamilia *Ectatomminae*), *Neoponera* y *Hypoponera* (Subfamilia *Ponerinae*), y los géneros *Pheidole*, *Solenopsis*, *Cyphomyrmex*, *Octostruma* y *Strumigenys* (Subfamilia *Myrmicinae*). Las Figuras 2.1 y 2.2 contienen

fotografías de la cabeza y cuerpo en vista lateral de los géneros de hormigas que se analizan en el presente estudio.



Figura 2. 1 Fotografías de la cabeza de obreras de los géneros de hormigas del Bosque Otongachi. A. *Gnamptogenys horni*; B. *Neoponera carinulata* ; C. *Pheidole onyx*; D. *Solenopsis suterránea*; E. *Cyphomyrmex curnutus* ; F. *Hypoponera distinguenda*; G. *Octostruma amrishi*; H. *Strumigenys lalassa*. Fotos de Juan Felipe Ortega (A), Will Ericson (B, H), J. Longino (C), April Nobile (D, E, F, G).

Fuente: AntWeb (2023)

Elaboración: la autora



Figura 2. 2 Fotografías del cuerpo en vista lateral de obreras de cada género de hormigas del Bosque Otongachi. A. *Gnamptogenys horni*; B. *Neoponera carinulata*; C. *Pheidole onyx*; D. *Solenopsis suterránea*; E. *Cyphomyrmex curnutus*; F. *Hypoponera distinguenda*; G. *Octostruma amrishi*; H. *Strumigenys lalassa*. Fotos de Juan Felipe Ortega (A), Will Ericson (B, H), J. Longino (C), April Nobile (D, E , F, G).

Fuente: AntWeb (2023)

Elaboración: la autora

## **2.5. Ecología de las hormigas**

La ecología de las hormigas describe la interacción que existe entre una hormiga con otras y con su entorno; considerándolas como unidades “autoproducidas” (Gutiérrez, 2010). Mediante el estudio de la ecología de las hormigas, los investigadores buscan comprender sobre su comportamiento y la forma en que las hormigas ayudan a resolver problemas ecológicos (Wilson, 1963). El análisis de la ecología de las hormigas ha generado gran interés científico, ya que según Wilson (1963), cada una de las más de diez mil especies que se conocen a nivel mundial han desarrollado múltiples características y estrategias a través del tiempo.

La ecología de las hormigas se refiere a características sobre: “grupos funcionales, patrones de composición de las especies, dinámica e interacciones” (Kaspari, 2003, p. 97). En términos generales, explicar sobre la ecología de las hormigas consiste en caracterizar sobre: (i) la diversidad de especies en las diferentes regiones naturales, (ii) interrelación con otros componentes del ecosistema, (iii) utilidad como indicadores de diversidad, degradación y recuperación ecológica, (iv) seguimiento en programas de monitoreo e importancia de su conservación (Armbrecht et al., 2019).

A detalle, el estudio de la ecología de las hormigas consiste en describir características relacionadas con: defensa, alimentación, depredación, cooperación, competencia, nidificación, comunicación, relaciones intraespecíficas, relaciones interespecíficas, control de plagas, protección de plantas, dispersión de semillas, relaciones de parasitismo o mutualismo con otros organismos, entre otros aspectos (Armbrecht et al., 2019; Kaspari, 2003).

A continuación, en la Tabla 2.3 se describen características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas que se consideran en este estudio.

Tabla 2. 6 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio

<b>Género</b>	<i>Gnamptogenys</i>	<i>Neoponera</i> L
<b>Característica</b>		
<b>Subfamilia</b>	Ectatomminae	Ponerinae
<b>Distribución geográfica de la mayoría de especies</b>	Centroamérica y Sudamérica	Continente americano. Trópicos y subtrópicos
<b>Número aproximado de especies en todo el mundo</b>	120	200
<b>Número aproximado de especies en la región Neotropical</b>	73	74
<b>Número aproximado de especies en el Bosque Otongachi</b>	46	36
<b>Tamaño promedio de las hormigas</b>	Mediano	Variable: pequeño, mediano y grande

Tabla 2. 7 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b> <b>Característica</b>	<i>Gnamptogenys</i>	<i>Neoponera</i> L
<b>Hábitats de preferencia</b>	Bosques tropicales y húmedos	Bosques húmedos y secos
<b>Nidos</b>	-Pequeños (menos de 500 adultos)  -En madera descompuesta, hojarasca, suelo o debajo de piedras	En el suelo, hojarasca, madera, ramas muertas y organismos en descomposición
<b>Colonias</b>	Entre reinas ergatoides y reinas aladas se dividen las funciones reproductivas de la colonia	-Poco numerosas  -Poligínicas, con intercastas y obreras ponedoras de huevos
<b>Alimentación</b>	Especialización en caza de artrópodos: diplópodos, coleópteros y otras hormigas	Omnívoras: consumen néctar, cazan artrópodos o son carroñeras de restos de artrópodos

Tabla 2. 8 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<p style="text-align: center;"><b>Género</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Característica</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Gnamptogenys</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Neoponera</i>L</p>
<p><b>Otras características</b></p>	<p>-Crípticas (se ocultan en el hábitat)</p> <p>- Género muy recolectado dado su gran abundancia y diversidad</p>	<p>-Crípticas</p> <p>-Adaptación a la vida arbórea de ciertas especies</p>
<p><b>Bibliografía</b></p>	<p>Feitosa &amp; Prada-Achiardi (2019), Fernández (2013), Fernández et al. (2019), Lattke (1990), Lattke (1995), Lattke et al. (2007)</p>	<p>Bolton (1995), Fernández et al. (2019), Fernández &amp; Guerreo (2019), Lattke et al. (2007), Leal &amp; Oliveira (1995), Orivel &amp; Dejean (2001), Wild (2002)</p>

Tabla 2. 9 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b>	<i>Pheidole</i>	<i>Solenopsis</i>
<b>Característica</b>		
<b>Subfamilia</b>	Myrmicinae	Myrmicinae
<b>Distribución geográfica de la mayoría de especies</b>	Continente americano	Sudamérica
<b>Número aproximado de especies en todo el mundo</b>	700	280
<b>Número aproximado de especies en la región Neotropical</b>	500	117
<b>Número aproximado de especies en el Bosque Otongachi</b>	120	22
<b>Tamaño promedio de las hormigas</b>	Variable: obreras menores (pequeñas) y obreras mayores (grandes)	Hormigas de fuego: grandes; hormigas ladronas: pequeñas



Tabla 2. 10 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<p style="text-align: center;"><b>Género</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Característica</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Pheidole</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Solenopsis</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>Hábitats de preferencia</b></p>	<p style="text-align: center;">Hábitats tropicales y templados con clima cálido</p>	<p style="text-align: center;">Regiones cálidas o áridas; áreas perturbadas (p.ej., cultivos agrícolas)</p> <p style="text-align: center;">- Nidos con una o varias reinas</p>
<p style="text-align: center;"><b>Nidos</b></p>	<p style="text-align: center;">En la hojarasca, suelo y vegetación</p>	<p style="text-align: center;">-Hormigas de fuego: suelo y hojarasca; hormigas ladronas: bajo el suelo (subterráneas)</p>
<p style="text-align: center;"><b>Colonias</b></p>	<p style="text-align: center;">-Grandes (cientos de miles de obreras)</p> <p style="text-align: center;">-Obreras menores buscan alimento, y obreras mayores defienden a la colonia y procesan los alimentos</p>	<p style="text-align: center;">Hormigas de fuego: grandes; hormigas ladronas: pequeñas</p>

Tabla 2. 11 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<p style="text-align: center;"><b>Género</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Característica</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Pheidole</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Solenopsis</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>Alimentación</b></p>	<p>Recolectoras. Se alimentan de artrópodos muerto o vivos, semillas, vegetación y cultivos</p>	<p>Variada: depredadoras, fitófagas, fungívoras u omnívoras</p> <p>-Identificación compleja dado su diversidad taxonómica</p>
<p style="text-align: center;"><b>Otras características</b></p>	<p>Género hiperdiverso: gran diversidad y abundancia en todos los biomas del mundo (excepto Antártida)</p>	<p>-Crípticas</p> <p>-Hormigas de fuego con comportamientos agresivos; hormigas ladronas que saquean recursos (alimentos o crías) de otros nidos</p>

Tabla 2. 12 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b> <b>Característica</b>	<i>Pheidole</i>	<i>Solenopsis</i>
<b>Bibliografía</b>	Economo et al. (2015), Fernández et al. (2019), Fernández et al. (2021), Fernández & Serna (2019), Fowler (1994), Moreau (2008), Sarnat et al. (2015), Vásquez-Franco & Morrone (2021), Wilson (2003), Wilson (2003), Zara & Fowler (2005)	Fernández et al. (2019), Fernández et al. (2021), Fernández & Serna (2019), Fundación Charles Darwin (2023), Pacheco & Mackay (2013), Pitts et al. (2018), Thompson (1989)

Tabla 2. 13 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b>	<i>Cyphomyrmex</i>	<i>Hypoponera</i>
<b>Característica</b>		
<b>Subfamilia</b>	Myrmicinae	Ponerinae
<b>Distribución geográfica de la mayoría de especies</b>	Sudamérica	Regiones tropicales y subtropicales del hemisferio sur
<b>Número aproximado de especies en todo el mundo</b>	23	170
<b>Número aproximado de especies en la región Neotropical</b>	23	42
<b>Número aproximado de especies en el Bosque Otongachi</b>	17	15
<b>Tamaño promedio de las hormigas</b>	Pequeñas	Pequeñas y homogéneas (menos de 4 mm de longitud)

Tabla 2. 14 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

Género Característica	<i>Cyphomyrmex</i>	<i>Hypoponera</i>
<b>Hábitats de preferencia</b>	Ambientes húmedos o áridos	Bosques húmedos, praderas abiertas y terrenos perturbados
<b>Nidos</b>	En el suelo, hojarasca, troncos en descomposición, ramas muertas, o bajo arcilla, humus o musgo	En la hojarasca, suelo, ramas de árboles o en madera en descomposición
<b>Colonias</b>	Pequeñas (no exceden las 500 obreras)	Conformado por hembras obreras y machos, ambos con alas
<b>Alimentación</b>	Cultivo de hongos en forma de levaduras	Depredadoras de colémbolos o termitas

Tabla 2. 15 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<p style="text-align: center;"><b>Género</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Característica</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Cyphomyrmex</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Hypoponera</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>Otras características</b></p>	<p>-Género estrictamente neotropical</p> <p>-Habitan lugares con condiciones climática estables</p>	<p>-Género más recolectado a nivel mundial.</p> <p>- Caracteres muy similares a otros géneros de la misma subfamilia: <i>Cryptopone</i>, <i>Pachycondyla</i> y <i>Ponera</i></p> <p>- Criptobióticas</p>
<p style="text-align: center;"><b>Bibliografía</b></p>	<p>AntWeb (2023), Fernández et al. (2019), Fernández &amp; Serna (2019), Kusnezov (1949), Mackay &amp; Serna (2010), Snelling &amp; Longino (1992), Weber (1955)</p>	<p>Dash (2011), Dash &amp; Mackay (2019), Dejean et al. (1996), Fernández et al. (2019, 2021), Schmidt (2009), Taylor (1967), Toro Rivadeneira &amp; González Recio (2017)</p>

Tabla 2. 16 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b>	<i>Octostruma</i>	<i>Strumigenys</i>
<b>Característica</b>		
<b>Subfamilia</b>	Myrmicinae	Myrmicinae
<b>Distribución geográfica de la mayoría de especies</b>	Región Neotropical	Regiones tropicales y subtropicales
<b>Número aproximado de especies en todo el mundo</b>	35	850
<b>Número aproximado de especies en la región Neotropical</b>	34	182
<b>Número aproximado de especies en el Bosque Otongachi</b>	10	74
<b>Tamaño promedio de las hormigas</b>	Pequeñas	Pequeñas

Tabla 2. 17 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b>  <b>Característica</b>	<i>Octostruma</i>	<i>Strumigenys</i>
<b>Hábitats de preferencia</b>	Bosques húmedos y lluviosos	Bosques húmedos
<b>Nidos</b>	Sobre la hojarasca, suelo, madera podrida, plantas epífitas o en conchas de caracoles	En la hojarasca, suelo, troncos de madera descompuestos o rocas de bosques caducifolios
<b>Colonias</b>	-Pequeñas -Conformadas por obreras y una o más ginas desaladas	Pequeñas
<b>Alimentación</b>	Caza de artrópodos pequeños: arañas, sínfilos y colémbolos	Cazan colémbolos, ácaros, termitas y larvas



Tabla 2. 18 Características taxonómicas y ecológicas de los géneros de hormigas considerados en este estudio  
(Continuación)

<b>Género</b>	<i>Octostruma</i>	<i>Strumigenys</i>
<b>Característica</b>		
<b>Otras características</b>	-Hábitos criptobióticos y otras estrategias de defensa para evitar ser comidos por depredadores	-Género hiperdiverso  -Crípticas  -Mandíbulas y hábitos especializados de depredación
<b>Bibliografía</b>	AntWeb (2023), Fernández et al. (2019), Fernández & Serna (2019), Longino (2013), Palacio (1997), Probst & Brandão (2022)	Booher (2019), Booher (2021), Cuezco (1999), Fernández et al. (2019), Fernández & Serna (2019), Pérez-Pedraza & Fernández (2019), Sosa-Calvo et al. (2006)

*Neoponera* (en el sentido antiguo o Latto) se redujo aquí como el género *NeoponeraL*, e incluye los actuales géneros *Neoponera* y *Pachycondyla*.

Elaboración: la autora

## **2.6. Hormigas como herramienta para el monitoreo y conservación**

El monitoreo es una “herramienta fundamental para proveer a mediano y largo plazo información referente al comportamiento de variables físicas, químicas o biológicas” (Armbrecht et al., 2019, p.191). Las hormigas han sido consideradas muy útiles para el monitoreo de las condiciones ambientales de los ecosistemas (Armbrecht et al., 2019; Leeanne & Lloyd, 2011) debido a su gran abundancia, alta diversidad y alto nivel de especialización de las especies (Majer, 1983). Las hormigas también son utilizadas para el monitoreo dado la gran sensibilidad para informar cambios de manera inmediata, por su muestreo e identificación sencillos, y por el corto tiempo de regeneración de las especies (Noss, 1990). Según Alonso (2000) y Holt & Miller (2011), el ser humano ha impulsado el uso de hormigas para el monitoreo y conservación, dado que está percibiendo la pérdida de servicios ecosistémicos, como agua y aire limpio, y ciertos cambios en los niveles de polinización de las plantas (Alonso, 2000; E. A. Holt & Miller, 2011).

También se ha utilizado a las hormigas para monitorear cambios en hábitats que han sido perturbados (Read, 1996). Esto ha facilitado de información para la conservación de especies que están siendo amenazadas (Villalba et al., 2011), principalmente por la deforestación, urbanización y contaminación (Armbrecht et al., 2019). Adicionalmente, una limitación del uso de hormigas para el monitoreo y conservación es el desconocimiento sobre la ecología de una minoría de especies poco comunes y sobre su sensibilidad de respuesta ante cambios que puedan ocurrir en el ambiente (Read & Andersen, 2000).

## **2.7. Hipótesis**

En el presente estudio se pronostica la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi al corto plazo, utilizando datos de abundancia registrados por trampas pitfall y winkler durante el periodo 2003-2020. Considerando el aumento de estudios empíricos que reportan la disminución en abundancia de insectos en distintas partes de la Tierra, se podría suponer que

la abundancia de cada género de hormigas de este estudio disminuirá en el futuro. En caso de que la abundancia pronosticada de hormigas no disminuya, esta probablemente aumentará o se mantendrá constante en el tiempo. Los posibles cambios en abundancia de hormigas podrían ser explicados por diferencias taxonómicas o ecológicas que caracterizan a cada uno de los géneros estudiados, o posiblemente por factores climáticos o antropogénicos.

Por tanto, la hipótesis que se analiza en este estudio es:

La abundancia de hormigas del Bosque Otongachi disminuye al corto plazo.

## Capítulo 3

### 3. Datos y metodología

En este capítulo se describe en primer lugar el área de estudio. Seguidamente se explica sobre el muestreo de hormigas en el campo. Luego se detalla sobre la base de datos de abundancia de hormigas. Posteriormente, se presenta la estadística descriptiva de las series de tiempo de abundancia que pertenecen a cada género de hormigas. Por último, se describe el análisis para seleccionar entre varios modelos econométricos de series temporales, el más indicado para realizar los pronósticos de abundancia de hormigas, y seguidamente se explica dicho modelo con más detalle.

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El Bosque Otongachi es un bosque húmedo premontano secundario localizado en la parte occidental de los Andes ecuatorianos (Cañadas Cruz, 1983). Otongachi se ubica en la parte baja de la Reserva Integral Otonga y se encuentra a 3 km de distancia del pueblo Unión del Toachi (00°19'S, 78°57'O) (Guevara & Guevara, 2005). Etimológicamente, “Otongachi” se deriva de la unión de dos palabras, “Otonga”, el cual hace referencia a una lombriz que habita en dicho territorio y “Toachi”, un río cercano a la reserva (Fundación Otonga, 2020b). La Reserva Integral Otonga cuenta con aproximadamente 1 620 hectáreas, las cuales han sido adquiridas paulatinamente a través de distintas donaciones que se suman a los esfuerzos de conservación del bosque y de la diversidad de flora y fauna contenida en este (Parks, 2004). Además, desde sus inicios, la Fundación Otonga se ha encargado de la administración y protección de la Reserva Integral Otonga y, con ello, también del Bosque Otongachi (Fundación Otonga, 2020a).

En la Reserva Integral Otonga existen únicamente dos estaciones. La estación lluviosa, que dura desde diciembre hasta mayo, y la estación seca, que inicia en junio y finaliza en noviembre (Bioforest, 2000). Respecto al clima del Bosque Otongachi, la temperatura promedio anual oscila entre los 18 y 24 °C y, las precipitaciones anuales varían entre 1 000 y 2 000 mm (Jaramillo, 2001). Además, el clima tropical de Otongachi determinan las

especies animales y vegetales que habitan en el bosque, y que influyen sobre su biodiversidad. Dicha diversidad de flora y fauna tiene un relevante valor científico, ya que, en ciertos casos, se tratan de especies que están desapareciendo, endémicas o especies que aún no han sido identificadas por la ciencia (Bioforest, 2000).

En la Figura 3.1 se presenta el mapa de la Reserva Integral Otonga y del Bosque Otongachi.

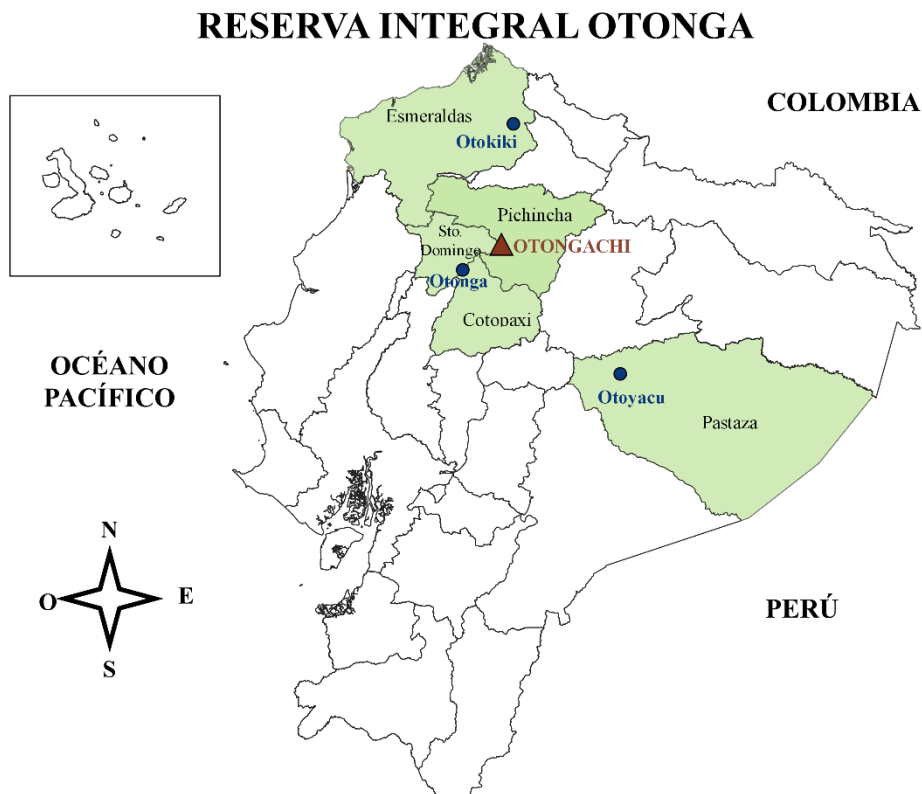


Figura 3. 1 Mapa de la Reserva Integral Otonga y del Bosque Otongachi

La Reserva Integral Otonga está conformada por cuatro sectores: el Bosque Otongachi ubicado en la provincia de Pichincha (20 ha), Otonga situado en las provincias de Cotopaxi y Santo Domingo (1 500 ha), Otokiki ubicado en Esmeraldas (60 ha) y Otoyacu que ocupa la provincia de Pastaza (40 ha). En verde se colorean las provincias que ocupa la reserva. El lugar de estudio corresponde únicamente al Bosque Otongachi.

Fuente: Arcos Argoti (2011)

Elaboracion: la autora

Sobre la fauna, en el Bosque Otongachi existen diversas especies de mamíferos, aves, anfibios, reptiles e insectos. Según Bioforest (2000), existen cerca de 50 especies de mamíferos que habitan el bosque, entre estas *Dynomis branickii* (pacarana), *Dasyprocta punctata* (guatusa), *Coendou* (puercoespín), *Caenolestes* sp. (ratón marsupial), *Molossus ater* (murciélago), *Tremarctos ornatus* (oso de anteojos), *Oncifelis colocolo* (gato de los pajonales) y *Felis tigrina* (gato tigre). Además, se han encontrado más de 200 especies de aves, entre ellas *Coeligena wilsoni* y *C. torquata* (colibríes), *Piculus rivolii* y *Veniliornis fumigatus* (carpinteros), *Streptoprocne zonaris* (golondrina cóndor) y *Andigena laminirostris* (tucán andino). Asimismo, se han localizado insectos de gran tamaño como los *Dynastes hercules* y *Dynastes neptunus*. De la fauna que habita en el bosque, ciertas especies como la *Dasyprocta punctata* (guatusa) se encuentran en peligro de extinción. La amenaza de esta y de otras especies se atribuye principalmente a actividades humanas, como la deforestación y caza, realizadas sobre el hábitat (Bioforest, 2000).

Sobre la flora del bosque, se han determinado al menos 600 especies de plantas. Entre estas especies se encuentran: *Croton suribus* (sangre de drago), *Cedrela odorata* (cedro español), y géneros como la *Heliconia*, *Anthurium*, *Philodendron*, *Psammisia*, *Acalipha*, *Persea*, *Miconia*, *Ficus*, *Peperonia* y *Solanum* (Parks, 2004). La hojarasca que cubre el suelo del Bosque Otongachi se caracteriza por ser bastante desarrollada (Donoso & Ramón, 2009). Adicionalmente, en 1999 mediante la gestión de la Fundación Otonga, se concretó la construcción de una estación científica ubicada en el límite de la provincia de Pichincha y de Cotopaxi, al igual que la construcción de un vivero que contiene alrededor de 20 000 plantas nativas. Estas especies vegetales han desempeñado un rol muy importante ya que han sido utilizadas para reforestar zonas internas y externas cercanas a la reserva (Bioforest, 2000).

### **3.2. Muestreo de hormigas en el campo**

La abundancia de hormigas se muestreó en nueve ocasiones durante el periodo de estudio, específicamente en los siguientes años: 2003, 2006, 2008, 2009, 2011, 2013, 2015, 2019 y 2020. El muestreo de cada año se efectuó siguiendo el *Protocolo ALL*, que corresponde a las

siglas en inglés de *Ants of the Leaf Litter Protocol*. Este protocolo permite estandarizar el proceso de recolección de hormigas y hace posible la comparación de información, independientemente del investigador, del hábitat y de la época del año en la que se investiga (Agosti & Alonso, 2003). De hecho, el origen del Protocolo ALL se debe a que previamente se realizaron ciertos estudios usando otros procedimientos, bajo diferentes condiciones y en diversas partes de mundo. Sin embargo, en ventaja de los estudios que no utilizan el Protocolo ALL, las investigaciones que sí lo emplean pasan de ser considerados como estudios aislados a casos generalizables a un contexto global más amplio, en conjunto con el resto de estudios que también emplean este protocolo (Agosti & Alonso, 2000).

Se muestreó un transecto para cada año de estudio. Según el Protocolo ALL, un transecto constituye una superficie de 200 metros de longitud que se divide en 20 puntos de muestreo y que se encuentran separados por diez metros entre sí. En cada punto de recolección se colocó una trampa pitfall por 48 horas y se tomó una muestra de hojarasca del suelo, la cual permaneció en el saco winkler durante el mismo tiempo (Agosti & Alonso, 2003). Se realizó este proceso considerando que Agosti & Alonso (2000) determinaron que más del 70% de la fauna de hormigas logra ser capturado mediante las 20 trampas pitfall y 20 trampas winkler colocadas a lo largo del transecto. Siguiendo el Protocolo ALL, se recurrieron a estos tipos de trampas, debido a los diferentes hábitos de vida que pueden adoptar las hormigas (Sarmiento-M, 2003). Asimismo, considerando las características del hábitat y de la hojarasca del Bosque Otongachi, Donoso & Ramón (2009) también sugieren el uso de ambos tipos de trampas.

Adicionalmente, la principal dificultad del muestreo de hormigas consiste en la difícil medición de la variable abundancia. Según Rojas Fernández (2001), determinar la abundancia real de hormigas no es sencillo porque “la mayoría de los individuos de una colonia permanece dentro del nido y los que salen a forrajear lo hacen en intervalos de tiempo limitados” (p.197). Además, Salazar-Buenaño & Donoso (2019) mencionaron que el estudio y muestreo de los insectos se dificulta debido a su gran abundancia y diversidad, pero también por la falta de taxónomos que puedan procesar e identificar el material colectado.

A continuación, en la Tabla 3.1 se describen los métodos de recolección de hormigas.

Tabla 3. 1 Métodos de recolección de hormigas

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
<b>Trampa pitfall</b>	Recipiente internamente liso que se llena con alcohol etílico. La trampa se entierra a nivel del suelo para que las hormigas caigan y queden atrapadas.
<b>Saco winkler</b>	Embudo en el que se coloca una muestra de suelo o de hojarasca para que los insectos caigan. Una vez cernida la muestra, los insectos caen en el frasco inferior de la trampa que está lleno con alcohol etílico.

Fuente: Sarmiento-M (2003)

Elaboración: la autora

Comparando ambos métodos de recolección, las trampas pitfall capturan hormigas que buscan alimento tanto sobre el suelo como en la hojarasca. Por esta razón, la abundancia de trampas pitfall considera los hábitos de forrajeo de las hormigas y los patrones de dispersión de las comunidades (Greenslade, 1973). Por el contrario, las trampas winkler se utilizan en ambientes más boscosos para capturar hormigas que anidan bajo capas de hojarasca de mayor volumen. Adicionalmente, el uso de trampas winkler se restringe durante épocas secas, debido a que en esos periodos, las hormigas trasladan sus nidos de la hojarasca seca hacia la vegetación, o a lugares más húmedos y profundos del suelo (Bestelmeyer et al., 2000).

Además, Donoso & Ramón (2009), en su estudio sobre la comunidad de hormigas del Bosque Otongachi, concluyeron que los sacos winkler son más eficientes que las trampas pitfall. Dicho resultado se basó en que los sacos winkler recolectaron un mayor número de especies e individuos en comparación con las trampas pitfall. Asimismo, en dicho estudio, los autores comprobaron la hipótesis planteada en un inicio por Parr & Chown (2001), de que las trampas



pitfall capturan hormigas más grandes, de patas más largas y con mayor movilidad, en comparación con los sacos winkler que capturan especies más pequeñas y de menor movilidad. Por lo tanto, las diferencias morfológicas que existen entre las distintas especies de hormigas constituyen otro motivo por el que se debe emplear más de un método de captura de hormigas, además de que con ello, también se logra reducir el sesgo de muestreo (Donoso & Ramón, 2009).

### **3.3. Base de datos**

#### **3.3.1. Construcción de la base de datos**

Mediante el Protocolo ALL se realizaron otros procesos previos a la obtención de los datos de abundancia. Siguiendo este protocolo se realizó el etiquetado y tratamiento de las muestras de campo y de laboratorio, e identificación de las morfoespecies. Para la construcción de la base de datos, la identificación y el registro de la abundancia de los individuos de cada especie se realizaron mediante claves taxonómicas. Además, los especímenes que no lograron ser identificados fueron almacenados dentro del Museo de Historia Natural “Gustavo Orcés V.”, ubicado en la Escuela Politécnica Nacional (Donoso & Ramón, 2009).

#### **3.3.2. Datos de abundancia de hormigas**

En este estudio, la abundancia de una especie se define como el número de individuos de dicha especie que existen por unidad de muestreo (trampas pitfall y winkler) en el hábitat (Hamilton Wright, 1991).

Los datos sobre abundancia hormigas fueron recopilados por David Donoso, miembro del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la Escuela Politécnica Nacional. La base contiene datos a nivel de especie sobre la abundancia de hormigas registrada por trampas pitfall y winkler durante el periodo 2003-2020. A pesar de que la base de datos contenía la abundancia para 69 géneros de hormigas, se seleccionaron únicamente los ocho géneros más abundantes. Debido a que el presente estudio se realiza a nivel de género, se agrupó la abundancia de las especies que pertenecen a un mismo género, para cada año y para cada tipo de trampa, esto para los siguientes géneros seleccionados: *Gnamptogenys*, *Neoponera*

(en el sentido antiguo o Latto, y que incluye los actuales géneros *Neoponera* y *Pachycondyla*, reducido aquí como *NeoponeraL*), *Pheidole*, *Solenopsis*, *Cyphomyrmex*, *Hypoconera*, *Octostruma* y *Strumigenys*.

En orden de mayor a menor abundancia total registrada por trampas pitfall y winkler durante 2003-2020, los géneros estudiados se sitúan de la siguiente forma: *Solenopsis* (6 276 hormigas), *Pheidole* (3 248), *Gnamptogenys* (1 085), *Hypoconera* (1 027), *Octostruma* (992), *Strumigenys* (755), *Cyphomyrmex* (719) y *NeoponeraL* (376). En la Tabla 3.2 se detallan las especies de hormigas que pertenecen a cada género estudiado.

Tabla 3. 2 Especies de hormigas agrupadas dentro de los diferentes géneros estudiados

<b>Género</b>	<b>Especies agrupadas</b>
<i>Gnamptogenys</i>	ACZ3581, anulata, bisulca, botinua, EC002, ECO003, EC004, EC03, fernandesi, horni, minuta, perpica, perspicax, tornata, vriesi, sp (especie no identificada).
<i>NeoponeraL</i>	spicalis, carinatula, carinulata, chyzeri, emiliae, unidentata, verenae, crassinoda, harpax, impressa, sp.
<i>Pheidole</i>	ACZ3334, astor, EC001, EC002, EC003, EC004, EC005, EC006, EC007, EC008, EC009, EC010, EC012, EC013, EC015, EC016, EC017, EC018, EC02, EC020, EC021, EC04, EC05, EC06, EC07, EC08, EC10, EC16, EC17, EC18, EC20, EC21 EC26, EC27, onyx, sp, sp26, sp27.
<i>Solenopsis</i>	black, EC001, EC002, EC003, EC004, EC005, EC007, EC008, EC009, large-Invicta, otoyelow, sp, sp1, sp2, sp3, sp4, subterránea
<i>Cyphomyrmex</i>	ABU9022, ACZ4807, ADC7886, black, EC001, EC002, EC003, EC004, EC01

Tabla 3. 3 Especies de hormigas agrupadas dentro de los diferentes géneros estudiados

<b>Género</b>	<b>Especies agrupadas</b>
<i>Hypoponera</i>	AAP3371, ADG8682 parva, ADH2574, distinguenda, EC001, EC002, EC003, EC004, EC005, EC007, EC008, EC03, ECO6, EC07, sp.
<i>Strumigenys</i>	EC003, EC004, EC007, EC008, EC009, EC010, EC011, EC013, EC014, EC03, EC04, EC05, EC05 lalassa, EC11, gundlachi, lalassa, spathula, villiesi, sp.
<i>Octostruma</i>	EC001, EC002, EC01, EC02.

Elaboración: la autora

### **3.4. Estadística descriptiva**

Las Figuras 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 corresponden a las gráficas de las series de tiempo de abundancia de los ocho géneros de hormigas estudiados. Para cada género, una observación de abundancia de hormigas corresponde a la suma de todas las hormigas de ese género colectadas en un mismo año con una determinada trampa (pitfall o winkler). En los Anexos 1 y 2 se muestra que cada serie de tiempo de abundancia de hormigas es estacionaria, esto tras analizar las funciones de autocorrelación simple (FAS) y parcial (FAP), y mediante la prueba de no estacionariedad de Dickey Fuller Aumentada. Dicha estacionariedad de las series de tiempo significa que, a pesar de que la abundancia de hormigas varía durante los años estudio, dichos cambios oscilan alrededor de la media.

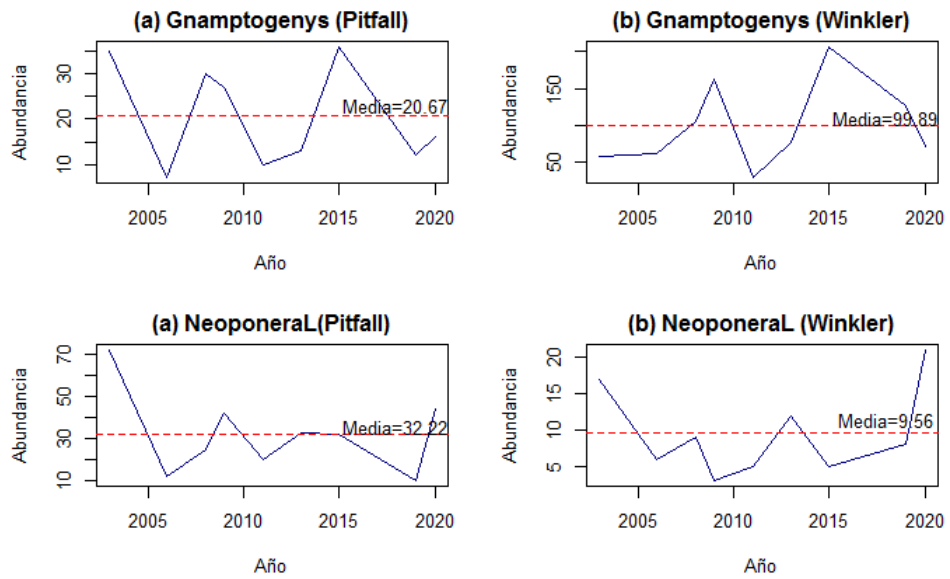


Figura 3. 2 Abundancia de *Gnampotogenys* y *NeoponeraL* durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia de trampas pitfall y en (b) la abundancia de trampas winkler. Se incluyen líneas rojas de promedio.

Elaboración: la autora

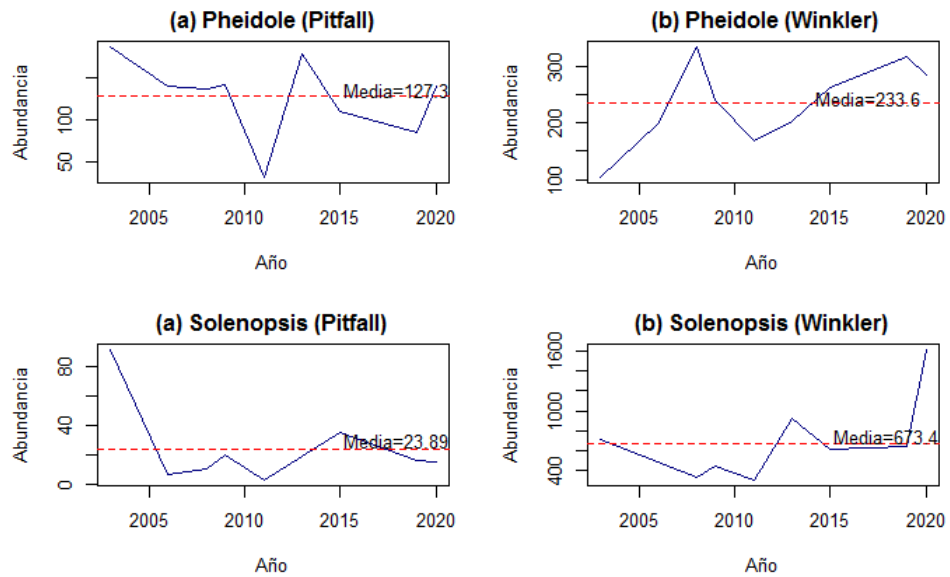


Figura 3. 3 Abundancia de *Pheidole* y *Solenopsis* durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia de trampas pitfall y en (b) la abundancia de trampas winkler. Se incluyen líneas rojas de promedio.

Elaboración: la autora

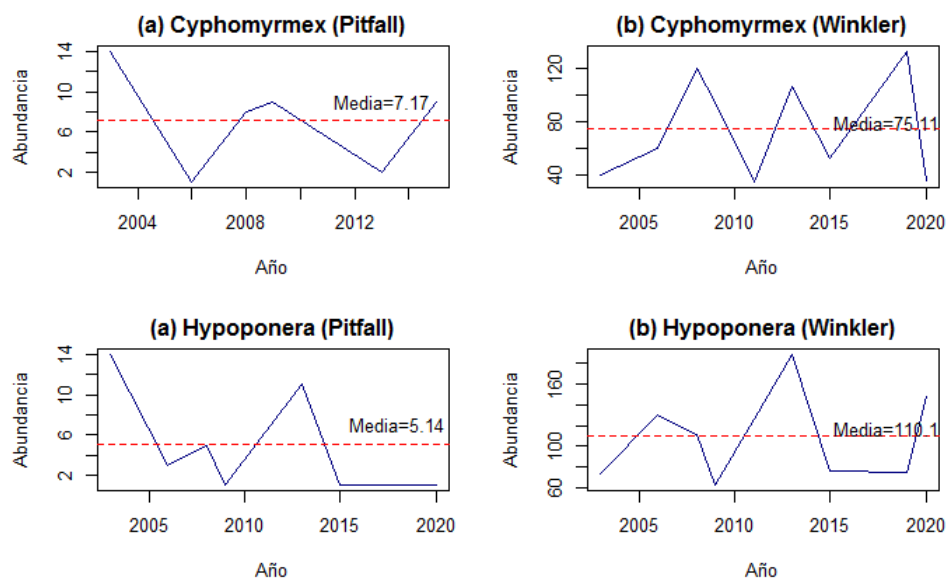


Figura 3. 4 Abundancia de *Cyphomyrmex* e *Hypoponera* durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia de trampas pitfall y en (b) la abundancia de trampas winkler.

Se incluyen líneas rojas de promedio.

Elaboración: la autora

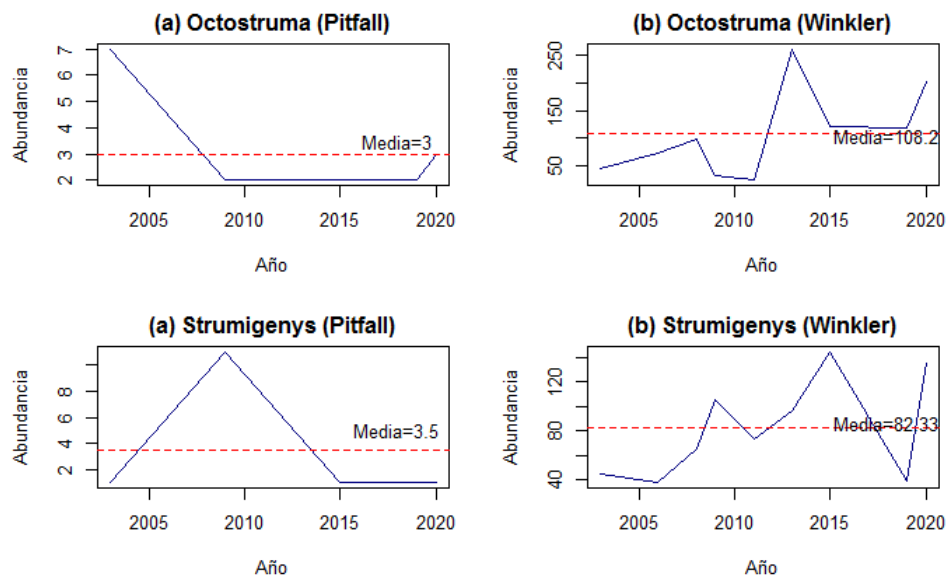


Figura 3. 5 Abundancia de *Octostruma* y *Strumigenys* durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia de trampas pitfall y en (b) la abundancia de trampas winkler. Se incluyen líneas rojas de promedio.

Elaboración: la autora

De los ocho géneros de hormigas en cuestión, *Pheidole* alcanzó la mayor abundancia promedio registrada por trampas pitfall, con 127.30 hormigas recolectadas, mientras que, *Solenopsis* constituye el género con mayor abundancia promedio registrada por trampas winkler, con 673.40 hormigas. Por otro lado, el género *Octostruma* presentó la menor abundancia promedio de trampas pitfall, con tres hormigas recolectadas, mientras que, *NeoponeraL* representa el género con menor abundancia promedio registrada por trampas winkler, con 9.56 hormigas.

Al comparar la abundancia promedio recolectada por trampas pitfall y la alcanzada por trampas winkler para cada género, se cumple que las trampas winkler recolectan un mayor número de hormigas en comparación a las trampas pitfall, tal como concluyeron Donoso y Ramon (2009). Puntualizando al respecto, las trampas winkler del género *Gnamptogenys* registran una abundancia promedio cinco veces mayor a la de pitfall, para el género *Pheidole* una abundancia dos veces mayor, para *Solenopsis* 28 veces mayor, *Cyphomyrmex* 10 veces mayor, *Hypoponera* 21 veces mayor, *Octostruma* 36 veces mayor y *Strumigenys*, una abundancia promedio recolectada por trampas winkler 24 veces mayor a la recolectada por trampas pitfall. No obstante, el género *NeoponeraL* es la excepción, es decir que, para este género, la abundancia promedio recolectada por trampas winkler es menor a la abundancia promedio de trampas pitfall. De hecho, la abundancia promedio de trampas winkler para este género representa un tercio de la abundancia promedio registrada por trampas pitfall.

Asimismo, de los ocho géneros de hormigas, la abundancia máxima de trampas pitfall corresponde al género *Pheidole*, con 187 hormigas recolectadas en 2003. Respecto a las trampas winkler, *Solenopsis* es el género que alcanzó el pico de abundancia máxima con 1 622 hormigas en 2020. Respecto a la abundancia mínima alcanzada por trampas pitfall, los géneros *Cyphomyrmex*, *Hypoponera* y *Strumigenys* cuentan con una única hormiga recolectada en varios años, mientras que en las trampas winkler, *NeoponeraL* alcanzó el pico de menor abundancia, con tres hormigas recolectadas en 2009.

Adicionalmente, considerando que la desviación estándar es una medida de dispersión de los datos (Wooldridge, 2009) y que las series de tiempo de los ocho géneros son estacionarias,

la desviación estándar que se presenta en el Anexo 3, es constante. En consecuencia, la variabilidad de la abundancia respecto a la abundancia promedio, es estable en el tiempo (Villavicencio, 2010). Finalmente, en el Anexo 4 se describe con mayor detalle el comportamiento de las series para los ocho géneros de hormigas y, en el Anexo 5 se presenta el análisis de tendencia para cada serie, el cual revela que los datos de abundancia muestran una tendencia constante.

### **3.5. Metodología**

En primera instancia, para realizar el pronóstico de la abundancia, se partió de la metodología de Box Jenkins para series de tiempo univariadas. Se utilizó esta metodología debido a que se cuenta con los datos cronológicos de la abundancia de hormigas durante el periodo 2003-2020. Además, autores como Bigger (1993) y Whigham & Recknagel (2001) recomiendan el uso de metodologías de series de tiempo para modelizar con éxito sistemas naturales. Sin embargo, con base en el análisis de las funciones de autocorrelación que se detalla en los Anexos 1 y 2, no fue posible especificar un modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA) que se ajuste a los datos de abundancia disponibles. Esta metodología sugiere especificaciones de ruido blanco para las series de tiempo de todos los géneros, tal como se muestra en los Anexos 6 y 7. El hecho de que los datos de abundancia no se ajusten a un proceso autorregresivo, quiere decir que la abundancia actual de las hormigas no puede ser explicada por los datos de abundancia pasada (Villavicencio, 2010).

Tras descartar el uso de la metodología de Box Jenkins para modelizar las series de tiempo de este estudio, Blekh (2020) sugiere un segundo enfoque que consiste en el uso de modelos no lineales. Asimismo, Drepper et al. (1994) también sostienen que los modelos no lineales permiten modelizar fluctuaciones de fenómenos biológicos y ecológicos que los modelos ARIMA tradicionales no capturan. De tal forma, como se muestra en el Anexo 8, se procedió a probar la no linealidad de los datos de abundancia mediante las pruebas de Keenan y de Tsay. Dichas pruebas indican que las series de tiempo son lineales, por lo tanto, también se descarta el uso de una metodología de modelado no lineal.

Al modelizar series de tiempo cortas se requiere tener cierto cuidado. Según Tuan (1983), dado que la mayoría de técnicas de series temporales son asintóticas, suelen proporcionar un buen desempeño para series de tiempo largas, sin embargo, para series de tiempo cortas suele ocurrir lo contrario, por lo que, para modelizar series con pocas observaciones se necesitan considerar supuestos más estrictos. Por ello, según Tim (2017), la metodología que se utilice debe garantizar una acertada estimación de los errores y considerar la variabilidad asociada al pronóstico. De tal manera, la metodología más apropiada para explicar el comportamiento de la abundancia de hormigas es el suavizado exponencial simple (SES), ya que según Gardner (1985), esta es una técnica muy útil una vez que los datos descartan el uso modelos de serie de tiempo más sofisticados (como los modelos ARIMA) y que funciona adecuadamente con series de tiempo que tienen pocas observaciones (Betancourt, 2016). Además, SES es una técnica que se ha utilizado para modelizar procesos biológicos y ecológicos (Abrami et al., 2017) ,y según Montgomery et al. (1990) permite llegar a pronósticos de corto plazo con buena precisión.

A continuación, se describe la metodología de suavizado exponencial simple.

### **3.5.1. Metodología de Suavizado exponencial simple (SES)**

El origen del suavizado exponencial se remonta a la década de 1950 y es atribuido a Robert Brown y Charles Holt, quienes en sus inicios desarrollaron esta metodología para ser aplicada en sistemas de control de inventario (Brown & Meyer, 1961; Holt, 2004). El suavizado exponencial simple es un método de pronóstico incondicional que emplea modelos autoproyectivos, y que se utiliza cuando no existe estacionalidad y cuando los datos muestran una tendencia constante (Santiago de la Fuente Fernández, 2011). Esta técnica toma como base el promedio móvil ponderado de los periodos pasados para realizar los pronósticos (Ostertagová & Ostertag, 2012).

Para comprender sobre el modelo de suavizado exponencial simple es necesario formular matemáticamente ciertos aspectos relacionados con: pronóstico, constante de suavizado, error porcentual absoluto medio e intervalos de confianza, y también analizar los gráficos que resultan de cada pronóstico. Estos aspectos se explican con detalle a continuación.



### 3.5.1.1. Pronóstico

Según Ostertagová & Ostertag (2011), la ecuación de pronóstico de suavizado exponencial simple se representa de la siguiente forma:

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) F_t \quad (1)$$

Donde:

$Y_t$ : valor de la serie observada en el momento  $t$ .

$F_t$ : valor pronosticado de la variable  $Y$  en el momento  $t$ .

$F_{t+1}$ : valor pronosticado en el momento  $t + 1$ .

$\alpha$ : constante de suavizado,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

En la ecuación (1) se observa que el pronóstico del siguiente periodo depende del valor de la observación más reciente ponderada por la constante de suavizado ( $\alpha$ ) y del pronóstico más reciente ponderado por el peso ( $1 - \alpha$ ). Ahora, reescribiendo la ecuación (1), se tiene:

$$F_{t+1} - F_t = \alpha (Y_t - F_t) \quad (2)$$

En la ecuación (2) se muestra que el cambio en el valor del pronóstico es proporcional al error y por tanto se cumple que:

$$F_{t+1} = F_t + \alpha e_t \quad (3)$$

Donde,  $e_t = Y_t - F_t$  es el error de pronóstico en el momento  $t$ .

La ecuación (3) exhibe la naturaleza recursiva del modelo de suavizado exponencial simple. Esta ecuación expresa que el pronóstico de suavizamiento es igual al pronóstico del periodo anterior más un ajuste por el error ocurrido en ese último periodo.

Para iniciar el proceso recursivo se puede partir del supuesto de que, el pronóstico inicial es el valor de la primera observación de la serie de tiempo observada, es decir,  $F_1=Y_1$ , o a su vez, que dicho valor de pronóstico inicial es igual a la media de las primeras observaciones de la serie de tiempo.

Considerando el supuesto  $F_1=Y_1$ , se obtiene iterativamente:

$$F_1 = Y_1 \quad (4)$$

$$F_2 = \alpha Y_1 + (1 - \alpha) F_1 = Y_1 \quad (5)$$

$$F_3 = \alpha Y_2 + (1 - \alpha) F_2 \quad (6)$$

$$F_3 = \alpha Y_2 + (1 - \alpha) Y_1 \quad (7)$$

$$F_3 = \alpha Y_2 + \alpha(1 - \alpha) Y_1 + \alpha(1 - \alpha)^2 Y_1, \dots, F_N \quad (8)$$

De tal forma, la ecuación general del pronóstico se puede expresar como:

$$F_{t+1} = \alpha \sum_{k=0}^{t-1} (1 - \alpha)^k Y_{t-k} + (1 - \alpha)^t Y_1, t, k \in \mathbb{N} \quad (9)$$

Donde,  $F_{t+1}$  es el valor pronosticado (suavizado) de la variable  $Y$  en el momento  $t + 1$ , dado que se conocen los valores observados (reales) y pasados de la serie  $Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}$ , y así sucesivamente hasta el primer valor conocido  $Y_1$ .

Además, tomando en cuenta que se parte de series de tiempo con media constante, el valor del último suavizado será el pronóstico para el resto de periodos futuros a predecir, es decir:

$$\hat{Y}_{N+m} = F_N, m = 1, 2, 3 \quad (10)$$

Donde:

$\hat{Y}_{N+m}$ : pronóstico para el periodo futuro  $N + m$ .

$F_N$ : último valor suavizado de la serie observada.

$N$ : número de observaciones de la serie observada.

$m$ : número de periodos hacia adelante para los que se realiza el pronóstico.

Adicionalmente, considerando que el término  $F_{t+1}$  de la ecuación (9) representa el promedio móvil ponderado de todas las observaciones pasadas, esta técnica toma el nombre de “suavizado”. Dicha media es la que permite alisar las oscilaciones existentes en la serie de tiempo (Santiago de la Fuente Fernández, 2011). Del mismo modo, en la ecuación (8) es posible observar el uso de pesos  $\alpha, \alpha(1 - \alpha), \alpha(1 - \alpha)^2$ , los cuales van disminuyendo hacia cero de forma exponencial, y de este hecho se deriva la denominación “exponencial” (Ostertagová & Ostertag, 2012). Por último, se nombró como “simple” a este método, únicamente para diferenciarlo de otros tipos de suavizado que emplean doble alisado (Santiago de la Fuente Fernández, 2011).

En resumen, se utilizará el modelo de suavizado exponencial simple (SES) para alcanzar el objetivo específico de esta investigación que es proveer de un pronóstico de abundancia de hormigas en el Bosque Otongachi. En dicho modelo,  $Y$  se refiere a la variable de serie de tiempo de abundancia de hormigas.  $Y_t$  corresponde a la observación de la serie de abundancia real del año  $t$ . Mientras se realiza el suavizamiento de las observaciones reales utilizando una constante de suavizado  $\alpha$ , se van obteniendo  $F_t$  y  $F_{t+1}$  que corresponden a los valores de suavizado de abundancia del año  $t$  y del año siguiente  $t + 1$ , respectivamente. Como resultado de utilizar SES, se obtendrá el pronóstico de abundancia de hormigas para los años

futuros representado por  $\hat{Y}_{N+m}$ , que es igual al último valor de suavizado de las series de tiempo de cada género  $F_N$ .

### **3.5.1.2. Constante de suavizado**

El parámetro de suavizado ( $\alpha$ ) que se muestra en la ecuación (1) permite ponderar de manera desigual las observaciones de la serie de tiempo, de tal forma que, las observaciones más recientes tienen mayor peso que las más antiguas (Ostertagová & Ostertag, 2012). En este sentido, valores cercanos a 1 de la constante de suavizado ( $\alpha$ ) indican que se da mayor peso a las observaciones actuales y que el suavizamiento es rápido (Ostertagová & Ostertag, 2011). Por el contrario, valores de  $\alpha$  más cercanos a 0, indican que se da mayor peso a las observaciones pasadas (Santiago de la Fuente Fernández, 2011) y que el suavizamiento es lento, por lo que, el nuevo pronóstico es muy similar al anterior (Ostertagová & Ostertag, 2011).

En general, para que los pronósticos sean estables y las variaciones aleatorias más suaves, se requiere de un parámetro de suavizado pequeño (Ostertagová & Ostertag, 2011). Por tal motivo, para este estudio, mediante el proceso de ensayo y error ejecutado en el paquete estadístico R, y mediante la herramienta Solver de Excel se eligió el parámetro de suavizado óptimo.

### **3.5.1.3. Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)**

Para evaluar el desempeño del modelo, es decir, la precisión del pronóstico o que tan bueno es el pronóstico, se toma como indicador el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE). MAPE hace referencia al rendimiento relativo del pronóstico. De tal forma, tras comparar los valores pronosticados con los valores observados, MAPE permite seleccionar el mejor modelo que es aquel que minimiza la raíz del error cuadrático medio (Makridakis & Wheelwright, 1977). Según Ostertagová & Ostertag (2012), MAPE se expresa de la siguiente forma:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{Y_t} \cdot 100\% \quad (11)$$

Donde:

$Y_t$ : valor observado de la variable  $Y$  en el momento  $t$ .

$e_t$ : residuo en el momento  $t$ .

$n$ : número total de períodos de tiempo.

Por último, es importante destacar que la constante de suavizado ( $\alpha$ ) también influye sobre la calidad del pronóstico, debido a que el valor óptimo de  $\alpha$  es aquel que minimiza la raíz del error cuadrático medio (RMSE), y con ello permite aproximarse a pronósticos más adecuados (Ostertagová & Ostertag, 2012).

Por tanto, el valor óptimo de  $\alpha$  minimiza la RMSE que se representa por:

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (12)$$

Donde, RMSE es la raíz del error cuadrático medio y MSE es el error cuadrático medio representado por:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (13)$$

#### **3.5.1.4. Intervalos de confianza**

Según Santiago de la Fuente Fernández (2011), el intervalo de confianza para el pronóstico se representa de la siguiente forma:

$$\left[ \hat{Y}_{N+m} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sum_{t=2}^N e_{t/(t-1)}^2}{N-1} \cdot g_m} \right] \quad (14)$$

Donde,  $\sqrt{\frac{\sum_{t=2}^N e_{t/(t-1)}^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=2}^N (Y_t - \hat{Y}_{t/(t-1)})^2}{N-1}}$  es el error cuadrático medio y,  $g_m$  es una función o una constante que indica el número de períodos hacia adelante a pronosticar.

### 3.5.1.5. Gráfico de suavizado exponencial simple

En la Figura 3.6 se puede observar el gráfico que resulta del pronóstico utilizando suavizado exponencial simple. Dependiendo del valor que tome la constante de suavizado ( $\alpha$ ), la línea de los datos pronosticados (suavizados) se puede encontrar por encima de la línea de datos observados, o por debajo. El último valor de suavizado corresponde al valor de pronóstico para el resto de periodos futuros, por este motivo gráficamente el pronóstico a partir del primer periodo futuro es una línea recta. Gráficamente, la diferencia entre las líneas de los datos observados y los de pronóstico corresponden al ajuste del modelo.

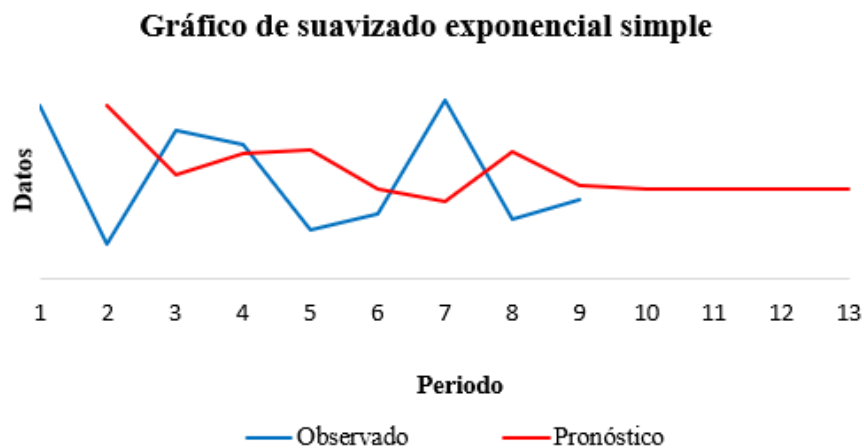


Figura 3. 6 Gráfico de suavizado exponencial simple

La línea azul corresponde a la serie de datos observados y la línea roja representa la serie de datos pronosticados.

Elaboración: la autora

## Capítulo 4

### 4. Resultados

El objetivo general de este estudio es modelizar la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi mediante métodos econométricos de series temporales. Para lograr este objetivo, en el Capítulo 3 (Datos y metodología) se evaluó el ajuste de varios modelos econométricos utilizando distintas metodologías, entre estas: ARIMA, suavizado exponencial simple y modelos no lineales. De este proceso se logró justificar que la metodología de suavizado exponencial simple es la más apropiada para el análisis de los datos de abundancia del presente estudio y para proveer de un pronóstico a partir de dichos datos.

Por lo tanto, en este capítulo se presentan los resultados de los modelos de abundancia para cada género de hormigas, utilizando la metodología de suavizado exponencial simple.

#### 4.1. Resultados de metodología SES para abundancia de hormigas

En este estudio se pronosticó la abundancia de hormigas para los ocho géneros más abundantes de Otongachi. La Tabla 4.1. resume los resultados de los modelos SES de abundancia para cada género de hormigas. Para todos los géneros, se inició el suavizamiento de los datos de abundancia tomando como primer valor de suavizado ( $F_1$ ) al primer valor observado de cada serie, el mismo que corresponde a la observación de abundancia del año 2003.

Tras realizar el pronóstico para cada género utilizando modelos SES y los datos de abundancia pasada durante el periodo 2003-2020, se pronosticó que los géneros más abundantes a partir de 2021 en adelante, serán *Pheidole* con una abundancia futura de 122.72 hormigas para trampas pitfall y *Solenopsis* con una abundancia futura de 1 193.97 hormigas para trampas winkler. Asimismo, se pronosticó que el género menos abundante a partir de 2021 en adelante, será *Strumigenys* con una abundancia futura para trampas pitfall de una hormiga, seguido de *Hypoponera* y *Octostruma*, con 1.27 y tres hormigas pronosticadas,

respectivamente. Además, *NeoponeraL* será el género con menor abundancia futura para trampas winkler, con 16.64 hormigas.

El género cuyo pronóstico tuvo mejor ajuste fue *Pheidole* de trampas winkler, con un MAPE de 22.25%, seguido de *Strumigenys* de trampas pitfall, con un MAPE de 22.73%. Los géneros de peor ajuste fueron *Cyphomyrmex* e *Hypoconera* de trampas pitfall, con un MAPE de 278.88% y 261.93%, respectivamente. Para trampas winkler, *NeoponeraL* fue el género de peor ajuste, con un MAPE de 70.13%.

Los géneros cuyo suavizamiento fue más lento fueron *Cyphomyrmex* de trampas winkler, y *Strumigenys* de trampas pitfall y winkler, con constantes de suavizado cero. Por el contrario, *Octostruma* de trampas pitfall fue el género cuyo suavizamiento fue el más rápido, con una constante de suavizado uno. Además, *NeoponeraL* fue el género cuyo suavizamiento fue el más rápido para trampas winkler, con una constante de 0.6764.

Tabla 4. 1 Resultados de los modelos de abundancia según metodología de suavizado exponencial simple

Serie	Trampa	$\bar{Y}$	$\sigma$	$F_1$	$\alpha$	$\hat{Y}$	MAPE (%)
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	20.67	11.31	35.00	0.4105	18.08	91.46
	Winkler	99.89	56.55	59.00	0.0364	71.00	40.70
<i>NeoponeraL</i>	Pitfall	32.22	19.11	72.00	0.7833	37.66	105.21
	Winkler	9.56	6.04	17.00	0.6764	16.64	70.13
<i>Pheidole</i>	Pitfall	127.30	47.84	187.00	0.5873	122.72	64.87
	Winkler	233.60	74.04	103.00	0.4871	277.87	22.25
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	23.89	27.24	92.00	0.9535	15.09	291.04
	Winkler	673.40	673.40	706.00	0.5627	1193.97	33.94
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	7.17	4.88	14.00	0.4615	7.10	278.88
	Winkler	75.11	38.62	40.00	0	40.00	37.99
<i>Hypoconera</i>	Pitfall	5.14	5.30	14.00	0.8182	1.27	261.93
	Winkler	110.10	42.42	73.00	0.0120	76.85	27.71



Tabla 4. 2 Resultados de los modelos de abundancia según metodología de suavizado exponencial simple (Continuación)

Serie	Trampa	$\bar{Y}$	$\sigma$	$F_1$	$\alpha$	$\hat{Y}$	MAPE (%)
<i>Octostruma</i>	Pitfall	3.00	2.00	7.00	1.00	3.00	47.22
	Winkler	108.20	79.23	45.00	0.3373	146.66	49.72
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	3.50	5.00	1.00	0	1.00	22.73
	Winkler	82.33	40.65	45.00	0	45.00	39.14

$\bar{Y}$ : media,  $\sigma$ : desviación estándar,  $F_1$ : primer valor de suavizado ( $F_1 = Y_1$ ),  $\alpha$ : constante de suavizado,  $\hat{Y}$ : pronóstico de abundancia ( $\hat{Y}_{N+1} = \hat{Y}_{N+2} = \dots = \hat{Y}_{N+m}$ ;  $m = 1, 2, 3, \dots$ ), **MAPE (%)**: Error Porcentual Absoluto Medio. La constante de suavizado se expresa mediante cuatro cifras decimales, debido a que el valor de pronóstico cambia significativamente ante la mínima variación del valor de dicha constante.

Elaboración: la autora

Adicionalmente, la alta probabilidad de que los valores pronosticados de abundancia ( $\hat{Y}$ ) sean correctos (con un nivel de confianza de 95%) y la minimización del error de pronóstico de abundancia de cada serie, dan validez a los resultados del presente estudio. A continuación, se presentarán con mayor detalle estos resultados para cada género de hormigas, relacionados con: pronóstico, constantes de suavizado, error porcentual absoluto medio, intervalos de confianza y gráficos resultantes de cada pronóstico de abundancia.

#### 4.1.1. Pronóstico de abundancia de hormigas

¿La abundancia de hormigas del Bosque Otongachi aumentará, disminuirá o se mantendrá constante en el futuro? Respondiendo a la pregunta, los resultados de este estudio indican que la abundancia de cada género de hormigas se mantendrá constante en los próximos años. La abundancia futura de hormigas no cambiará, debido a que la metodología de suavizado exponencial simple indica que el valor pronosticado de abundancia para el primer periodo

futuro es el mismo para el resto de periodos futuros ( $\hat{Y}_{N+1}=\hat{Y}_{N+2} = \dots = \hat{Y}_{N+m}$ ;  $m = 1,2,3, \dots$ ). La Tabla 4.1 muestra los pronósticos de abundancia ( $\hat{Y}$ ) que se obtuvieron para cada género de hormigas. Para *Gnamptogenys* (pitfall) se pronostica que la abundancia será de 18.08 hormigas para los siguientes años, para *Gnamptogenys* (winkler) se pronostica una abundancia de 71 hormigas, para *NeoponeraL* (pitfall) de 37.66, para *NeoponeraL* (winkler) de 16.64, *Pheidole* (pitfall) de 122.72, *Pheidole* (winkler) de 277.87, *Solenopsis* (pitfall) de 15.09, *Solenopsis* (winkler) de 1193.97, *Cyphomyrmex* (pitfall) de 7.10, *Cyphomyrmex* (winkler) de 40, para *Hypoponera* (pitfall) de 1.27, *Hypoponera* (winkler) de 76.85, para *Octostruma* (pitfall) de tres hormigas, para *Octostruma* (winkler) de 146.66, para *Strumigenys* (pitfall) de una hormiga y para el género *Strumigenys* (winkler) se pronostica que la abundancia será de 45 hormigas para los siguientes años.

#### 4.1.2. Constante de suavizado

Los valores de los parámetros de suavizado ( $\alpha$ ) que se muestran en la Tabla 4.1 son valores óptimos que minimizan el error porcentual absoluto medio (MAPE) de los modelos estimados para cada género. Por lo tanto, los pronósticos de abundancia de hormigas para cada género ( $\hat{Y}$ ) son los más acertados en comparación a otros pronósticos que utilizan valores diferentes de la constante de suavizado.

Los resultados de este estudio indican que el valor óptimo de la constante de suavizado es menor o igual a 0.5 para los siguientes géneros: *Gnamptogenys* (pitfall y winkler), *Pheidole* (winkler), *Cyphomyrmex* (pitfall y winkler), *Hypoponera* (winkler), *Octostruma* (winkler), y *Strumigenys* (pitfall y winkler). Estos valores de  $\alpha$  inferiores a 0.5 (que a su vez son cercanos cero), significan que el suavizamiento de los datos de abundancia de esas series es lento, y que se atribuye mayor ponderación a las observaciones pasadas de abundancia y no a las observaciones actuales. Para el resto de géneros, es decir para: *NeoponeraL* (pitfall y winkler), *Pheidole* (pitfall), *Solenopsis* (pitfall y winkler), *Hypoponera* (pitfall) y *Octostruma* (pitfall), la constante de suavizado es mayor que 0.5. Estos valores de  $\alpha$  superiores a 0.5 (que a su vez son cercanos a uno), significan que se atribuye mayor peso a las observaciones

actuales de abundancia de hormigas y que el suavizamiento de los datos de abundancia de la serie es rápido.

#### **4.1.3. Error porcentual absoluto medio (MAPE)**

Para evaluar la precisión de los pronósticos de abundancia de hormigas se consideró el criterio de Lewis (1982). Según este autor, MAPE puede tomar distintos valores. Si el valor de MAPE es inferior al 10%, el pronóstico es excelente y preciso; si MAPE se encuentra entre el 10% y 20%, el pronóstico es bueno; si MAPE se encuentra entre el 20% y 50%, el pronóstico es aceptable; y si el valor de MAPE es superior al 50%, el pronóstico es inexacto.

Los valores de MAPE de la Tabla 4.1 indican un pronóstico de abundancia aceptable para los siguientes géneros: *Gnamptogenys* (winkler), *Pheidole* (winkler), *Solenopsis* (winkler), *Cyphomyrmex* (winkler), *Hypoponera* (winkler), *Octostruma* (pitfall y winkler), y *Strumigenys* (pitfall y winkler). Para dichos géneros, estos valores de MAPE que se encuentran entre el 20% y 50% indican que los valores pronosticados de la abundancia de hormigas se ajustan moderadamente a los valores de abundancia observada. Los demás géneros presentaron un MAPE superior al 50%. Por tanto, el pronóstico fue inexacto para los siguientes géneros: *Gnamptogenys* (pitfall), *NeoponeraL* (pitfall y winkler), *Pheidole* (pitfall), *Solenopsis* (pitfall), *Cyphomyrmex* (pitfall) e *Hypoponera* (pitfall). Adicionalmente, es importante mencionar que ningún género de hormigas presentó un MAPE menor o igual al 20%. Como resultado, ningún pronóstico de la abundancia de hormigas de la Tabla 4.2 se lo puede considerar totalmente preciso.

#### **4.1.4. Intervalos de confianza**

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de los intervalos de pronóstico al 95% de nivel de confianza para cada género de hormigas. De esta forma, los valores de abundancia pronosticados para cada género se encuentran dentro del intervalo en el 95% de los casos (Martínez-Ezquerro et al., 2017).

Tabla 4. 3 Intervalos de pronóstico para cada género de hormigas

Género	Trampa	Intervalo para $\hat{Y}_{N+1}$		Intervalo para $\hat{Y}_{N+2}$		Intervalo para $\hat{Y}_{N+3}$	
		Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	-8.72	44.88	-10.89	47.06	-12.91	49.07
	Winkler	-55.90	197.90	-55.99	197.99	-56.07	198.07
<i>Neoponera</i> L	Pitfall	-11.40	86.72	-24.66	99.98	-35.56	110.87
	Winkler	3.34	29.94	0.58	32.70	-1.77	35.05
<i>Pheidole</i>	Pitfall	10.55	234.89	-7.36	252.81	-23.10	268.54
	Winkler	119.38	436.36	101.57	454.16	85.41	470.32
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	-45.79	75.96	-69.02	99.19	-87.11	117.28
	Winkler	414.80	1973.14	299.92	2088.02	198.21	2189.73
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	-4.88	19.08	-6.09	20.30	-7.20	21.41
	Winkler	-59.14	139.14	-59.14	139.14	-59.14	139.14
<i>Hypoponera</i>	Pitfall	-11.44	13.99	-15.15	17.70	-18.16	20.71
	Winkler	-28.16	181.87	-28.17	181.88	-28.18	181.88
<i>Octostruma</i>	Pitfall	-1.08	7.08	-2.77	8.77	-4.07	10.07
	Winkler	-10.60	303.92	-19.31	312.62	-27.58	320.89
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	-8.80	10.80	-8.80	10.80	-8.80	10.80
	Winkler	-59.87	149.87	-59.87	149.87	-59.87	149.87

$\hat{Y}_{N+1}, \hat{Y}_{N+2}, \hat{Y}_{N+3}$ : valores de abundancia pronosticados para el primer, segundo y tercer periodo futuro, respectivamente ( $\hat{Y}_{N+1} = \hat{Y}_{N+2} = \hat{Y}_{N+3}$ ); **Li**: límite inferior del intervalo de confianza, **Ls**: límite superior del intervalo de confianza. Los intervalos corresponden al 95% de nivel de confianza.

Elaboración: la autora

De las Tablas 4.2 y 4.3 se observa que, a pesar de que el pronóstico de abundancia de hormigas es el mismo para cualquier periodo futuro, la amplitud de los intervalos de

confianza va incrementándose en el tiempo. Esto sucede debido a que los pronósticos de abundancia a partir del segundo valor futuro utilizan en su cálculo recursivo el pronóstico del primer periodo futuro, y no valores de abundancia observada. De esta manera, la expansión de los límites inferiores y superiores de los intervalos de confianza significa que el margen de error del pronóstico va aumentando, y con ello también va aumentando la incertidumbre del pronóstico (Martínez-Ezquerro et al., 2017). Por tanto, el suavizado exponencial simple garantiza buenos pronósticos de abundancia de hormigas para el corto plazo, pero no para el largo plazo (Ostertagová & Ostertag, 2011).

Además, es importante considerar que el comportamiento de los intervalos de confianza anteriormente descrito ocurre para casi todos los géneros de hormigas, excepto para los géneros *Cyphomyrmex* (winkler) y *Strumigenys* (pitfall y winkler). Para estos dos géneros, los intervalos de confianza son iguales para cualquier valor futuro pronosticado. Esto sucede porque la constante de suavizado ( $\alpha$ ) de estos géneros de hormigas es nula, ocasionando que todos los valores de pronóstico de hormigas sean iguales al primer valor de la serie observada en cualquier periodo. Por tanto, sus intervalos de confianza no varían. Además, dado que el valor de  $\alpha$  para el género *Hypoponera* (winkler) es muy cercano a cero (0.0120), la variación de los intervalos de confianza para sus valores de abundancia pronosticados es ínfima.

Adicionalmente, de las Tablas 4.1 y 4.2 es posible observar que los valores de la media de las series estacionarias de cada género ( $\bar{Y}$ ) se encuentran dentro del primer intervalo de confianza de pronóstico para cada serie. Así también, esta media ( $\bar{Y}$ ) y la media de los valores de abundancia futura (que es igual al valor de abundancia pronosticado ( $\hat{Y}$ )) son muy cercanas entre sí, y difieren en menos de una desviación estándar. Por lo tanto, la abundancia de hormigas de cada género se mantuvo constante durante el periodo pasado de estudio (2003-2020) y seguirá siendo constante en los próximos años, sin que exista alguna variación significativa en abundancia de hormigas entre el periodo pasado y el periodo futuro.

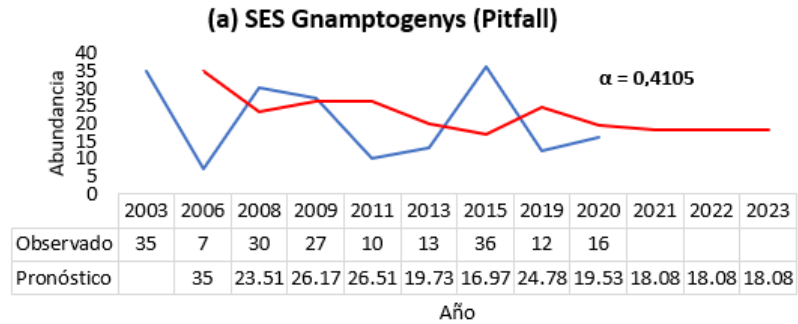
#### **4.1.5. Gráficos de suavizamiento exponencial**

Las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 corresponden a los gráficos de suavizado exponencial simple para los ocho géneros de hormigas estudiados. De manera general, se

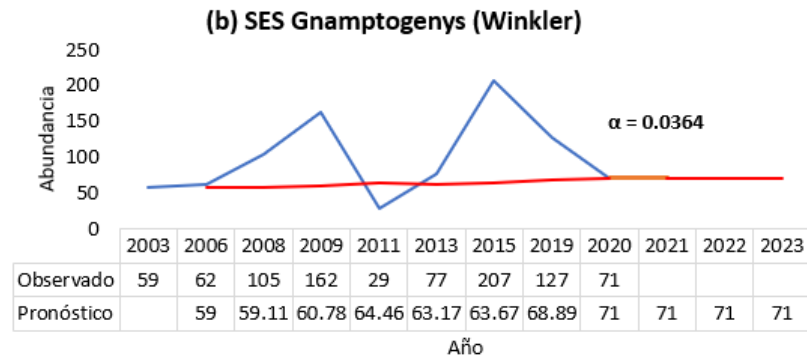
observa gráficamente que los valores de la serie de abundancia pronosticada se ajustan en gran medida a los valores de la serie de abundancia observada para la mayoría de géneros. La aproximación entre ambas series graficadas indica que los modelos de suavizado exponencial se ajustan adecuadamente a los datos de abundancia. Además, gráficamente se observa que el último valor de suavizado corresponde al valor de abundancia pronosticada para el primer año futuro y para el resto de años. Por tanto, el pronóstico es una línea recta para todos los géneros, debido a que la abundancia pronosticada se mantiene constante.

También se observa que para los géneros cuya constante de suavizado toma un valor nulo o un valor bastante cercano a cero (menor a 0.1), las gráficas de abundancia observada y abundancia pronosticada no tienen muy buen ajuste. Esto sucede debido a que, al utilizar constantes de suavizado con valores casi nulos, los nuevos valores pronosticados son similares a los valores pronosticados anteriores. Como el valor de pronóstico inicial corresponde al primer valor de la serie de abundancia observada, todos los valores pronosticados tomarán valores muy cercanos a ese primer valor (si  $\alpha < 0.1$ ) o tomarán el mismo valor (si  $\alpha = 0$ ), alejándose de los valores observados de abundancia. Este comportamiento caracterizó a las gráficas de los siguientes géneros: *Gnamptogenys* (winkler), *Cyphomyrmex* (winkler), *Hypoponera* (winkler) y *Strumigenys* (pitfall y winkler).

## *Gnamptogenys*



— Observado — Pronóstico



— Observado — Pronóstico

Figura 4. 1 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Gnamptogenys*. En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora

*Neoponerall*

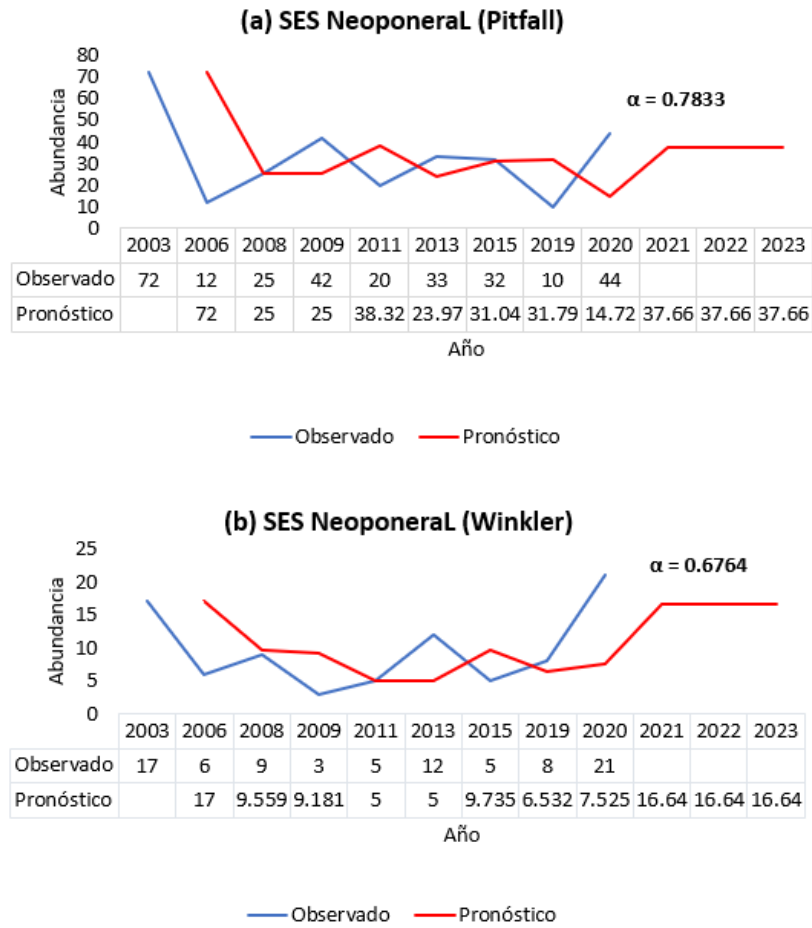


Figura 4. 2 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Neoponerall*. En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora



*Pheidole*

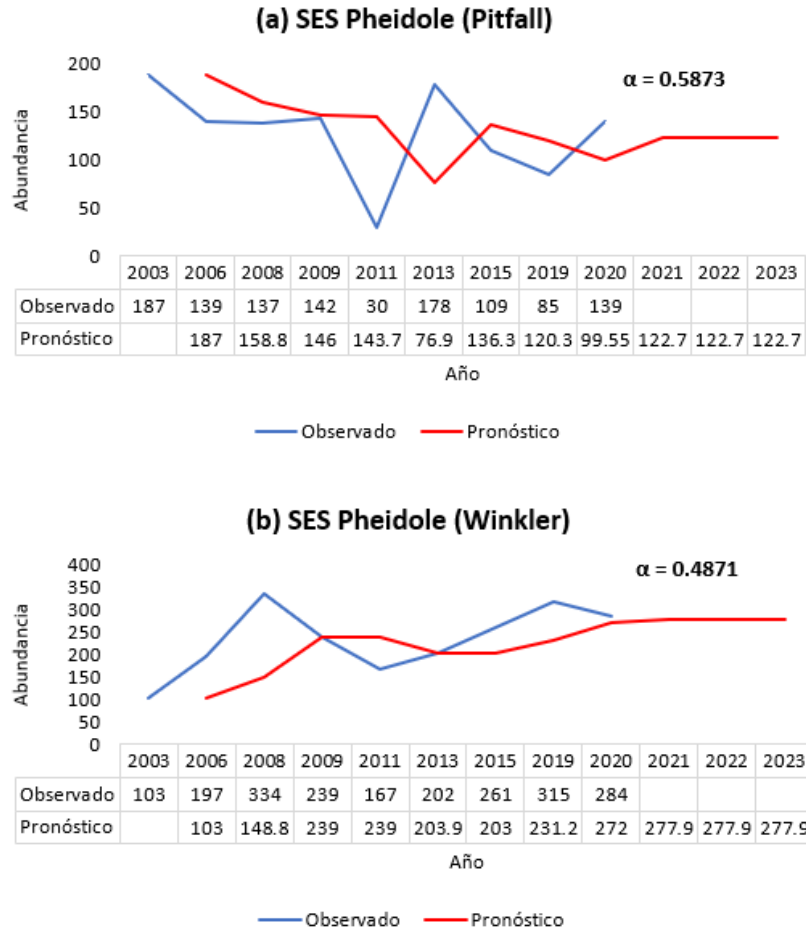


Figura 4. 3 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Pheidole*.

En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora

*Solenopsis*

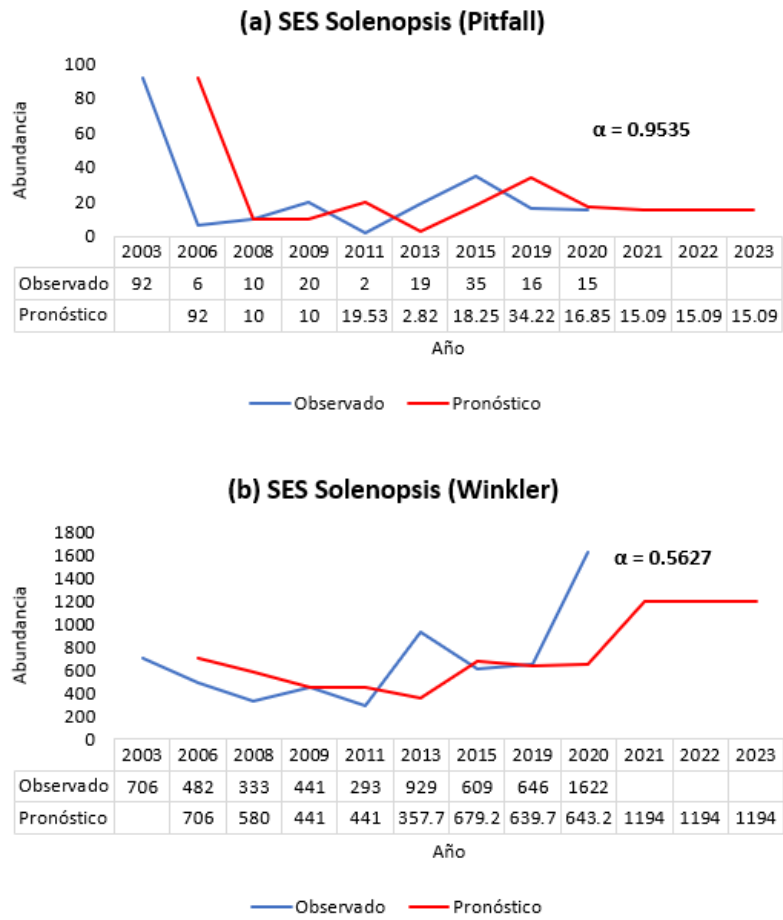


Figura 4. 4 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Solenopsis*.

En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora

*Cyphomyrmex*

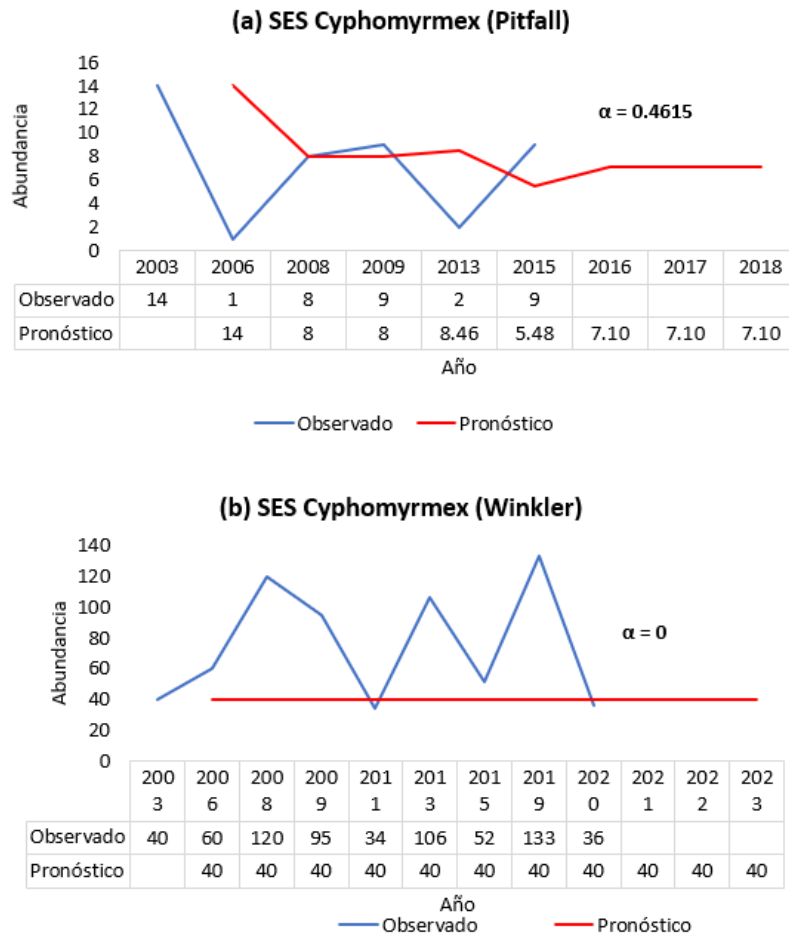


Figura 4. 5 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Cyphomyrmex*. En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. Los valores de abundancia pronosticados para los años 2016 y 2021 se mantienen para los siguientes años.

Elaboración: la autora

*Hypoponera*

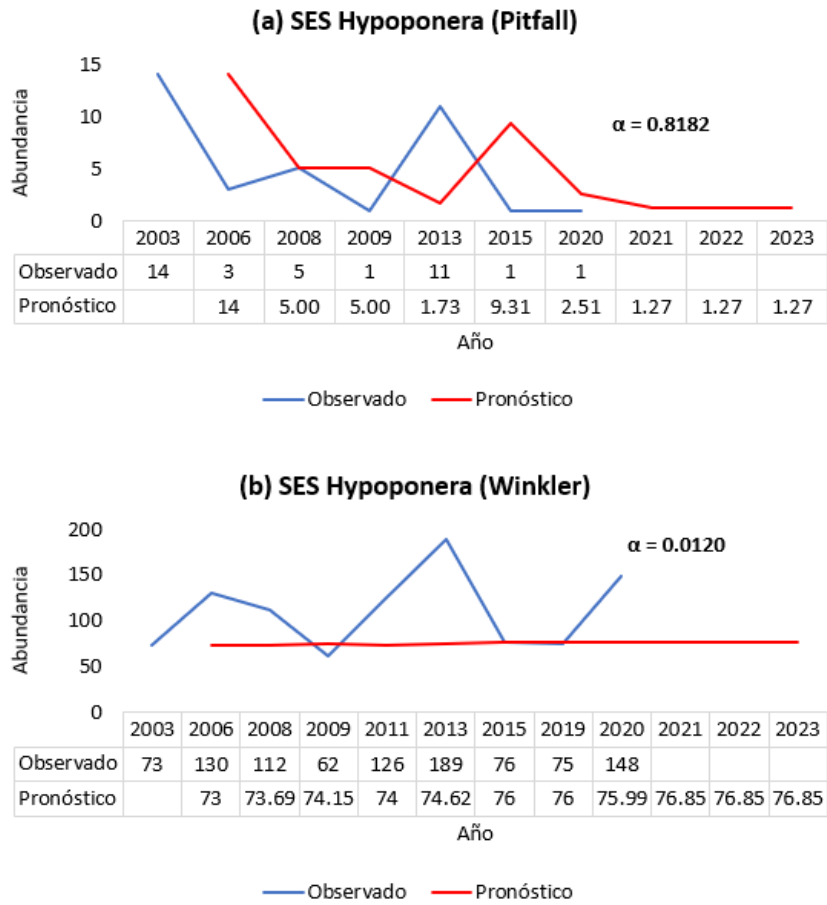


Figura 4. 6 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Hypoponera*.  
 En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora

*Octostruma*

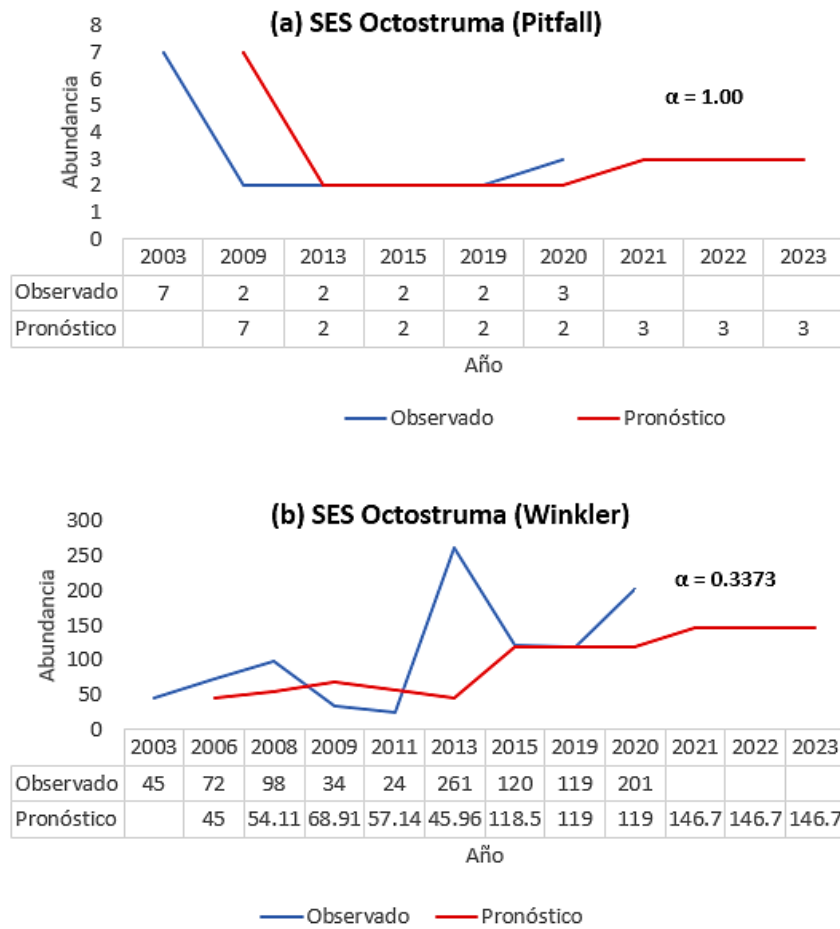


Figura 4. 7 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Octostruma*.

En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora

*Strumigenys*

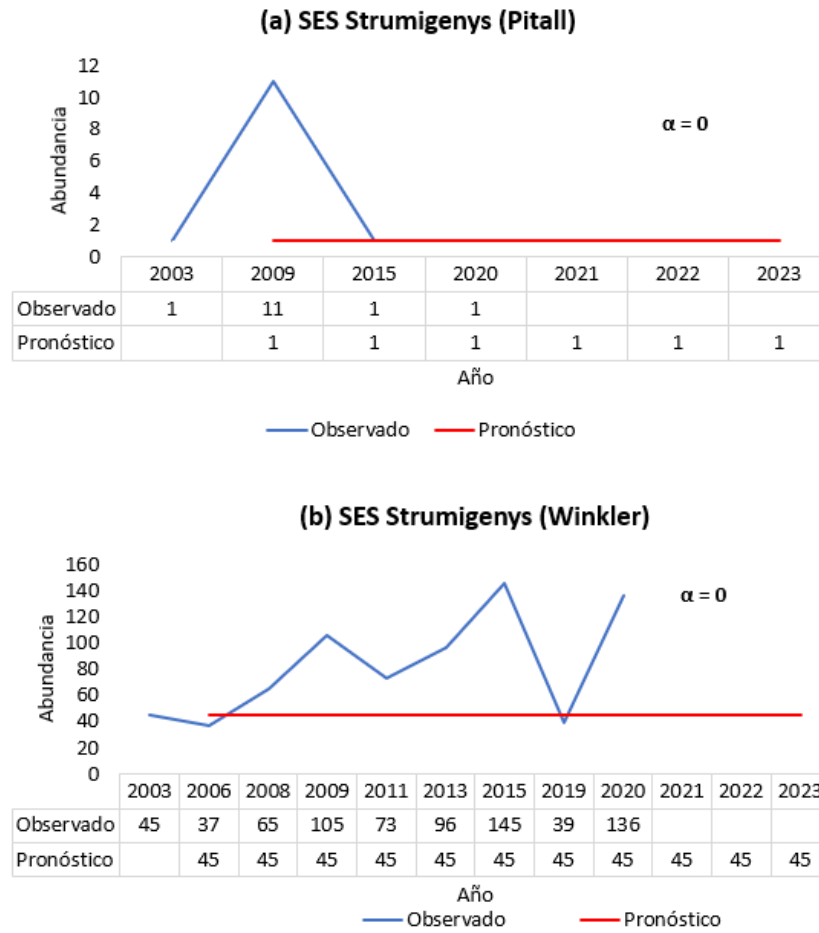


Figura 4. 8 Suavizamiento exponencial de la abundancia del género *Strumigenys*.  
 En (a) se muestra el suavizamiento para trampas pitfall y en (b) el suavizamiento para trampas winkler. El valor de abundancia pronosticado para el año 2021 se mantiene para los siguientes años.

Elaboración: la autora

Al observar las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8, es necesario aclarar que la comparación entre el valor de abundancia de hormigas del último año de la serie observada y el valor de abundancia pronosticado del siguiente año, no debe interpretarse como un aumento o disminución de hormigas sostenido en el tiempo. Es decir, este aumento o

disminución de abundancia entre ambos años no quiere decir que la abundancia seguirá aumentando o disminuyendo en el tiempo. Al contrario, dado que SES indica que la abundancia de hormigas se mantendrá constante en el futuro, la abundancia de hormigas de los próximos años será igual al valor de abundancia pronosticado para cada género.

Finalmente, en las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se puede observar que el suavizado exponencial simple permite reducir las fluctuaciones de las series de tiempo de abundancia observada, es decir, alisa los valores reales de la serie (Minitab, 2021). Esto es posible, debido a que los valores de pronóstico representan un promedio móvil ponderado de todas las observaciones pasadas de la serie de tiempo observada (Ostertagová & Ostertag, 2011).

## Capítulo 5

### 5. Discusión

En este estudio se estableció como objetivo general el modelizar la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi mediante métodos econométricos de series temporales. Para esto, se plantearon los objetivos específicos de evaluar el ajuste de varios modelos econométricos de series temporales (Capítulo 3) y de proveer de pronósticos de abundancia de hormigas (Capítulo 4). La discusión que se presenta a continuación gira en torno a dichos objetivos específicos, y desde luego se apoya en el componente teórico sobre abundancia de hormigas (Capítulo 2). Para finalizar, se explican las limitaciones metodológicas de este trabajo.

#### **Consideraciones sobre los pronósticos de abundancia de hormigas**

Los resultados de este estudio indican que la abundancia de hormigas en Otongachi de cada uno de los géneros analizados se mantendrá constante en el futuro. Por un lado, estos resultados difieren de los hallazgos de disminución en abundancia de insectos que documentan diversos estudios a nivel global, como las investigaciones de Dirzo et al. (2014), Almeida et al. (2023), Crossley et al. (2020), Longino et al. (2014), Seibold et al. (2019) y Peters et al. (2011). En dichas investigaciones los autores asocian la reducción de insectos a factores climáticos y antropogénicos como la sequía, agricultura, usos de la tierra, temperatura y deforestación.

Asimismo, los resultados de esta investigación difieren del reporte de Van Klink et al. (2020) sobre la disminución en abundancia de insectos en ecosistemas de América del Norte y Europa. Tras considerar tendencias decrecientes, crecientes y constantes, dichos autores obtuvieron como efecto final una disminución promedio en la abundancia de insectos terrestres de 9% por década ocasionado por los diferentes usos de la tierra. De igual forma, la tendencia constante de abundancia de hormigas en Otongachi es un resultado opuesto al aumento en abundancia de hormigas cortadoras de hojas que han reportado estudios como los de Fowler et al. (1986) y Jaffe (1986).



De esta forma, los pronósticos de tendencia constante de hormigas en Otongachi contradicen lo planteado por algunos autores sobre el Armagedón de Insectos y la Sexta Extinción Planetaria. Esto quiere decir que, no está ocurriendo una reducción en abundancia de insectos en todos los lugares del mundo, y Otongachi es un ejemplo de esta excepción. Probablemente, lo que sí pueden confirmar los resultados de la presente investigación es lo mencionado por Basset & Lamarre (2019) y Habel et al. (2019), respecto a que la declinación de insectos es un acontecimiento que no se puede generalizar a nivel global. Asimismo, se corrobora lo mencionado por Dirzo et al. (2014) en cuanto a que los efectos de la Sexta Extinción Planetaria podrían ser selectivos y estarían afectando en mayor medida solo a ciertos grupos taxonómicos y regiones específicas.

Por otro lado, los resultados de este trabajo coinciden con los resultados de Vasconcelos et al. (2017). En dicho estudio, los autores reportaron tendencias constantes en abundancia de hormigas durante los últimos 70 años en regiones de Australia, Brasil y los Estados Unidos que habían sido afectadas por el fuego. Según los autores, el factor antropogénico fuego no tuvo ningún efecto sobre el comportamiento de las especies y su abundancia, aún tras haber considerado la ubicación geográfica y el tiempo transcurrido desde el fuego. En este contexto, es importante mencionar que Otongachi es un bosque que hasta 1990 también había sido modificado pero por el factor antropogénico de extracción selectiva de madera (Donoso & Ramón, 2009).

A pesar de que Otongachi y los sitios de estudio de la investigación de Vasconcelos et al. (2017) son áreas en las que se ha detenido la intervención humana, la abundancia de hormigas no incrementó ni disminuyó, sino que se mantuvo constante. Por tanto, al igual que en el estudio de Vasconcelos et al. (2017), los resultados de abundancia constante de hormigas en Otongachi podrían ser explicados por la propia naturaleza de las hormigas, puesto que esta determinaría su respuesta ante posibles perturbaciones del hábitat. Además, las hormigas de Otongachi podrían estar desarrollando y modificando permanentemente su comportamiento y estrategias para sobrevivir ante cambios y

competencia que existe en el ecosistema, sin alterar su abundancia (Agudelo-Martínez & Pérez-Buitrago, 2020).

Por tanto, la abundancia constante de hormigas en Otongachi dentro de los próximos años podría deberse al propio comportamiento y ecología de los géneros de hormigas. Además, de acuerdo con Agudelo-Martínez & Pérez-Buitrago (2020), la abundancia de insectos no varía cuando las especies son “residentes permanentes” del lugar de estudio y debido a que han desarrollado mecanismos para adaptarse sin dificultad al cambio de estaciones. Por ejemplo, para sobrellevar la estación lluviosa, las hormigas buscarían desplazar sus colonias a zonas del bosque que no estén inundadas (McGlynn, 2011).

Existen factores climáticos como la lluvia y temperatura que pueden influir sobre la abundancia de hormigas (Almeida et al., 2023; Longino et al., 2014). Sobre esto, Agudelo-Martínez & Pérez-Buitrago (2020) estudiaron la abundancia de ciertas especies de hormigas en el Municipio de Arauca en Colombia, considerando las diferencias de lluvia y temperatura que existen entre las épocas seca y lluviosa. Los autores determinaron que la diferencia de individuos entre ambas épocas no fue estadísticamente significativa, por lo que concluyeron que la abundancia de hormigas se mantuvo constante respecto a las estaciones seca y lluviosa. De esta forma, considerando el estudio de Agudelo-Martínez & Pérez-Buitrago (2020) y que Otongachi es un bosque tropical en el que la transición entre las épocas seca y lluviosa no es tan marcada, podría entenderse que la variación de lluvia y temperatura probablemente no están provocando cambios significativos en la abundancia de hormigas, o al menos hasta el momento.

Basset & Lamarre (2019) señalan que las cifras de disminución en abundancia de insectos que reportan diversos estudios podrían estar infladas. Sin embargo, para estos autores el reportar resultados con tendencias constantes como los de este estudio, también podría sujetarse a ciertos cuestionamientos, debido a que dan la impresión de que los taxones de hormigas no están siendo afectados ante los efectos del cambio climático. En consecuencia, se podría entender que el calentamiento global no ha provocado ningún cambio sobre la abundancia de hormigas en Otongachi (Basset & Lamarre, 2019). No obstante, mediante el presente estudio no es posible concluir nada al respecto sobre dicho

cuestionamiento. Los resultados de este estudio permiten comprender sobre el comportamiento futuro de la abundancia de hormigas de cada género, pero no sobre los factores climáticos o antropogénicos que determinan este comportamiento. De hecho, el no contar con información sobre estos factores fue una de las limitaciones de este estudio.

Lo que sí considera el presente estudio son aspectos taxonómicos y ecológicos de las hormigas, debido a que se analizan géneros con diferentes comportamientos. De esta forma, el análisis individual de cada género fue apropiado tomando en cuenta lo mencionado por Basset & Lamarre (2019) respecto a que debe estudiar los taxones considerándolos como independientes, ya que cada uno de estos tiene comportamientos distintos y respuestas diferentes ante cambios y amenazas que pueden ocurrir en el hábitat.

Además, que la abundancia futura de hormigas se mantenga constante en Otongachi podría interpretarse como que las hormigas no están migrando a otros lugares, que no están muriendo a pesar de la competencia y depredación que sufren de otras especies, o que estas aparecen y desaparecen sin alterar el número de hormigas. Por tanto, no existe ningún cambio en su abundancia, o al menos ningún cambio que sea significativo. Así también, que la abundancia de hormigas no varíe podría explicarse considerando lo mencionado por Harvey et al. (2020) en cuanto a que los cambios en la distribución, fenología y abundancia de insectos son perceptibles solo después de que se superan umbrales críticos que afectan la fecundidad, supervivencia y tasas vitales de las poblaciones de insectos.

También es importante mencionar que, a pesar de que aparentemente las hormigas de Otongachi no están migrando, si lo hicieran probablemente se enfrentarían a ciertas dificultades. De acuerdo con González-Tokman et al. (2020), los insectos pertenecientes a hábitats tropicales son muy vulnerables, debido a que su área de distribución es restringida y tienen baja capacidad de dispersión, sobre todo si no tienen alas como gran parte de las hormigas obreras que son hembras estériles. Esto impediría a las hormigas a migrar fácilmente a otras regiones con mejores condiciones ambientales, o que estas no puedan adaptarse a ecosistemas que están cambiando, y como resultado morirían.

Además, si estas hormigas lograran migrar, los hábitats de destino podrían ser lugares inadecuados y sin condiciones ambientales óptimas como consecuencia de los cambios provocados por los usos de la tierra (Harvey et al., 2022).

### **Consideraciones sobre el ajuste de varios modelos econométricos de series temporales**

Con base en la revisión de la literatura, se evaluó la posibilidad de utilizar tres modelos diferentes para modelizar los datos de abundancia de hormigas del Bosque Otongachi: modelos autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA), modelos no lineales y modelos de suavizado exponencial simple (SES).

Los modelos ARIMA y los modelos no lineales no fueron apropiados para analizar la abundancia de hormigas. Esto en vista de que los datos de abundancia de cada género presentaron un comportamiento lineal que no se ajustó a especificaciones autorregresivas integradas de media móvil que permitan obtener estimaciones válidas. De esta forma, la imposibilidad de utilizar modelos ARIMA y no lineales para analizar la abundancia de hormigas de Otongachi, contradice lo señalado por Blekh (2020) y Drepper et al. (1994). Según estos autores, en caso de que los modelos lineales ARIMA no logren modelizar adecuadamente variables biológicas y ecológicas como la abundancia de hormigas, los modelos no lineales sí lo harían. Sin embargo, en el presente estudio se encontró que tanto los modelos ARIMA como los modelos no lineales no permitieron modelizar los datos de abundancia de hormigas, debido a que se contó con series de tiempo cortas. Al contrario del modelado ARIMA y no lineal, los modelos SES fueron los más adecuados para realizar los pronósticos de abundancia de hormigas. Los pronósticos obtenidos tuvieron buen ajuste y verifican lo mencionado por Ostertagová & Ostertag (2011) respecto a que los modelos SES constituyen resultados con buena precisión para el corto plazo.

Además, que los datos de abundancia de hormigas no hayan podido ser modelizados mediante modelos ARIMA es un resultado interesante. Esto quiere decir que los datos pasados de abundancia no permiten explicar el comportamiento actual y futuro de

abundancia de hormigas. Este resultado estaría relacionado con lo mencionado por Donoso (2017) respecto a que en Otongachi las comunidades de hormigas son bastante dinámicas de un año a otro. En este bosque, la rotación temporal promedio de las especies de hormigas durante el periodo 2003-2013 fue muy alta, debido a que el 51% de las especies de hormigas de trampas winkler y el 56% de las hormigas de trampas pitfall fueron reemplazadas por otras especies de hormigas de un año a otro (Donoso, 2017). Es decir, ese porcentaje de hormigas muestreado en cada año no apareció en el siguiente año. A pesar de ello, dicha rotación reflejada en la aparición y desaparición de las especies de hormigas, fueron cambios graduales, es decir pequeños y constantes, y según Donoso (2017), estos cambios serían bastante comunes en Otongachi. Como consecuencia de estos cambios, la abundancia pasada de hormigas posiblemente no podría influir de forma significativa sobre la abundancia futura, y además, las comunidades de hormigas se encontrarían en equilibrio al largo plazo.

Adicionalmente, es importante recalcar que la literatura evidencia estudios que utilizan modelos ARIMA, no lineales y SES para analizar fenómenos biológicos y ecológicos en otras partes del mundo, pero no específicamente sobre abundancia de hormigas, y mucho menos en Ecuador. Por este motivo, no fue posible comparar metodológicamente el presente estudio con otros estudios en los que se realicen pronósticos sobre abundancia de hormigas utilizando modelos de SES.

### **Limitaciones metodológicas de este estudio**

#### *Primera limitación metodológica*

La principal limitación metodológica de este estudio fue el contar con series de tiempo cortas, con máximo nueve observaciones para cada género de hormigas. En este contexto, autores como Pielou (1981), Tuan (1983) y Hunter (2001) coinciden en que la no disponibilidad de series con gran número observaciones pasadas sobre poblaciones de insectos limita los análisis de series de tiempo mediante metodologías como ARIMA, tal como sucedió en el presente estudio. Además, según Tuan (1983), al modelizar series de tiempo con pocas observaciones (con menos de 30 observaciones) se debe partir de

supuestos fuertes, que en el caso de este estudio corresponden a la estacionariedad y no estacionalidad de cada serie, las cuales fueron verificadas previo a realizar los pronósticos mediante los modelos de suavizado exponencial simple. Así también, para iniciar el suavizamiento de los datos de abundancia se partió del supuesto estricto de que el primer valor de abundancia pronosticada equivale al primer valor de abundancia observada.

Además, es importante también mencionar que Basset & Lamarre (2019) y Habel et al. (2019) consideran que la disminución de insectos no se la puede generalizar a nivel mundial, precisamente debido a que los estudios que reportan estas disminuciones no utilizan datos a largo plazo, sino simplemente datos circunstanciales que conducen a tendencias erróneas.

#### *Segunda limitación metodológica*

Respecto a la segunda limitación, los pronósticos de abundancia de hormigas a través de modelos SES constituyen buenos resultados para el corto plazo, pero para largo plazo existe cierta incertidumbre sobre lo que sucederá con dicha abundancia. Esto se debe a que el pronóstico se mantiene constante para todos los años futuros, pero este va perdiendo precisión conforme el error de pronóstico va aumentando.

En tal sentido, los resultados de una abundancia que se mantiene constante en el futuro no son tranquilizadores, ya que existen cambios que pueden impactar de inmediato o con el tiempo sobre las comunidades de hormigas (Donoso, 2017). En consecuencia, los resultados del presente trabajo no disminuyen las necesidades de monitoreo de las especies de hormigas en Otongachi. Asimismo, Donoso (2017) considera que el monitoreo continuo de la dinámica temporal de las comunidades de hormigas es muy importante y oportuno, ya que esto permitiría anticiparse al largo plazo a cambios provocados por distintas perturbaciones espaciales.

#### *Tercera limitación metodológica*

Referente a la tercera limitación, dado que la base de datos utilizada no contenía información respecto a variables climáticas o antropogénicas del área de estudio, no fue

posible utilizar modelos predictivos condicionales para realizar los pronósticos de abundancia. Por tanto, no se recurrieron a regresiones causales que permitan determinar si estas variables explican o no que la abundancia de hormigas se mantenga constante.

Adicionalmente, el modelo más eficiente hubiese sido aquel que permita analizar simultáneamente la abundancia de hormigas de trampas pitfall y winkler, como se lo realizó en el Anexo 7 al descartar el uso de la metodología ARIMA para modelizar los datos de abundancia de cada género. Sin embargo, mediante el uso de modelos de suavizado exponencial simple, fue necesario separar el análisis de abundancia de hormigas que fueron capturadas por trampas pitfall y las que fueron capturadas por trampas winkler.

El considerar análisis independientes por tipo de trampa para cada género fue acertado y se justifica mediante el uso del Protocolo ALL. Conforme a este protocolo, para estandarizar la recolección de hormigas es necesario hacer uso de diferentes métodos de captura, considerando las diferencias en morfología, hábitos de vida y forrajeo de las hormigas (Agosti & Alonso, 2003). Por tanto, al modelizar por separado las abundancias recolectadas por trampas pitfall y winkler, se está considerando que las especies de hormigas tienen características taxonómicas y ecológicas diferentes, a pesar de pertenecer a un mismo género.

De tal forma, el modelado SES de la abundancia capturadas por trampas pitfall consideró el análisis de hormigas más grandes, de patas más largas, más móviles, y que buscan alimento en el suelo y hojarasca. Mientras que el modelado SES de la abundancia de hormigas capturadas por trampas winkler consideró el análisis de hormigas pequeñas, de patas cortas, con menor movilidad y que anidan bajo capas de hojarasca de mayor volumen (Donoso & Ramón, 2009; Greenslade, 1973).





# Capítulo 6

## 6. Conclusiones

### *Consideraciones ecológicas*

En este trabajo, a partir de datos de abundancia registrados por trampas pitfall y winkler durante el periodo 2003-2020 se pronosticó la abundancia de hormigas del Bosque Otongachi para los próximos años. Para modelizar las series de tiempo de abundancia de hormigas de cada género se utilizaron modelos de suavizado exponencial simple. Se analizaron los géneros de hormigas más abundantes del bosque durante el periodo 2003-2020, entre estos: *Gnamptogenys*, *Neoponera*L, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Cyphomyrmex*, *Hypoponera*, *Octostruma* y *Strumigenys*. Como resultado, se pronosticó que la abundancia de hormigas de cada uno de estos géneros se mantendrá constante en el futuro.

En primer lugar, el análisis de todos los géneros de hormigas que existen en el Bosque Otongachi es importante, ya que cada uno de estos taxones aporta al funcionamiento del hábitat través de los servicios ecosistémicos que realizan y sus interacciones con otras especies por medio de las redes tróficas. En este sentido, el análisis de los ocho géneros de hormigas más representativos del bosque, es decir, de los géneros que registraron mayor abundancia, puede considerarse como un buen punto de partida para comprender la dinámica de hormigas en Otongachi, el cual es un ecosistema tropical con un importante valor científico debido a su gran diversidad de flora y fauna.

Considerando el gran valor ecológico y económico que representan las hormigas para el ser humano y para el resto de seres vivos, este estudio constituye un aporte para la conservación de especies y de la biodiversidad que existe en los ecosistemas. De tal forma, este trabajo contribuye al campo de la ecología y economía, puesto que permite comprender lo que está ocurriendo con la abundancia de hormigas en Otongachi y a su

vez puede considerarse como un insumo para la toma de decisiones relacionadas con políticas económicas-ambientales.

Dado que la abundancia de hormigas de los géneros estudiados se mantendrá constante en los próximos años, se rechaza la hipótesis planteada en un inicio sobre una posible disminución de abundancia futura de hormigas en Otongachi al corto plazo. De tal forma, las tendencias constantes del presente estudio y tendencias crecientes de abundancia que reportan otras investigaciones sobre insectos, son resultados que contradicen el Armagedón Global de Insectos que mencionan ciertos autores. En consecuencia, no está sucediendo una reducción de insectos a nivel mundial.

Los pronósticos obtenidos fueron resultados parcialmente esperados. Considerando las distintas tendencias de abundancia reportadas en todo el mundo y la diferente taxonomía y ecología de los géneros de hormigas estudiados, se hubiese esperado pronósticos crecientes, decrecientes o constantes de abundancia. Ahora bien, tras comprobar la estacionariedad y no estacionalidad de las series de tiempo de abundancia de cada género de hormigas como requisito previo a utilizar modelos de suavizado exponencial simple, esta metodología que realiza un único suavizamiento de los datos, proporcionaría como resultado pronósticos con tendencias constantes.

La abundancia de hormigas que se mantendrá constante en Otongachi puede ser explicada por el propio comportamiento de las hormigas, el cual se relaciona con las características taxonómicas y ecológicas de estos insectos. Los diferentes taxones de hormigas (especies, géneros, entre otros) podrían estar teniendo comportamientos y respuestas distintas ante diversos factores, ya sean estos climáticos u antropogénicos. O incluso, el impacto de estos factores tomaría más tiempo y aún no sería visible sobre la abundancia de los géneros de hormigas en el rango de tiempo analizado. Además, los resultados de este trabajo indican que posiblemente las hormigas no están migrando o no están muriendo, a pesar de la competencia con otras especies y la alta depredación por parte de otros animales.

Este estudio presenta evidencia de que la abundancia de hormigas en Otongachi se mantendrá constante al corto plazo, pero se desconoce sobre su comportamiento al largo plazo. Por ello, para los géneros *Hypoponera* y *Strumigenys* de trampas pitfall cuyo pronóstico de abundancia futura es de una sola hormiga, puede que al largo plazo existan muestreos en los que dicha abundancia pueda llegar a ser nula. Sin embargo, esta posibilidad necesita ser analizada mediante estudios adicionales. A pesar de esto, la disminución parcial o total en abundancia de cualquier taxón de hormigas provocaría efectos significativos en el funcionamiento normal del ecosistema.

Las tendencias constantes de abundancia de hormigas en Otongachi no anulan las necesidades de monitoreo y conservación de especies a largo plazo. Desde una perspectiva ecológica, esto permitiría garantizar el funcionamiento y auto mantenimiento de los ecosistemas, y mantener en el tiempo los servicios que estos insectos proveen, como el servir de alimento a otras especies de las redes tróficas, polinizar las plantas, remover materia orgánica, entre otras funciones. Asimismo, desde el punto de vista de la economía, esto permitiría garantizar la producción de alimentos a nivel mundial, debido a que los insectos polinizan cerca del 75% de los cultivos de alimentos en todo el mundo.

#### *Consideraciones metodológicas*

Este estudio presentó tres limitaciones metodológicas: las series de tiempo de cada género tuvieron muy pocas observaciones, los modelos de suavizados exponencial proporcionaron buenos pronósticos solo para el corto plazo, y la base de datos no aportó con información sobre variables climáticas o antropogénicas para ampliar el estudio. Además, es importante mencionar que el hecho de tomar en cuenta estas limitaciones metodológicas previo a modelizar la abundancia de hormigas, aportó validez a los resultados del presente estudio. Caso contrario, se hubiesen desencadenado posibles errores de tendencias y conclusiones equivocadas sobre la abundancia de los géneros de hormigas que se analizaron.

La elección del valor de suavizado de los datos de abundancia observada fue muy importante, debido a que, ante la mínima variación de la constante de suavizado, la

exactitud del pronóstico cambió en gran magnitud. Además, la constante de suavizado óptima determinó la velocidad lenta o rápida del suavizamiento y permitió minimizar el valor de MAPE, capturando de tal forma el mejor ajuste para cada pronóstico. De esta manera, los pronósticos obtenidos constituyeron buenos resultados.

## Capítulo 7

### 7. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios futuros que utilicen datos recopilados de ecosistemas en los que el ser humano ha intervenido y no solo datos provenientes de áreas naturales y protegidas, como lo hacen gran cantidad de estudios sobre insectos y hormigas que se revisaron en este trabajo. En los hábitats que están siendo alterados, la abundancia, riqueza y diversidad de especies podrían ser diferentes en comparación a áreas naturales, que corresponden a regiones que de por sí se caracterizan por su gran riqueza y diversidad, y que paradójicamente son los sitios que más se están analizando. De esta manera, se lograría tener un panorama más general sobre la dinámica de insectos en diferentes partes del mundo y en ecosistemas diferentes.

De este estudio se puede destacar la necesidad de contar con bases de datos históricas más extensas sobre comunidades de insectos. Por tanto, se recomienda realizar muestreos estandarizados más consecutivos y durante periodos más largos sobre las comunidades de insectos, y también recopilar información sobre factores bióticos y abióticos del área de estudio. De tal forma, dichas bases de datos servirían como insumos para perfilar estudios futuros más completos y que puedan ser comparados con otros estudios. En consecuencia, dichos estudios proporcionarían conclusiones más completas y cercanas a realidad respecto a la dinámica de los insectos en los bosques tropicales.

A pesar de que ciertos estudios reportan pronósticos constantes en abundancia de insectos, como lo hace el presente trabajo, se recomienda no asumir que dichos resultados sean tranquilizadores. En este sentido, se sugiere no esperar a que las consecuencias sean alarmantes e irreversibles sobre las comunidades de insectos al largo plazo para tomar medidas al respecto, sino hacerlo antes de que dichas consecuencias sean visibles y estén afectando a los seres vivos que habitan en los ecosistemas. Además, considerando que las comunidades de insectos cambian constantemente y que según ciertos autores el

cambio climático está alterando su dinámica, se sugiere mantener un monitoreo continuo de las comunidades de insectos a largo plazo.

Dada la falta de estudios a nivel de país y a nivel mundial de series temporales sobre abundancia de hormigas, se recomienda impulsar estos estudios considerando enfoques ecológico-económico y de conservación de especies. Asimismo, se sugiere desarrollar constantemente investigaciones que actualicen estimaciones del valor económico que representan los servicios ecológicos que brindan los insectos. De este modo, dichas cifras servirían como un medio para transmitir la magnitud que implicaría la pérdida de las funciones que los insectos realizan. Además, considerando la estrecha relación entre la polinización que realizan los insectos sobre los cultivos de alimentos, se recomienda ampliar estudios específicos sobre insectos y seguridad alimentaria.

Por último, se sugiere que las personas que formulan políticas públicas en torno a temas ecológicos y ambientales, consideren estudios realizados por la comunidad académica e investigadores (como el presente trabajo), previo a la toma de decisiones. Esto permitiría guiar dicha toma de decisiones, y que estas sean acertadas y eficaces. De esta forma se lograría contribuir a la conservación de especies y en general a la protección de los ecosistemas y de su biodiversidad.

## Bibliografía

- Abrami, A., Aravkin, A. Y., & Kim, Y. (2017). Time Series Using Exponential Smoothing Cells. *AISTATS*. <http://arxiv.org/abs/1706.02829>
- Acosta-Estrada, B. A., Reyes, A., Rosell, C. M., Rodrigo, D., & Ibarra-Herrera, C. C. (2021). Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products. *Frontiers in Nutrition*, 8, 344. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.687712/BIBTEX>
- Agosti, D., & Alonso, L. (2000). The ALL Protocol. A Standard Protocol for the Collection of Ground -Dwelling Ants. In D. Agosti, J. Majer, L. Alonso, & T. Schultz (Eds.), *ANTS. Standard Methods For Measuring and Monitoring Biodiversity* (pp. 204–206). Smithsonian Institution.
- Agosti, D., & Alonso, L. (2003). El Protocolo ALL: un estándar para la colección de hormigas del suelo. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical* (pp. 415–418). Smithsonian Institution Press.
- Agosti, D., Majer, J., Alonso, L., & Schultz, T. (2000). Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity . In *Biological Diversity Handbook Series* (Ed.), <https://doi.org/10.1086/343974> (Issue 2). The University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1086/343974>
- Agudelo-Martínez, J. C., & Pérez-Buitrago, N. (2020). Riqueza estacional y estructura de la comunidad de hormigas epígeas en fragmentos de bosque de sabanas inundables, Orinoquia Colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 947–958. <https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.672>
- Almeida, R. P. S., Silva, R. R., da Costa, A. C. L., Ferreira, L. V., Meir, P., & Ellison, A. M. (2023). Induced drought strongly affects richness and composition of ground-dwelling ants in the eastern Amazon. *Oecologia*. <https://doi.org/10.1007/s00442-023-05316-x>

- Alonso, L. E. (2000). Ants as indicators of diversity. In D. Agosti, J. , Majer, L. Alonso, & T. Schulz (Eds.), *Ants, Standard methods for measuring and monitoring biodiversity* (pp. 80–88). Smithsonian Institution Press.
- Alvarado, A. C. (2021, March 8). ¿Comería grillos? En Ecuador se preparan ‘snacks’, suplementos y platos con esa proteína. *El Comercio*. [https://www.elcomercio.com/tendencias/proteina-grillos-ecuador-platillos-snacks.html?fbclid=IwAR04cUNGAIMOdX89zXqw11dxBx\\_bpQvOwPRNR5kqsxKvkVPQXIJeAK6caVs](https://www.elcomercio.com/tendencias/proteina-grillos-ecuador-platillos-snacks.html?fbclid=IwAR04cUNGAIMOdX89zXqw11dxBx_bpQvOwPRNR5kqsxKvkVPQXIJeAK6caVs)
- Alvarado. (1966). *SISTEMATICA, TAXONOMIA, CLASIFICACION Y NOMENCLATURA*.
- Anderson, S. A. (1990). Core Indicators of Nutritional State for Difficult-to-Sample Populations. *The Journal of Nutrition*, 120(11), 1555–1598. 10.1093/jn/120.suppl\_11.1555
- AntWeb. (2023). *AntWeb*. *AntWeb*. *AntWeb*. <https://www.antweb.org/description.do?subfamily=ectatomminae&genus=gnamptogenys&rank=genus>
- Arcila, A. M., & Lozano-Zambrano, F. H. (2003). Hormigas como herramienta para la bioindicación y el monitoreo . In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 159–166). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Arcos Argoti, M. D. (2011). *PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR UNA RUTA DE OBSERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA EN LA RESERVA DE OTONGACHI*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Armbrrecht, I., Chacón de Ulloa, P., Montoya-Lerma, J., Rivera, L. F., Zabala, G. A., García-Cárdenas, R., Gallego-Roper, M. C., HerreraRangel, J., Henao-Gallego, N., Sanabria, C., Achury, R. A., Santamaría, C., Escobar-Ramírez, S., & Jiménez-Carmona, E. (2019). Ecología. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de*



*Colombia* (pp. 175–201). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.

Basset, Y., & Lamarre, G. P. A. (2019). Toward a world that values insects: Rapid adoption of conservation measures is key to protecting insect populations. *Science*, *364*(6447), 1230–1231. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAW7071>

Bestelmeyer, B., Agosti, D., Alonso, L., Brandao, R., Brown Jr., W., Delabie, J., & Silvestre, R. (2000). Fiel Techniques for the Study of Ground-Dwelling Ants. In D. Agosti, J. Majer, L. Alonso, & T. Schultz (Eds.), *ANTS. Standard Methods For Measuring and Monitoring Biodiversity*. Smithsonian Institution .

Betancourt. (2016). *Suavización exponencial simple para pronosticar la demanda*. Ingenio Empresa. <https://www.ingenioempresa.com/suavizacion-exponencial-simple/>

Beusen, A. H. W., Bouwman, A. F., Heuberger, P. S. C., Van Drecht, G., & Van Der Hoek, K. W. (2008). Bottom-up uncertainty estimates of global ammonia emissions from global agricultural production systems. *Atmospheric Environment*, *42*(24), 6067–6077. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2008.03.044>

Bigger, M. (1993). Time series analysis of variation in abundance of selected cocoa insects and fitting of simple linear predictive models. *Bulletin of Entomological Research*, *83*(2), 153–169. <https://doi.org/10.1017/S0007485300034647>

Bioforest. (2000). *Progetto Otonga*. Associazione Per La Rigenerazione Degli Ambienti Naturali. [https://www.bioforest.it/it\\_it/progetto-otonga](https://www.bioforest.it/it_it/progetto-otonga)

Blekh, A. (2020). *Best method for short time-series*. <https://stats.stackexchange.com/q/135080>

Bodenheimer, F. S. (1951). Insects as Human Food. *Insects as Human Food*, 7–38. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-6159-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-6159-8_1)

- Bolton, B. (1995). A taxonomic and zoogeographical census of the extant ant taxa (Hymenoptera: Formicidae). *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00222939500770411*, 29(4), 1037–1056. <https://doi.org/10.1080/00222939500770411>
- Booher, D. B. (2019). Taxonomic clarification of two Nearctic *Strumigenys* (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 4664(3), 401–411. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4664.3.7>
- Booher, D. B. (2021). The ant genus *Strumigenys* Smith, 1860 (Hymenoptera: Formicidae) in western North America North of Mexico. *Zootaxa*, 5061(2–4). <https://www.biotaxa.org/Zootaxa/article/view/zootaxa.5061.2.1>
- Bravo, J. M., Somarriba, E., & Arteaga, G. (2011). FACTORES QUE AFECTAN LA ABUNDANCIA DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO EN SISTEMAS AGROFORESTALES. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 28(1), 119–131.
- Brown, R., & Meyer, R. (1961). The Fundamental Theorem of Exponential Smoothing. *Operations Research*, 9(5), 673–685. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1287/opre.9.5.673>
- Brown, W. (1993). Two new species of *Gnamptogenys*, and an account of millipede predation by one of them. *Psyche*, 99, 275–289. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.27012>
- Brown, W. (2011). *A world revision of the ant tribe Basicerotini*. Nabu Press. <https://www.amazon.com/world-revision-ant-tribe-Basicerotini/dp/1174789239>
- Campbell, J., & Perro, P. (1991). *Pitfalls and Opportunities: What Macroeconomists Should Know About Unit Roots* (NBER Technical Working Paper, Ed.). National Bureau of Economic Research. [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/t0100/t0100.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/t0100/t0100.pdf)

- Cañadas Cruz, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Banco Central del Ecuador.  
[https://books.google.com.ec/books/about/El\\_mapa\\_bioclim%C3%A1tico\\_y\\_ecol%C3%B3gico\\_del\\_E.html?hl=es&id=8aRcAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/El_mapa_bioclim%C3%A1tico_y_ecol%C3%B3gico_del_E.html?hl=es&id=8aRcAAAAMAAJ&redir_esc=y)
- Chacón de Ulloa, P. (1994). Biología e impacto económico de las hormigas. *Palmas*, 15, 25–30. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/452/452>
- Crane, E. (1990). *Bees and Beekeeping Science, Practice and World Resources*. Cornell University Press, 640.  
[https://www.scirp.org/\(S\(oyulxb452alnt1aej1nfow45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1654258](https://www.scirp.org/(S(oyulxb452alnt1aej1nfow45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1654258)
- Crossley, M. S., Meier, A. R., Baldwin, E. M., Berry, L. L., Crenshaw, L. C., Hartman, G. L., Lagos-Kutz, D., Nichols, D. H., Patel, K., Varriano, S., Snyder, W. E., & Moran, M. D. (2020). No net insect abundance and diversity declines across US Long Term Ecological Research sites. *Nature Ecology & Evolution*.  
<https://doi.org/10.1038/s41559-020-1269-4>
- Cuezzo, F. (1999). Nuevas citas de hormigas de las tribus Dacetini y Basicerotini (Hymenoptera: Formicidae) para la República Argentina. *Revista de La Sociedad Entomológica Argentina*, 58(3–4), 209–210.
- Dash, S. T. (2011). *A Taxonomic Revision Of The New World Hypoponera Santschi, 1938 (Hymenoptera: Formicidae)*. [https://digitalcommons.utep.edu/open\\_etd](https://digitalcommons.utep.edu/open_etd)
- Dash, S. T., & Mackay, W. P. (2019). Género *Hypoponera*. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombia* (1st ed., pp. 555–569). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.
- Dejean, A., Bolton, B., & Durand, J. L. (1996). *Cubitermes subarquatus* termitaries as shelters for soil fauna in African rainforests. *Journal of Natural History*, 31(8), 1289–1302. <https://doi.org/10.1080/00222939700770711>

- Della Lucia, T. (2003). Hormigas de importancia económica en la región Neotropical. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 337–349). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, *345*(6195), 401–406. [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1251817/SUPPL\\_FILE/DIRZO-SM.PDF](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1251817/SUPPL_FILE/DIRZO-SM.PDF)
- Donoso, D. A. (2017). Tropical ant communities are in long-term equilibrium. *Ecological Indicators*, *83*, 515–523. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.022>
- Donoso, D. A., & Ramón, G. (2009). Composition of a high diversity leaf litter ant community (Hymenoptera: Formicidae) from an Ecuadorian pre-montane rainforest. *Annales de La Societe Entomologique de France*, *45*(4), 487–499. <https://doi.org/10.1080/00379271.2009.10697631>
- Drepper, F. R., Engbert, R., & Stollenwerk, N. (1994). Nonlinear time series analysis of empirical population dynamics. *Ecological Modelling*, *75–76*(C), 171–181. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)90016-7)
- Dunn, G. A. (1991). *Basic Entomology*. [https://entnemdept.ufl.edu/bug\\_club/teacher-parents/pdf/4h1335basicientomologymanual.pdf](https://entnemdept.ufl.edu/bug_club/teacher-parents/pdf/4h1335basicientomologymanual.pdf)
- Economo, E. P., Klimov, P., Sarnat, E. M., Guénard, B., Weiser, M. D., Lecroq, B., & Knowles, L. L. (2015). Global phylogenetic structure of the hyperdiverse ant genus *Pheidole* reveals the repeated evolution of macroecological patterns. *Royal Society Biological Sciences*, *282*(1–10). <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1416>
- Escárraga, M., Guerrero, R., Daza, A., Gonzalez, J. A., Victoria León, M., Londoño, R., & Quiroga, S. (2014). Hormigas. Un mundo De meñiques gigantes. In *INFOZOA. Boletín de Zoología* (Vol. 4).

- FAO ( Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2019). *THE STATE OF THE WORLD'S BIODIVERSITY FOR FOOD AND AGRICULTURE in brief* .
- Feitosa, R. M., & Prada-Achiardi, F. C. (2019). Subfamilia Ectatomminae. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombia* (1st ed., pp. 659–679). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.
- Fernández. (2013). *El género Ectatomma (Hymenoptera:Formicidae) en Colombia*. Sistema de Información de La Investigación - HERMES. <http://www.hermes.unal.edu.co/pages/Consultas/Proyecto.xhtml?idProyecto=23536>
- Fernández (ed.), F. (2003). *Introducción a las hormigas de la Región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Fernández, F. (2003a). Breve introducción a la biología social de las hormigas. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la Región Neotropical* (pp. 89–96). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Fernández, F. (2003b). Subfamilia Myrmicinae. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la Región Neotropical* (pp. 307–330). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Fernández, F., & Guerreo, R. J. (2019). Sufamilia Ponerinae. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombia* (1st ed., pp. 509–553). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.
- Fernández, F., Guerrero, R. J., & Delsinne, T. (2019). Hormigas de Colombia. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombis* (1st ed.). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.

- Fernández, F., Guerrero, R. J., & Sánchez-Restrepo, A. F. (2021). Systematics and diversity of Neotropical ants. *Revista Colombiana de Entomología*, 47(1). <https://doi.org/10.25100/SOCOLEN.V47I1.11082>
- Fernández, F., & Serna, F. J. (2019). Subfamilia Myrmicinae. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & Delsinne, T. (Eds.), *Hormigas de Colombia* (1st ed., pp. 791–888). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.
- Forister, M. L., Halsch, C. A., Nice, C. C., Fordyce, J. A., Dilts, T. E., Oliver, J. C., Prudic, K. L., Shapiro, A. M., Wilson, J. K., & Glassberg, J. (2021). Fewer butterflies seen by community scientists across the warming and drying landscapes of the American West. *Science*, 371(6533), 1042–1045. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABE5585>
- Fowler, H. G. (1994). Relative representation of Pheidole (Hymenoptera:Formicidae) in local ground ant assemblages of the Americas. *Anales de Biología. Sección Biología Animal (España)*, 19(8), 29–37. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ES9500011>
- Fowler, H. G., Pereira-da-Silva, V., Forti, L. C., & Saes, N. B. (1986). Population Dynamics of Leaf-Cutting Ants. In S. Lofgren & R. K. Vander Meer (Eds.), *Fire Ants and Leaf-Cutting Ants: biology and management* (pp. 123–145). Westview Press. <https://doi.org/10.1201/9780429038266-11>
- Fundación Charles Darwin. (2023). *Lista de Especies de Galápagos. Solenopsis geminata*. <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist?species=6941>
- Fundación Otonga. (2020a). *¿Quiénes somos?* <http://otonga.org/quienes-somos/>
- Fundación Otonga. (2020b). *Reserva Otongachi*. Fundación Otonga. <http://otonga.org/reserva-otongachi/>
- Gardner, E. S. (1985). Exponential smoothing: The State of the Art. *Journal of Forecasting*, 4(1), 1–28. <https://doi.org/10.1002/for.3980040103>

- Geijzendorffer, I. R., & Roche, P. K. (2013). Can biodiversity monitoring schemes provide indicators for ecosystem services? *Ecological Indicators*, 33, 148–157. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2013.03.010>
- González-Tokman, D., Córdoba-Aguilar, A., Dáttilo, W., Lira-Noriega, A., Sánchez-Guillén, R. A., & Villalobos, F. (2020). Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biological Reviews*, 95(3), 802–821. <https://doi.org/10.1111/BRV.12588>
- Greenslade, P. J. M. (1973). SAMPLING ANTS WITH PITFALL TRAPS DIGGING-IN EFFECTS. *Insectes Socioux*, 20(4), 343–353.
- Guerrero, R., & Sarmiento, C. (2010). Distribución altitudinal de hormigas (Hymenoptera, Formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 279–302. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372010000200003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000200003)
- Guevara, E., & Guevara, J. (2005). DATOS PRELIMINARES SOBRE LA DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE AVES DEL BOSQUE INTEGRAL OTONGACHI, PICHINCHA, ECUADOR. *Ornitología Neotropical*, 16, 129–136.
- Gutiérrez, H. (2010). Biología Social: una Mirada Sistémica Comprensiva Biológica. *Revista Mad: Revista Del Magíster En Análisis Sistémico Aplicado a La Sociedad*, 23, 38–42.
- Habel, J. C., Samways, M. J., & Schmitt, T. (2019). Mitigating the precipitous decline of terrestrial European insects: Requirements for a new strategy. *Biodiversity and Conservation*, 28(6), 1343–1360. <https://doi.org/10.1007/S10531-019-01741-8>
- Haines-Young, R. (2009). Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, 26(SUPPL. 1), S178–S186. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2009.08.009>

- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörden, T., Goulson, D., & De Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, *12*(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0185809>
- Hamilton Wright, D. (1991). Correlations Between Incidence and Abundance are Expected by Chance. *Source: Journal of Biogeography*, *18*(4), 463–466.
- Hanzawa, F. M., Beattie, A. J., & Culver, D. C. (1988). Directed Dispersal: Demographic Analysis of an Ant-Seed Mutualism on JSTOR. *The American Naturalist*, *131*(1), 1–13. <https://www.jstor.org/stable/2461795>
- Harvey, J. A., Heinen, R., Gols, R., & Thakur, M. P. (2020). Climate change-mediated temperature extremes and insects: From outbreaks to breakdowns. *Global Change Biology*, *26*(12), 6685–6701. <https://doi.org/10.1111/GCB.15377>
- Harvey, J. A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, P. K., Basset, Y., Berg, M., Boggs, C., Brodeur, J., Cardoso, P., de Boer, J. G., De Snoo, G. R., Deacon, C., Dell, J. E., Desneux, N., Dillon, M. E., Duffy, G. A., Dyer, L. A., ... Chown, S. L. (2022). Scientists' warning on climate change and insects. *Ecological Monographs*. <https://doi.org/10.1002/ECM.1553>
- Hill, D. S. (1997). *The Economic Importance of Insects* (1st ed.). Springer-Science+Business Media, B.V. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=6qvsCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=economic+importance+of+insects&ots=oVD1FrvyPK&sig=2wisZKrqrmnBrakiHzN5OBZhH3c&redir\\_esc=y#v=onepage&q=economic%20importance%20of%20insects&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=6qvsCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=economic+importance+of+insects&ots=oVD1FrvyPK&sig=2wisZKrqrmnBrakiHzN5OBZhH3c&redir_esc=y#v=onepage&q=economic%20importance%20of%20insects&f=false)
- Hölldobler, B., & Wilson, E. (1990). The Ants. In *Journal of Evolutionary Biology* (Issue 1). <https://doi.org/10.1046/J.1420-9101.1992.5010169.X>



- Holt, C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International Journal of Forecasting*, 20(1), 5–10. <https://sci-hub.se/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015>
- Holt, E. A., & Miller, S. W. (2011). Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge*, 2(2), 8.
- Hunter, M. D. (2001). Multiple approaches to estimating the relative importance of top-down and bottom-up forces on insect populations: Experiments, life tables, and time-series analysis. *Basic and Applied Ecology*, 2(4), 295–309. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00068>
- Jaffe, K. (1986). Control of *Atta* and *Acromyrmex* spp. in pine tree plantations in the Venezuelan llanos. In C. S. Lofgren & R. K. Vander Meer (Eds.), *Fire ants and leaf-cutting ants: biology and management* (pp. 409–416). Westview Press. <https://doi.org/10.3/JQUERY-UIJS>
- Janicki, J., Dickie, G., Scarr, S., & Chowdhury, J. (2022, December 6). *The collapse of insects*. Reuters Graphics. <https://www.reuters.com/graphics/GLOBAL-ENVIRONMENT/INSECT-APOCALYPSE/egpbykdxjvq/>
- Janzen, D. H. (1966). Coevolution of Mutualism Between Ants and Acacias in Central America. *Evolution*, 20(3), 249. <https://doi.org/10.2307/2406628>
- Jiménez Martínez, E. (2009). *ENTOMOLOGÍA* (1st ed.). Universidad Nacional Agraria.
- Kaspari, M. (2003). Introducción a la ecología de las hormigas. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* (pp. 97–112). Smithsonian Institution Press.
- Klein, A.-M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes

- for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Kolbert, E. (2014). *The Sixth Extinction: An Unnatural History*. <http://www.lcparty.org/library/2021-01-10-10-04-52/176-the-sixth-extinction-an-unnatural-history-elizabeth-kolbert/file>
- Kremen, C., & Chaplin-Kramer, R. (2007). Insects as providers of ecosystem services: Crop pollination and pest control. *Insect Conservation Biology: Proceedings of the Royal Entomological Society's 23rd Symposium*, 349–382. <https://doi.org/10.1079/9781845932541.0349>
- Kusnezov, N. (1949). *El género Cyphomyrmex (Hymenoptera, Formicidae) en la Argentina* (Vol. 8). [https://www.antwiki.org/wiki/images/3/3e/Kusnezov\\_1949d.pdf](https://www.antwiki.org/wiki/images/3/3e/Kusnezov_1949d.pdf)
- Lattke. (1990). Revisión del genero Gnamptogenys Roger (Hymenóptera: Formicidae) para Venezuela. *Acta Terramaris*, 2, 1–47. [https://www.researchgate.net/publication/48222775\\_Revision\\_del\\_genero\\_Gnamptogenys\\_Roger\\_Hymenoptera\\_Formicidae\\_para\\_Venezuela](https://www.researchgate.net/publication/48222775_Revision_del_genero_Gnamptogenys_Roger_Hymenoptera_Formicidae_para_Venezuela)
- Lattke. (2003). Subfamilia Ponerinae. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la Región Neotropical* (pp. 261–276). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lattke. (1995). Revision of the ant genus Gnamptogenys in the New World (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Hymenoptera Research*, 4, 137–193. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/26861>
- Lattke, Fernández, F., & Palacio, E. E. (2007). IDENTIFICATION OF THE SPECIES OF GNAMPTOGENYS ROGER IN THE AMERICAS. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 254–270.

- Leal, I. R., & Oliveira, P. S. (1995). Behavioral Ecology of the Neotropical Termite-Hunting Ant *Pachycondyla* (= *Termitopone*) *marginata*: Colony Founding, Group-Raiding and Migratory Patterns on JSTOR. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 37(6), 373–383. <https://www.jstor.org/stable/4601156>
- Leeanne, E. A., & Lloyd, D. (2011). Hormigas de los Tepuyes de la Cuenca Alta del Río Nangaritza, Cordillera del Cóndor. In J. M. Guayasamin & E. Bonaccorso (Eds.), *Evaluacion Ecológica Rápida de la Biodiversidad de los Tepuyes de la Cuenca Alta Del Río Nangaritza, Cordillera Del Condor, Ecuador* (pp. 49–51). Conservation International.
- Lewis, C. D. (1982). *INDUSTRIAL AND BUSINESS FORECASTING METHODS*.
- Linnaeus, C. (1735). *SYSTEMA NATURAE* (3rd ed.). NIEUWKOOP 0 B. DE GRAAF. [https://www.kth.se/polopoly\\_fs/1.199546.1600688273!/Menu/general/column-content/attachment/Linnaeus--extracts.pdf](https://www.kth.se/polopoly_fs/1.199546.1600688273!/Menu/general/column-content/attachment/Linnaeus--extracts.pdf)
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Nature. Regnum Animale*. In *Caroli Linnaei Systema naturae* (10th ed.). Sumptibus Guilielmi Engelmann. <https://doi.org/10.5962/BHL.TITLE.35518>
- Longino, J. (2013). A revision of the ant genus *Octostruma* Forel 1912 (Hymenoptera, Formicidae) . In *Zootaxa* (Ed.), *Zootaxa* (1st ed., Vol. 3699). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3699.1.1>
- Longino, Branstetter, Michael., & Colwell, Robert. (2014). How Ants Drop Out: Ant Abundance on Tropical Mountains. *PLOS ONE*, 9(8), e104030. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0104030>
- Lopez, J. (1997). The power of the ADF test . *Economics Letters*, 57(1), 5–10. [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(97\)81872-1](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)81872-1)

- Losey, J., & Vaughan, M. (2006). The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56(4), 311–323. <https://academic.oup.com/bioscience/article/56/4/311/229003>
- Luck, G. W., Harrington, R., Harrison, P. A., Kremen, C., Berry, P. M., Bugter, R., Dawson, T. R., De Bello, F., Diaz, S., Feld, C. K., Haslett, J. R., Hering, D., Kontogianni, A., Lavorel, S., Rounsevell, M., Samways, M. J., Sandin, L., Settele, J., Sykes, M. T., ... Zobel, M. (2009). Quantifying the Contribution of Organisms to the Provision of Ecosystem Services. *BioScience*, 59(3), 223–235. <https://doi.org/10.1525/BIO.2009.59.3.7>
- Mackay, William P., & Serna, F. (2010). Two New Species of the strigatus Species Complex of the Ant Genus *Cyphomyrmex* (Hymenoptera:Formicidae) from Costa Rica and Panama. *Journal of Hymenoptera Research: Festschrift Honoring Roy Snelling*, 19(1), 44–50. [https://www.antwiki.org/wiki/images/6/64/Mackay\\_W\\_Serna\\_F\\_2010.pdf](https://www.antwiki.org/wiki/images/6/64/Mackay_W_Serna_F_2010.pdf)
- Maeterlinck, M. (2018). *La vida de las hormigas* (1st ed.). Editorial Ariel (Planeta S.A.). [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com)
- Majer, J. D. (1983). Ants: Bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environmental Management*, 7(4), 375–383. <https://doi.org/10.1007/BF01866920/METRICS>
- Makridakis, S., & Wheelwright, S. (1977). Forecasting: Issues & Challenges for Marketing Management. *Journal of Marketing*, 41(4), 24–38. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1177/002224297704100403>
- Martínez-Ezquerro, J. D., Riojas-Garza, A., & Rendón-Macías, M. E. (2017). Clinical significance vs statistical significance. How to interpret the confidence interval at 95 %. *Revista Alergia Mexico*, 64(4), 477–486. <https://doi.org/10.29262/RAM.V64I4.334>

- McGlynn, T. P. (2011). The Ecology of Nest Movement in Social Insects. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev-Ento-120710-100708*, 57, 291–308. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENTO-120710-100708>
- Mcgregor, S. E. (1976). *Insect Pollination Of Cultivated Crop Plants* .
- Mendoza-Viteri, E. M., Ríos Guayasamín, P. D., & Ávila-Andrade, A. (2022). Distribución, riqueza y composición genérica de grupos funcionales de hormigas de varios hábitats del bosque húmedo tropical. *Green World Journal*, 5(3), 1–18. <https://doi.org/10.53313/gwj53039>
- Minitab, L. (2021). *Interpretar los resultados clave para la Suavización exponencial simple* . Soporte de Minitab 20. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/time-series/how-to/single-exponential-smoothing/interpret-the-results/key-results/>
- Montgomery, D. C., Johnson, L. A., & Gardiner, J. S. (1990). *Forecasting and Time Series Analysis* (2nd ed.). McGraw-Hill. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1936228](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1936228)
- Morán Vargas, P., & Quituña Quintuña, C. (2021). *Aprovechamiento del catzo blanco (Platycoelia lutescens), grillo (Acheta domesticus) y tocte (Juglans neotropica) para el desarrollo de panificación nutritiva en la ciudad de Guayaquil* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/54405/1/BINGQ-GS-21P55.pdf>
- Moreau, C. S. (2008). Unraveling the evolutionary history of the hyperdiverse ant genus Pheidole (Hymenoptera: Formicidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48(1), 224–239. <https://doi.org/10.1016/J.YMPEV.2008.02.020>
- Naylor, R., & Ehrlich, P.-R. (1997). *Natural Pest Control Services and Agriculture*. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems,.

[https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2418340](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2418340)

- Nieto Lucero, D. A. (2017). *Diversidad funcional de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) asociadas a la hojarasca de dos especies de plantas que habitan en agregación espacial en un bosque dentro del Parque Nacional Yasuní*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Noss, R. F. (1990). Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4(4), 365–364. <https://www.jstor.org/stable/2385928>
- Oliver, T. H., & Morecroft, M. D. (2014). Interactions between climate change and land use change on biodiversity: Attribution problems, risks, and opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 317–335. <https://doi.org/10.1002/WCC.271>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0706.2010.18644.X>
- Orivel, J., & Dejean, A. (2001). Comparative effect of the venoms of ants of the genus *Pachycondyla* (Hymenoptera: Ponerinae). *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxinology*, 39(2–3), 195–201. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(00\)00113-6](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(00)00113-6)
- Ostertagová, E., & Ostertag, O. (2011). *The Simple Exponential Smoothing Model*. 20–22. [https://www.researchgate.net/publication/256088917\\_The\\_Simple\\_Exponential\\_Smoothing\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/256088917_The_Simple_Exponential_Smoothing_Model)
- Ostertagová, E., & Ostertag, O. (2012). Forecasting using simple exponential smoothing method. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 12(3), 62–66. <https://doi.org/10.2478/v10198-012-0034-2>

- Pacheco, J. A., & Mackay, W. P. (2013). *THE SYSTEMATICS AND BIOLOGY OF THE NEW WORLD THIEF ANTS OF THE GENUS SOLENOPSIS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)*. The Edwin Mellen Press . <http://www.alexanderwild.com>
- Palacio, E. (1997). HORMIGAS DE COLOMBIA VI. DOS NUEVAS ESPECIES DE OCTOSTRUMA (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: BASICEROTINI). *Caldasia*, 19(3), 409–418.
- Parks, I. (2004). *Reserva de Bosque Integral Otonga - Área protegida*. <http://www.parks.it/world/EC/reserva.otonga/Spar.html>
- Parr, C., & Chown, S. (2001). Inventory and bioindicator sampling: Testing pitfall and Winkler methods with ants in a South African Savanna . *Journal of Insect Conservation*, 5(1), 27–36. <https://sci-hub.se/10.1023/A:1011311418962>
- Pérez-Pedraza, L. F., & Fernández, F. (2019). Género *Strumigenys*. In F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne (Eds.), *Hormigas de Colombia* (pp. 1069–1088). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales.
- Peters, M. K., Lung, T., Schaab, G., & Wägele, J. W. (2011). Deforestation and the population decline of the army ant *Dorylus wilverthi* in western Kenya over the last century. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 697–705. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2011.01959.X>
- Piedra Campoverde, G., Bravo, J. L., & Santín, J. R. (2017). PATRONES DE DIVERSIDAD DE HORMIGAS EN EL BOSQUE NUBLADO DE LAS RESERVAS ARCOIRIS Y EL MADRIGAL, ECUADOR. *Bosques Latitud Cero*, 6(2). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/223>
- Pielou, E. C. (1981). The Usefulness of Ecological Models: A Stock-Taking. *The Quarterly Review of Biology* , 56(1), 17–31. <https://doi.org/10.1086/412081>

- Pimentel, D., McLaughlin, L., Zepp, A., Lakitan, B., Kraus, T., Kleinman, P., Vancini, F., Roach, W. J., Graap, E., Keeton, W. S., & Selig, G. (1993). Environmental and Economic Impacts of Reducing U.S. Agricultural Pesticide Use. *The Pesticide Question*, 1, 223–278. [https://doi.org/10.1007/978-0-585-36973-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-0-585-36973-0_10)
- Pitts, J. P., Camacho, G. P., Gotzek, D., McHugh, J. V., & Ross, K. G. (2018). Revision of the Fire Ants of the *Solenopsis saevissima* Species-Group (Hymenoptera: Formicidae). *BioOne*, 120(2), 308–411. <https://doi.org/10.4289/0013-8797.120.2.308>
- Powney, G. D., Carvell, C., Edwards, M., Morris, R. K. A., Roy, H. E., Woodcock, B. A., & Isaac, N. J. B. (2019). Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nature Communications* 2019 10:1, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08974-9>
- Price, P. W., Denno, R. F., Eubanks, M. D., Finke, D. L., & Kaplan Ian. (2011). *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press. [https://books.google.com.ec/books?id=3FNuALVdArYC&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=3FNuALVdArYC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Probst, R. D. S., & Brandão, C. R. F. (2022). A taxonomic revision of the dirt ants, *Basiceros* Schulz, 1906 (Hymenoptera, Formicidae). *Zootaxa*, 5149(1), 35–42. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.5149.1.1>
- Read, J. L. (1996). Use of ants to monitor environmental impacts of salt spray from a mine in arid Australia. *Biodiversity and Conservation*, 5(12), 1533–1543. [https://www.academia.edu/51922787/Use\\_of\\_ants\\_to\\_monitor\\_environmental\\_impacts\\_of\\_salt\\_spray\\_from\\_a\\_mine\\_in\\_arid\\_Australia](https://www.academia.edu/51922787/Use_of_ants_to_monitor_environmental_impacts_of_salt_spray_from_a_mine_in_arid_Australia)
- Read, J. L., & Andersen, A. N. (2000). The value of ants as early warning bioindicators: responses to pulsed cattle grazing at an Australian arid zone locality. *Journal of Arid Environments*, 45(3), 231–251. <https://doi.org/10.1006/JARE.2000.0634>



- Rojas Fernández, P. (2001). Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA (N.S.)*, 1, 189–238. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401851>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2012.11.005>
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L. R., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science (New York, N.Y.)*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.287.5459.1770>
- Salazar-Buenaño, F., & Donoso, D. (2019). Declinación masiva de insectos: ¿Se acerca el Armagedón? *Nuestra Ciencia*, 21, 44–46. [https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21339/1/Salazar\\_Declinacion\\_2019.pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21339/1/Salazar_Declinacion_2019.pdf)
- Sánchez y Gándara, A. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable* (S y G editores, Ed.; 1st ed.). Asociación para el Desarrollo Integral de la Región de Misanta, A.C. <https://books.google.es/books?id=L8v8CRDFm-oC&pg=PA100&dq=biodiversidad+t%C3%A9rmino+referencia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiTuPPggabZAhXHtBQKHcl-B2A4ChDoAQg9MAU#v=onepage&q=biodiversidad%20t%C3%A9rmino%20referencia&f=false>
- Santiago de la Fuente Fernández. (2011). *SERIES TEMPORALES, MÉTODO ALISADO EXPONENCIAL*.
- Sarmiento-M, C. (2003). Metodologías de captura y estudio de las hormigas. In F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical* (pp. 201–210). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Sarnat, E. M., Fischer, G., Guénard, B., & Economo, E. P. (2015). Introduced Pheidole of the world: taxonomy, biology and distribution. *ZooKeys* , 543, 1–109. <https://doi.org/10.3897/ZOOKEYS.543.6050>
- Schmidt, C. A. (2009). *Molecular Phylogenetics and Taxonomic Revision of Ponerine Ants (Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae)* [Universidad de Arizona]. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/194663>
- Schultheiss, P., Nooten, S. S., Wang, R., Wong, M. K. L., Brassard, F., & Guénard, B. (2022). The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(40). <https://doi.org/10.1073/PNAS.2201550119/-/DCSUPPLEMENTAL>
- Seibold, S., Gossner, M. M., Simons, N. K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., Ammer, C., Bauhus, J., Fischer, M., Habel, J. C., Linsenmair, K. E., Nauss, T., Penone, C., Prati, D., Schall, P., Schulze, E. D., Vogt, J., Wöllauer, S., & Weisser, W. W. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 2019 574:7780, 574(7780), 671–674. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>
- Shumway, R. H., & Stogger, D. S. (2000). *Time Series Analysis and Its Applications* . Springer Texts in Statistics. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3261-0>
- Snelling, R. R., & Longino, J. T. (1992). Revisionary notes on the fungus-growing ants of the genus *Cyphomyrmex*, rimosus-group (Hymenoptera: Formicidae: Attini). In D. Quintero & A. Aiello (Eds.), *Insects of Panama and Mesoamerica: selected studies* (pp. 479–494). <https://doi.org/10.15468/Y6LYNS>
- Sosa-Calvo, J., Shattuck, S. O., & Schultz, T. R. (2006). Dacetine ants of Panama: New records and description of a new species (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Dacetini). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 108, 814–821.

[https://www.academia.edu/821662/Dacetine\\_ants\\_of\\_Panama\\_New\\_records\\_and\\_description\\_of\\_a\\_new\\_species\\_Hymenoptera\\_Formicidae\\_Myrmicinae\\_Dacetini\\_](https://www.academia.edu/821662/Dacetine_ants_of_Panama_New_records_and_description_of_a_new_species_Hymenoptera_Formicidae_Myrmicinae_Dacetini_)

Taber, S. (2000). *Fire Ants* (1st ed.). Texas A&M University Press. <https://www.amazon.es/Fire-Taber-Stephen-Welton-Hardcover/dp/B010WEVDTA>

Taylor, R. W. (1967). A Monographic Revision of the Ant Genus *Ponera* Latreille (Hymenoptera: Formicidae). *Pacific Insects Monographs*, 13, 1–112. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.24814>

Thompson, C. R. (1989). The Thief Ants, *Solenopsis molesta* Group, of Florida (Hymenoptera: Formicidae). *The Florida Entomologist*, 72(2), 268. <https://doi.org/10.2307/3494907>

Tim. (2017, April 13). *Best method for short time-series*. Stack-Exchange.

Toro Rivadeneira, D., & González Recio, J. L. (2017). EL PROBLEMA DE LA CONTINUIDAD METABÓLICA EN CRIPTOBIOSIS Y SU ESTUDIO DURANTE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX. *Revista Colombiana de Filosofía de La Ciencia*, 17(34), 75–98.

Tsay, R. (1986). Nonlinearity Tests for Time Series. *Biometrika*, 73(2), 461–466. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.2307/2336223>

Tuan, P. D. (1983). *Time Series Analysis and Biology*. 368–387. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-46475-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-46475-1_26)

Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol. 18, Page 1112, 18(3), 1112. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18031112>

- Valtonen, A., Hirka, A., Szócs, L., Ayres, M. P., Roininen, H., & Csóka, G. (2017). Long-term species loss and homogenization of moth communities in Central Europe. *Journal of Animal Ecology*, *86*(4), 730–738. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12687>
- Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y., & van der Fels-Klerx, H. J. (2013). Safety of Novel Protein Sources (Insects, Microalgae, Seaweed, Duckweed, and Rapeseed) and Legislative Aspects for Their Application in Food and Feed Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(6), 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, *58*, 563–583. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENTO-120811-153704>
- Van Huis, A., Itterbeeck, V. J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: Future prospects for food and feed security* (FAO FORESTRY PAPER, Ed.). <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- Van Klink, R., Bowler, D. E., Gongalsky, K. B., Swengel, A. B., Gentile, A., & Chase, J. M. (2020). Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science*, *368*(6489), 417–420. [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAX9931/SUPPL\\_FILE/AAX9931-VANKLINK-SM.PDF](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAX9931/SUPPL_FILE/AAX9931-VANKLINK-SM.PDF)
- Vanbergen, A. J., Garratt, M. P., Vanbergen, A. J., Baude, M., Biesmeijer, J. C., Britton, N. F., Brown, M. J. F., Brown, M., Bryden, J., Budge, G. E., Bull, J. C., Carvell, C., Challinor, A. J., Connolly, C. N., Evans, D. J., Feil, E. J., Garratt, M. P., Greco, M. K., Heard, M. S., ... Wright, G. A. (2013). Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *11*(5), 251–259. <https://doi.org/10.1890/120126>

- Vasconcelos, H. L., Maravalhas, J. B., & Cornelissen, T. (2017). Effects of fire disturbance on ant abundance and diversity: a global meta-analysis. *Biodiversity and Conservation*, 26, 177–188. <https://doi.org/10.1007/S10531-016-1234-3/METRICS>
- Vásquez-Franco, C. M., & Morrone, J. J. (2021). The genus *Pheidole* (Hymenoptera:Formicidae:Myrmicinae) in Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. <http://rev.mex.biodivers.unam.mx/index.php/es/the-genus-pheidole/>
- Vega, C., & Gómez, J. M. (2014). Pollination by ants: Concepts, evidences and future directions. *Ecosistemas:Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 23(3), 48–57. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-3.07>
- Villalba, V. F., Sgarbi, C., Mason, C. S., & Ricci, M. (2011). *III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE-247-GRUPOS FUNCIONALES DE HORMIGAS: EVALUACIÓN DE SU UTILIZACIÓN COMO INDICADORES DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTO DE LA AGRICULTURA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.*
- Villavicencio, J. (2010). *Introducción a Series de Tiempo* (Academia. Accelerating the world's research, Ed.).
- Wagner, D. L. (2019). Global insect decline: Comments on Sánchez-Bayo and Wyckhuys . *Biological Conservation*, 233, 332–333. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2019.03.005>
- Wagner, D. L. (2020). Insect declines in the anthropocene. *Annual Review of Entomology*, 65, 457–480. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENTO-011019-025151>
- Ward, P. S. (2007). Phylogeny, classification, and species-level taxonomy of ants (Hymenoptera: Formicidae)\*. *Zootaxa*, 1668, 549–563. [www.mapress.com/zootaxa/](http://www.mapress.com/zootaxa/)

- Weber, N. A. (1955). Fungus-growing ants and their fungi: *Cyphomyrmex rimosus minutus*. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 45(9), 275–281. <https://www.jstor.org/stable/24533903>
- Whigham, P. A., & Recknagel, F. (2001). An inductive approach to ecological time series modelling by evolutionary computation. *Ecological Modelling*, 146(1–3), 275–287. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00313-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00313-1)
- Wild, A. L. (2002). THE GENUS PACHYCONDYLA (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) IN PARAGUAY. *Boletín Del Museo Nacional de Historia Natural Del Paraguay*, 14(2), 1–18.
- Wilson, E. (1963). The Social Biology of Ants. *Annual Review of Entomology*, 8(1), 345–368. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.EN.08.010163.002021>
- Wilson, E. (1984). Tropical social parasites in the ant genus *Pheidole*, with an analysis of the anatomical parasitic syndrome (Hymenoptera: Formicidae). *Insectes Sociaux*, 31(3), 316–334. <https://doi.org/10.1007/BF02223615>
- Wilson, E. (1985). Time to revive systematics. *Science*, 230(4731), 1227. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.230.4731.1227>
- Wilson, E. (1987). The Little Things That Run the World (The Importance and Conservation of Invertebrates). *Conservation Biology*, 1(4), 344–346. <http://www.jstor.org/stable/2386020>
- Wilson, E. (2003). *Pheidole in the new world : a dominant, hyperdiverse ant genus*. Harvard University Press.
- Wilson, E. O. (2003). *Pheidole in the New World: A Dominant, Hyperdiverse Ant Genus*. Harvard University Press, Cambridge, 818. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442005000100033](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442005000100033)

Wooldridge, J. M. (2009). *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno* (4th ed.).

Zara, F. J., & Fowler, H. G. (2005). Pheidole in the New World: A Dominant, Hyperdiverse Ant Genus. *Revista de Biología Tropical*, 53(1–2), 297–304.  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442005000100033](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442005000100033)

Zumba, L. (2021, March 12). Los grillos y su salto a inspirar nuevos negocios. *Expreso*.  
<https://www.expreso.ec/actualidad/economia/grillos-salto-inspirar-nuevos-negocios-100004.html>

## Anexos

### Anexo 1 Prueba de no estacionariedad (Dickey Fuller Aumentada)

El análisis formal de estacionariedad de las series de los ocho géneros de hormigas se realizó mediante la prueba de Dickey Fuller Aumentada. A continuación, en la Tabla A 1.1 se presentan los resultados de dicha prueba y seguidamente se los analiza.

Tabla A 1.1 Resultados de la prueba de Dickey Fuller Aumentada

Serie	Trampa	Rezagos de la forma funcional	p-valor
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	Un rezago	<b>0.015</b>
	Winkler	Un rezago	<b>0.042</b>
<i>NeoponeraL</i>	Pitfall	Un rezago	0.006
	Winkler	Un rezago	0.510
<i>Pheidole</i>	Pitfall	Un rezago	<b>0.048</b>
	Winkler	Un rezago	<b>0.033</b>
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	Un rezago	0.144
	Winkler	Dos rezagos	0.676
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	Un rezago	<u>0.101</u>
	Winkler	Un rezago	<b>0.016</b>
<i>Hypoponera</i>	Pitfall	Un rezago	0.233
	Winkler	Un rezago	<b>0.017</b>



Tabla A 1.1 Resultados de la prueba de Dickey Fuller Aumentada  
(Continuación)

Serie	Trampa	Rezagos de la forma funcional	p-valor
<i>Octostruma</i>	Pitfall	Dos rezagos	0.670
	Winkler	Un rezago	0.250
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	Un rezago	0.330
	Winkler	Dos rezagos	<b>0.028</b>

Para todos los géneros de hormigas se especificó una forma funcional de la prueba con intercepto y sin tendencia. Se consideran tres niveles de significancia: 1%, 5% y 10%. En cursiva se muestran valores estadísticamente significativos al 1%, en negrita al 5% y, subrayado, al 10%. Los demás valores no son estadísticamente significativos a ningún nivel de significancia (p-valor es superior al 1%, 5% y 10%). Para mayor precisión, los p-valores se expresan con tres cifras decimales.

Elaboración: la autora

La prueba de Dickey Fuller Aumentada contrasta la hipótesis nula de no estacionariedad de un proceso frente a la hipótesis alternativa de estacionariedad. Los resultados de la Tabla A 1.1, indican que las series de los géneros *Gnamptogenys* y *Pheidole* son estacionarias tanto para las trampas pitfall como para las winkler. Para dichos géneros, el p-valor de las pruebas es inferior al 5% de significancia y, por tanto, se rechaza la hipótesis nula de no estacionariedad. Igualmente, la serie pitfall y winkler del género *Cyphomyrmex* corresponden a procesos estacionarios, considerando un nivel de significancia del 10% y 5%, respectivamente. Las series de trampas pitfall para los géneros *Hypoponera* y *Strumigenys* no son estacionarias, pero para trampas winkler, sí lo son. Por el contrario, para el género *NeoponeraL*, la serie de trampa pitfall es estacionaria mientras que para trampas winkler, no lo es. Por último, para los géneros *Octostruma* y *Solenopsis*, el p-valor

de las pruebas de Dickey Fuller no es estadísticamente significativo a ningún nivel de significancia para ambos tipos de trampas (pitfall y winkler). Este último resultado indica que los procesos son no estacionarios debido a que no se rechaza la hipótesis nula de no estacionariedad.

## **Anexo 2 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP)**

El análisis gráfico de las funciones de autocorrelación simple y parcial que se muestran a continuación en las Figuras A 2.1, A 2.2, A 2.3, A 2.4, A 2.5, A 2.6, A 2.7 y A 2.8, sugieren que las series de todos los géneros son estacionarias. Como se observa en dichas figuras, a excepción del primer retardo que siempre toma valores de uno, no existen rezagos estadísticamente significativos y, de hecho, como se presenta en el Anexo 6, estos son procesos de ruido blanco.

Considerando los Anexos 1 y 2, presentados anteriormente, se observa que existe contradicción entre lo que indican las pruebas de Dickey Fuller y las funciones de autocorrelación simple y parcial respecto a la estacionariedad para ciertos géneros de hormigas. Esta contradicción puede deberse ciertamente a las características de los datos de abundancia disponibles. Al respecto, según Lopez (1997), la potencia de la prueba de Dickey Fuller está influenciada positivamente por el tamaño de la muestra, y negativamente por el orden de autorregresión. En este caso, dado que las series de tiempo de abundancia constan con pocas observaciones (a lo sumo nueve datos), la elección de la forma funcional y del número de rezagos con el que se realiza la prueba, podría influir significativamente sobre la potencia de la prueba. De tal forma, la potencia de la prueba de Dickey Fuller disminuye y, con ello, podría conducir a conclusiones erróneas de no estacionariedad cuando, en realidad, las series podrían ser estacionarias (Campbell & Perro, 1991).

## *Gnamptogenys*

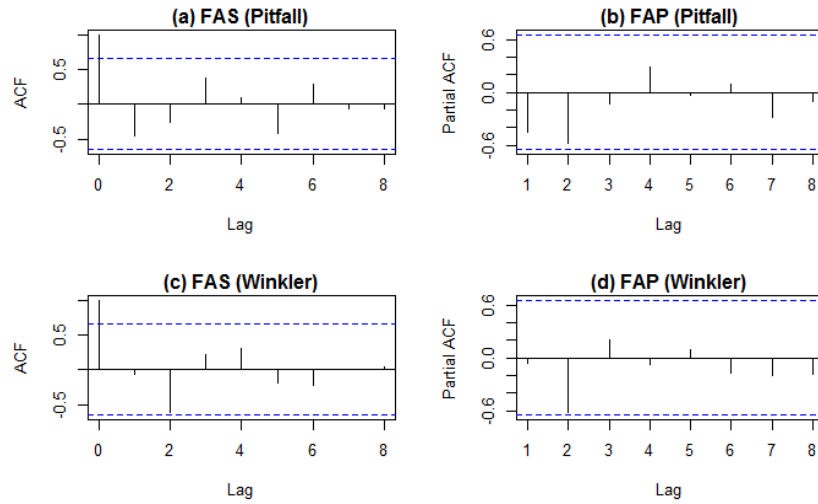


Figura A 2.1 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Gnamptogenys*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

## *NeoponeraL*

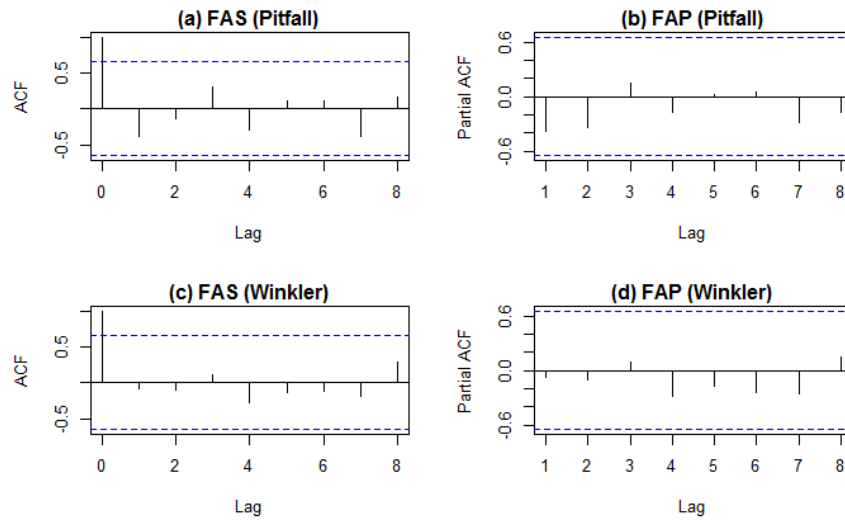


Figura A 2.2 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *NeoponeraL*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

## *Pheidole*

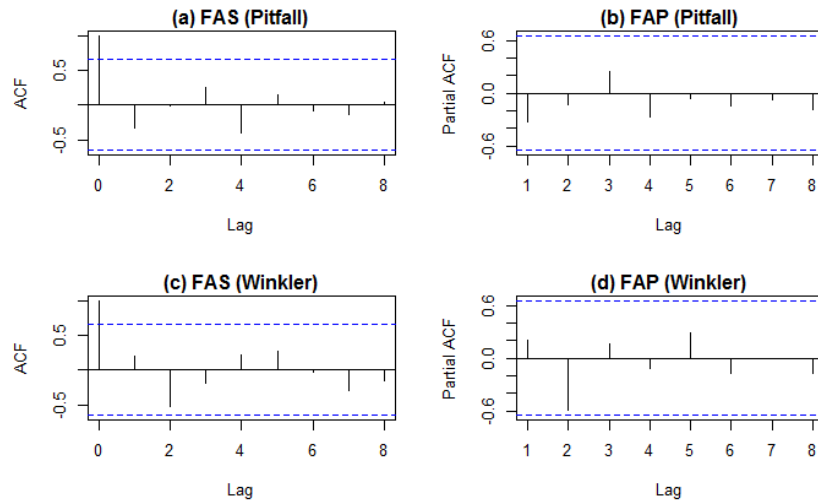


Figura A 2.3 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Pheidole*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

## *Solenopsis*

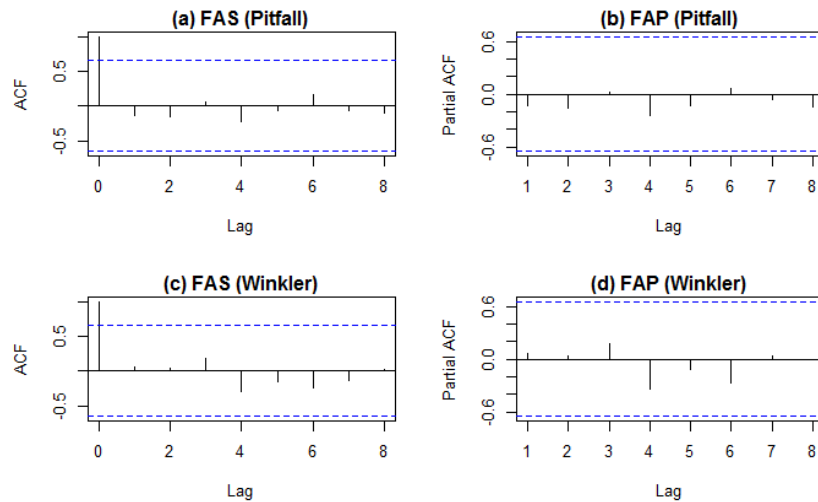


Figura A 2.4 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Solenopsis*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

### *Cyphomyrmex*

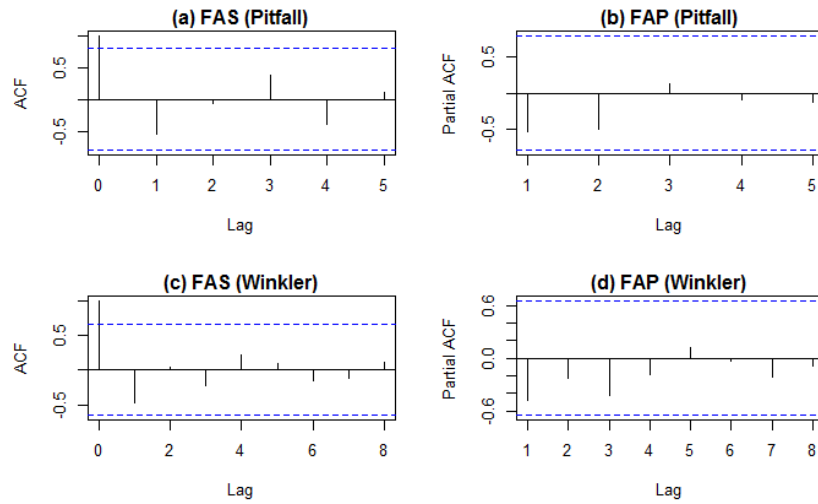


Figura A 2.5 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Cyphomyrmex*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

### *Hypoponera*

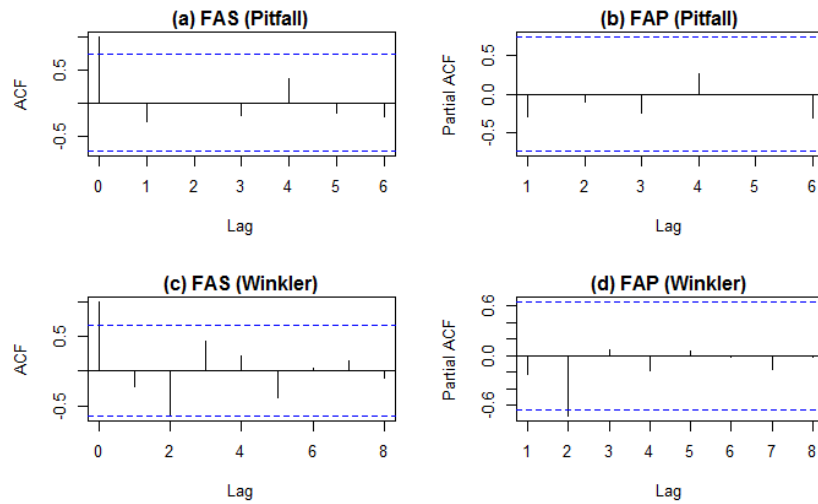


Figura A 2.6 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Hypoponera*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

*Octostruma*

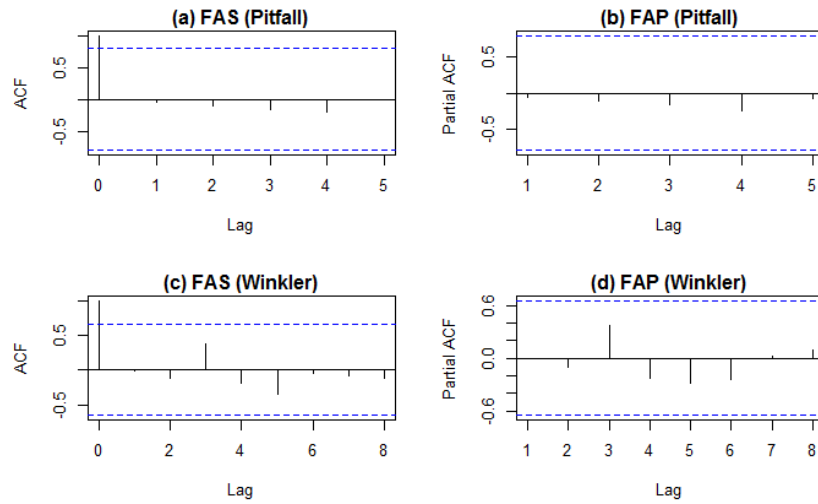


Figura A 2.7 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Octostruma*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

*Strumigenys*

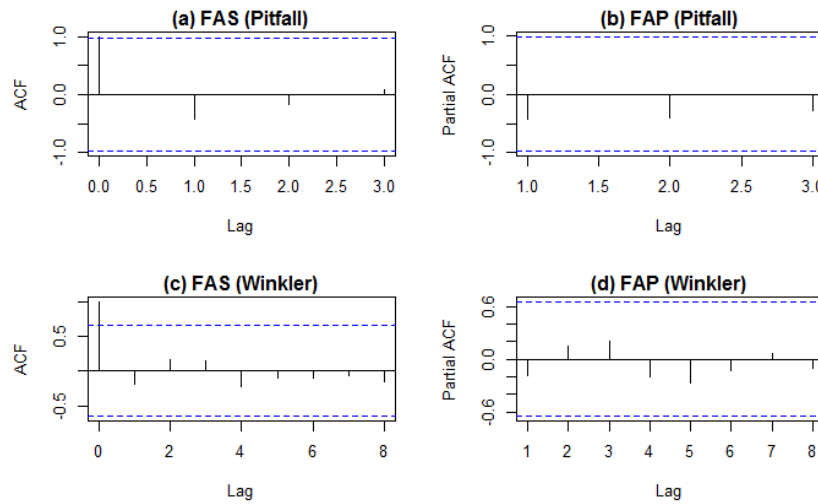


Figura A 2.8 Funciones de autocorrelación simple (FAS) y funciones de autocorrelación parcial (FAP) del género *Strumigenys*. En (a) y (b) se muestran FAS y FAP de trampas pitfall y, en (c) y (d) FAS y FAP de trampas winkler.

Elaboración: la autora

### Anexo 3 Estadística descriptiva de la variable abundancia

Tabla A 3.1 Estadística descriptiva de la variable abundancia

Serie	Trampa	Observaciones (N)	Mínimo	Media ( $\bar{Y}$ )	Máximo	Desviación estándar ( $\sigma$ )
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	9.00	7.00	20.67	36.00	11.31
	Winkler	9.00	29.00	99.89	207.00	56.55
<i>NeoponeraL</i>	Pitfall	9.00	10.00	32.22	72.00	19.11
	Winkler	9.00	3.00	9.56	21.00	6.04
<i>Pheidole</i>	Pitfall	9.00	30.00	127.30	187.00	47.84
	Winkler	9.00	103.00	233.60	334.00	74.04
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	9.00	2.00	23.89	92.00	27.24
	Winkler	9.00	293.00	673.40	1 622.00	406.56
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	6.00	1.00	7.17	14.00	4.88
	Winkler	9.00	34.00	75.11	133.00	38.62
<i>Hypoponera</i>	Pitfall	7.00	1.00	5.143	14.00	5.30
	Winkler	9.00	62.00	110.10	189.00	42.42
<i>Octostruma</i>	Pitfall	6.00	2.00	3.00	7.00	2.00
	Winkler	9.00	24.00	108.2	261.00	79.23
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	4.00	1.00	3.50	11.00	5.00
	Winkler	9.00	37.00	82.33	145.00	40.65

Elaboración: la autora



## Anexo 4 Descripción de las series

### *Gnamptogenys*

El género *Gnamptogenys* está conformado por hormigas que habitan en la tierra, hojarasca o madera descompuesta de bosques húmedos. Estas hormigas se caracterizan por tener hábitos depredadores hacia otras hormigas del suelo o arbóreas, coleópteros y diplópodos (Brown, 1993; Lattke, 1990). En la Figura A 4.1 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

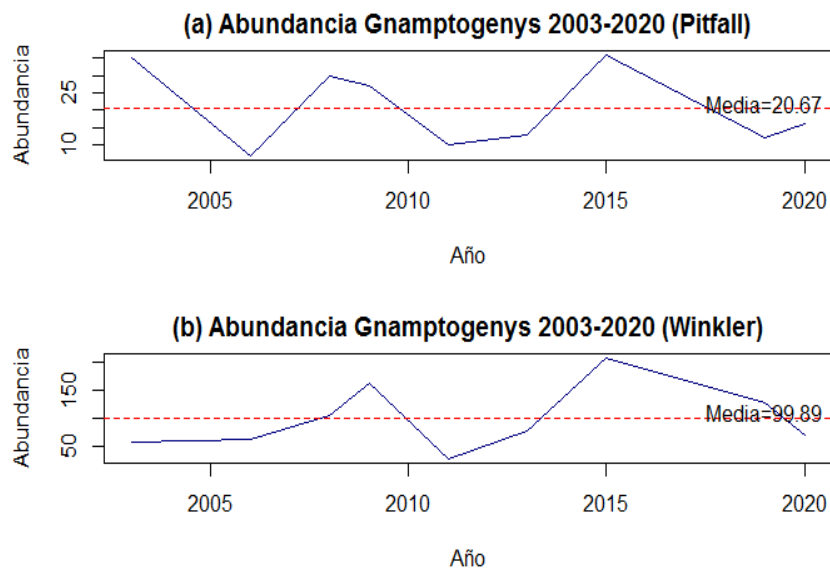


Figura A 4.1 Abundancia de *Gnamptogenys* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.1 (a) se observa que, en las trampas pitfall la abundancia de hormigas del género *Gnamptogenys* se alcanzaron los picos más altos en los años 2003 y 2015, con 35 y 36 hormigas recolectadas, respectivamente. El pico de abundancia más bajo se presentó en

2006, con siete hormigas recolectadas. De igual forma, en la Figura A 4.1 (b) se muestra que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2015 con 207 hormigas, mientras que, el pico de mínima abundancia se alcanzó en 2011 con 29 hormigas recolectadas.

En general, de las Figuras A 4.1 (a) y A 4.2 (b) es posible concluir que, a pesar de que la abundancia cambia durante el periodo de estudio para ambos tipos de trampa, esta se mantiene alrededor de la media, que en el caso de las las trampas pitfall es de 20.67 hormigas y para trampas winkler es de 99.89 individuos.

## *Neoponera*L

El género *Neoponera*L está constituido por los géneros *Neoponera* y *Pachycondyla*, ambos pertenecientes a la subfamilia Ponerinae. *Pachycondyla* es el segundo género más diverso de la región neotropical. Según Brown (2011), dicha diversidad se evidencia biológicamente en la variedad de tamaños de las hormigas, en los diversos lugares que habitan, ya sea bosques húmedos o secos, en sus hábitos depredadores de alimentación y, además, en la forma en como hacen sus nidos en el suelo, hojarasca o fragmentos de madera en estado de descomposición (Agosti et al., 2000). En la Figura A 4.2 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

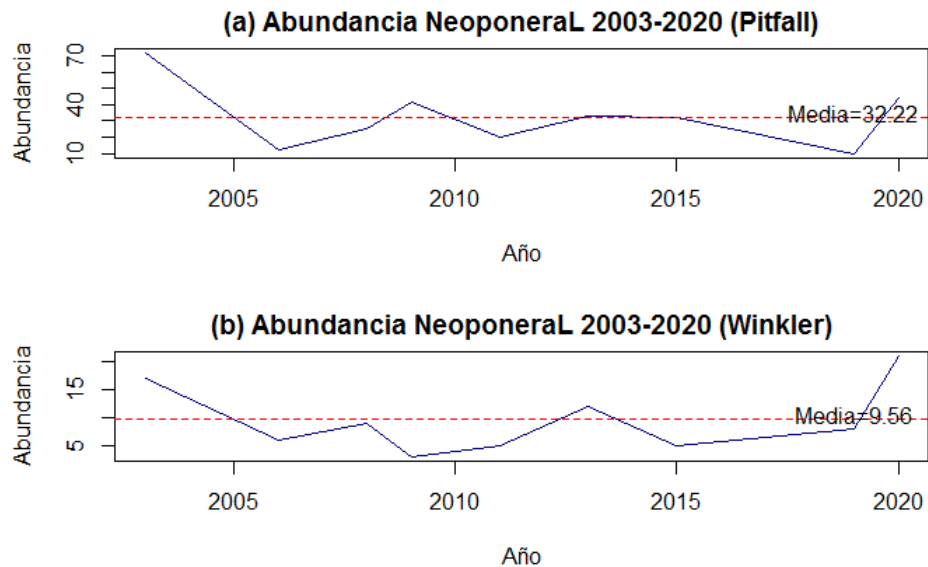


Figura A 4.2 Abundancia de *Neoponera*L en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.2 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Neoponera*L alcanzó el pico más alto en 2003 con 72 hormigas recolectadas, mientras que el pico más bajo de abundancia se presentó en 2019, con 10 hormigas

recolectadas. Del mismo modo, en la Figura A 4.2 (b) se observa que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2020 con 21 hormigas, mientras que el pico de mínima abundancia se alcanzó en 2009 con tres hormigas recolectadas. Además, la abundancia promedio de *NeoponeraL* para las trampas pitfall es de 32.22 hormigas y para trampas winkler es de 9.56 individuos.

## *Pheidole*

*Pheidole* constituye un género neotropical bastante común y abundante. Las hormigas de este género se caracterizan por ser epigeas, es decir, habitan sobre la superficie del suelo (Fernández (ed.), 2003). Un aspecto relevante sobre su comportamiento que menciona Wilson (1984), es que entre las especies que pertenecen a este género puede existir parasitismo social, siendo este un fenómeno bastante inusual y que puede ser explicado por la evolución desigual en el tiempo de los estados de carácter parasitario de las especies (Wilson, 1984). En la Figura A 4.3 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

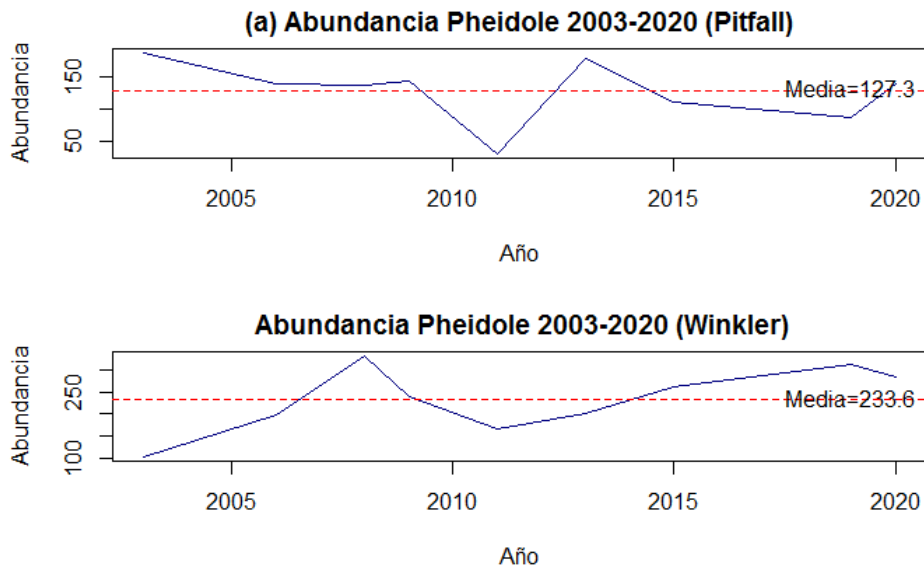


Figura A 4.3 Abundancia de *Pheidole* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.3 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Pheidole* alcanzó el pico más alto en 2003, con 187 hormigas recolectadas, mientras que el pico más bajo de abundancia se presentó en 2011, con 30 hormigas

recolectadas. De igual forma, en la Figura A 4.3 (b) se muestra que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2008, con 334 hormigas, mientras que el pico de mínima abundancia se alcanzó en 2003, con 103 hormigas recolectadas. Adicionalmente, la abundancia promedio de *Pheidole* para las trampas pitfall es de 127.3 hormigas y para trampas winkler es de 233.6.

## *Solenopsis*

Las hormigas del género *Solenopsis* se caracterizan por ser pequeñas y habitar en la hojarasca. En la región Neotropical se han identificado aproximadamente 90 especies que pertenecen a este género. Además, según Taber (2000), dentro de este género también se encuentran las hormigas de fuego, a las cuales se las suele considerar como un grupo independiente, a pesar de que, existe incertidumbre de si ocurre lo contrario y es el resto de hormigas de este género las que se derivan de las hormigas de fuego (Fernández (ed.), 2003). En la Figura A 4.4 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

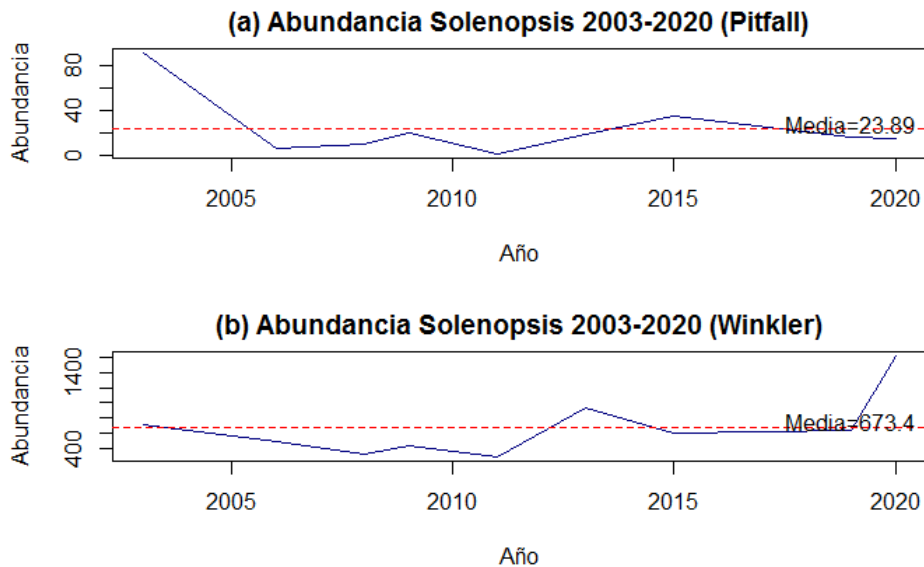


Figura A 4.4 Abundancia de *Solenopsis* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.4 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Solenopsis* alcanzó el pico más alto en 2003 con 92 hormigas recolectadas, mientras que el pico más bajo de abundancia se presentó en 2011, con dos hormigas

recolectadas. Asimismo, en la Figura A 4.4 (b) se observa que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2020, con 1622 hormigas, mientras que el pico de mínima abundancia se obtuvo en 2011, con 293 hormigas recolectadas. Además, la abundancia promedio de *Solenopsis* para las trampas pitfall es de 23.89 hormigas y para trampas winkler es de 673.4 individuos.



## *Cyphomyrmex*

El género *Cyphomyrmex* está constituido por hormigas pequeñas que habitan en la hojarasca y que construyen sus nidos en los árboles. Además, estas hormigas se caracterizan por su destreza para cultivar hongos en los nidos. En la región Neotropical se han identificado aproximadamente 37 especies que pertenecen a este género (Fernández, 2003b). En la Figura A 4.5 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

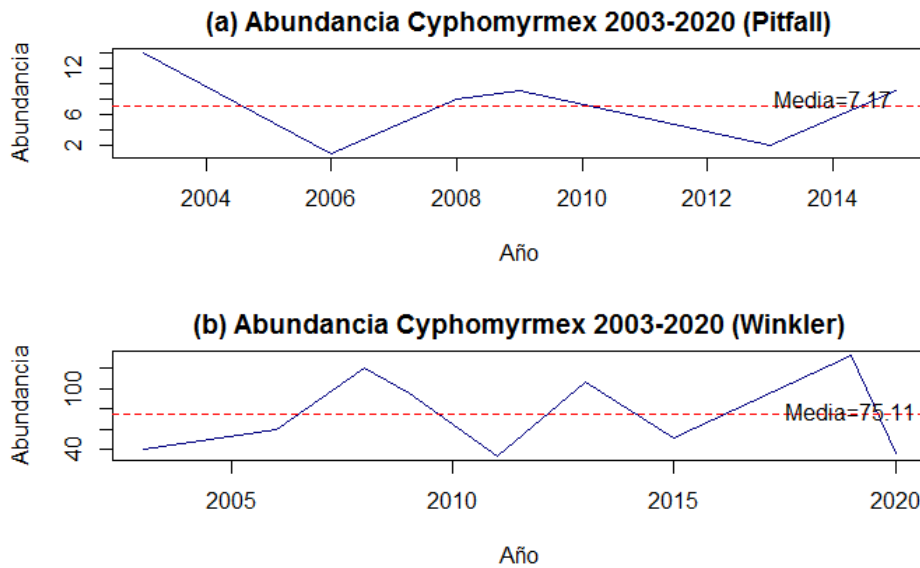


Figura A 4.5 Abundancia de *Cyphomyrmex* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.5 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Cyphomyrmex* alcanzó el pico más alto en 2003, con 14 hormigas recolectadas, mientras que el pico más bajo de abundancia se presentó en 2006, con una única hormiga recolectada. De igual forma, en la Figura A 4.5 (b) se muestra que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2019, con 133 hormigas, mientras que el pico

de mínima abundancia se alcanzó en 2011, con 34 hormigas recolectadas. Adicionalmente, la abundancia promedio de *Cyphomyrmex* para las trampas pitfall es de 7.17 hormigas y para trampas winkler es de 75.11 individuos.

## *Hypoponera*

Las hormigas del género *Hypoponera* habitan tanto en bosques húmedos como en bosques secos. La mayor parte de estas hormigas son pequeñas, depredadoras y suelen hacer sus nidos en la hojarasca o madera que se encuentra en estado de descomposición (Lattke, 2003). Además, según (Brown, 2011), identificar taxonómicamente a las hormigas de este género resulta una tarea difícil, ya que a las hormigas reinas de *Hypoponera* se las suele confundir con hormigas obreras de los géneros *Cryptopone*, *Pachycondyla* y *Ponera* (Agosti et al., 2000). En la Figura A 4.6 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

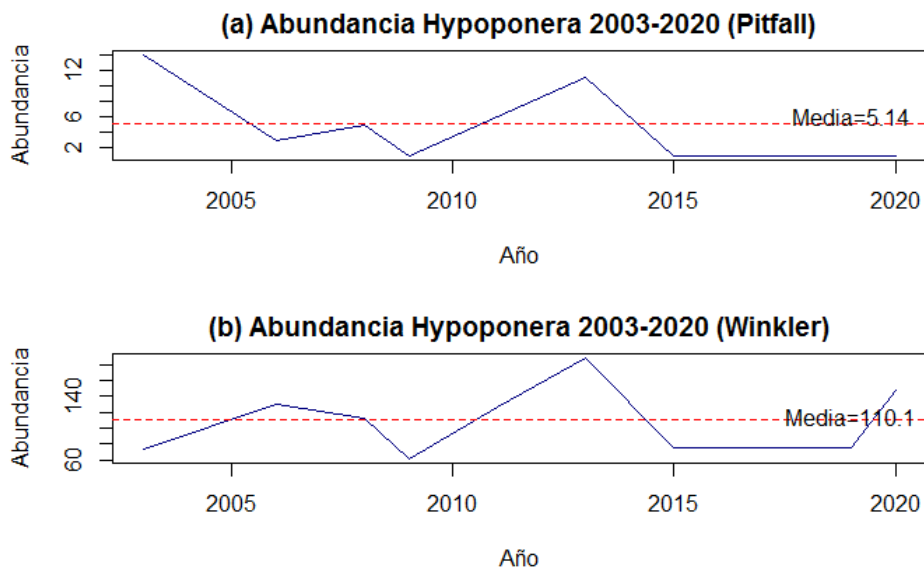


Figura A 4.6 Abundancia de *Hypoponera* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.6 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Hypoponera* alcanzó el pico más alto en 2003, con 14 hormigas recolectadas, mientras que los picos más bajos de abundancia se presentaron en 2009, 2015 y 2020, con

una sola hormiga recolectada en cada uno de estos años. Del mismo modo, en la Figura A 4.6 (b) se muestra que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2013, con 189 hormigas, mientras que el pico de mínima abundancia se alcanza en 2009, con 62 hormigas recolectadas. Adicionalmente, la abundancia promedio de *Hypoponera* para las trampas pitfall es de 5.14 hormigas y para trampas winkler es de 110.1 individuos.

### *Octostruma*

Las hormigas del género *Octostruma* habitan en el suelo, la hojarasca y en madera que se encuentra en estado de descomposición. Según Longino (2013), la recolección de las hormigas de este género es sencilla, sobre todo mediante el tamizado de las muestras de hojarasca que emplean las trampas winkler. En la región Neotropical se han identificado aproximadamente 34 especies que pertenecen a este género (Longino, 2013). En la Figura A 4.7 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

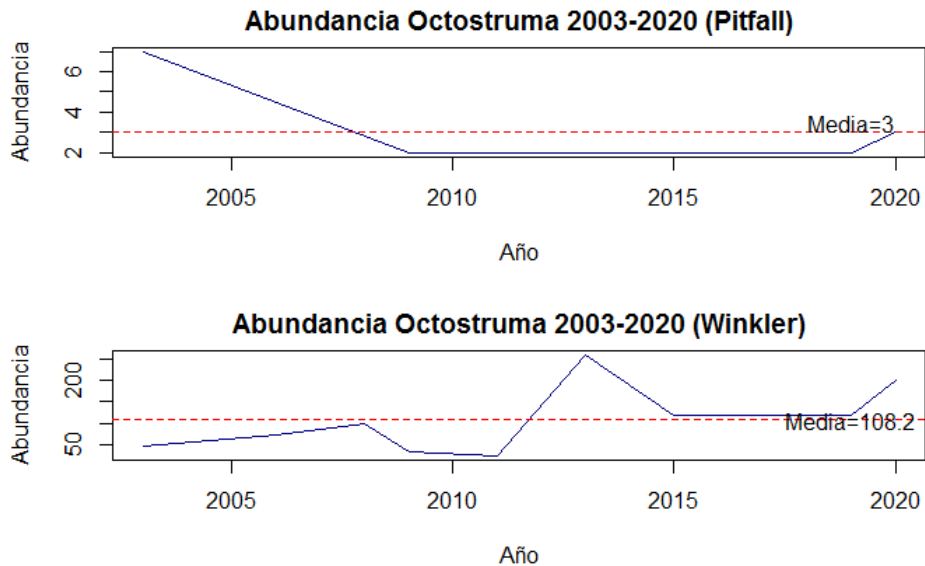


Figura A 4.7 Abundancia de *Octostruma* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.7 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Octostruma* alcanzó el pico más alto en 2003 con siete hormigas recolectadas, mientras que los picos más bajos de abundancia se presentaron en 2009, 2013, 2015 y 2019, con dos hormigas recolectadas en cada uno de estos años. De igual forma, en la Figura A

4.7 (b) se muestra que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó en 2013, con 261 hormigas, mientras que el pico de mínima abundancia se alcanzó en 2011, con 24 hormigas. Además, la abundancia promedio de *Octostruma* para las trampas pitfall es de tres hormigas y para trampas winkler es de 108.2 individuos.

## *Strumigenys*

Las hormigas de este género son muy pequeñas y habitan en la hojarasca. Además, estas hormigas se alimentan de artrópodos como los colémbolos (Kaspari, 2003). En la región Neotropical se han identificado aproximadamente 82 especies que pertenecen a este género (Fernández, 2003b). En la Figura A 4.8 se observa el comportamiento de la abundancia de este género durante el periodo de estudio.

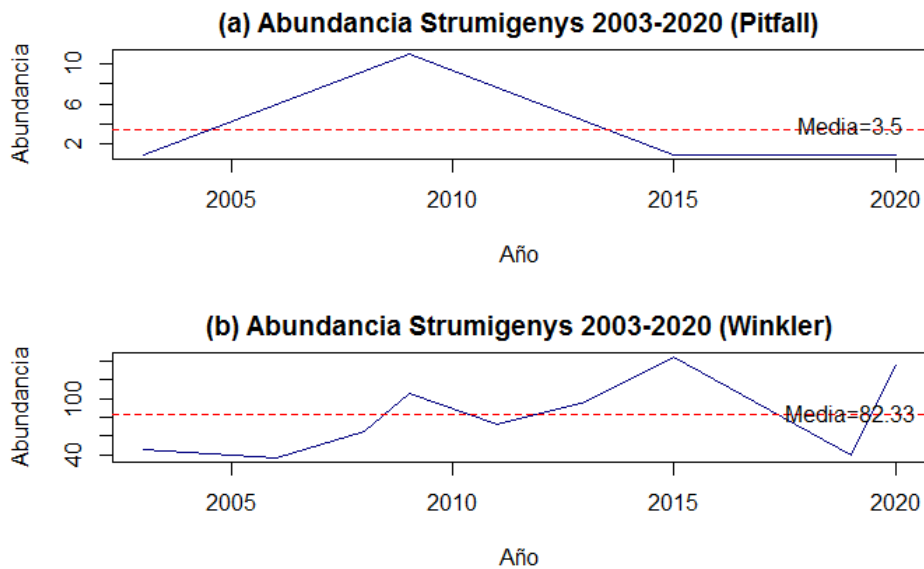


Figura A 4.8 Abundancia de *Strumigenys* en el Bosque Otongachi durante el periodo 2003-2020. En (a) se muestra la abundancia registrada por trampas pitfall y en (b) la abundancia registrada por trampas winkler.

Elaboración: la autora

En la Figura A 4.8 (a) se observa que, para las trampas pitfall, la abundancia de hormigas del género *Strumigenys* alcanzó el pico más alto en 2009 con 11 hormigas recolectadas, mientras que los picos más bajos de abundancia se presentaron en 2003, 2015 y 2020, con una única hormiga recolectada en cada uno de estos años. De igual forma, en la Figura A 4.8 (b) se muestra que, para las trampas winkler, el pico de máxima abundancia se presentó

en 2015, con 145 hormigas, mientras que el pico de mínima abundancia se alcanzó en 2006, con 37 hormigas recolectadas.

Adicionalmente, la abundancia promedio de *Strumigenys* para las trampas pitfall es de 3.5 hormigas y para trampas winkler es de 82.33 individuos.



## Anexo 5 Prueba de tendencia (MannKendall)

Para analizar si los datos de serie de tiempo muestran o no una tendencia, se utilizó la prueba de MannKendall. Esta prueba contrasta la hipótesis nula de que en los datos no exista ningún patrón, frente a la hipótesis alternativa de que exista alguna tendencia, ya sea esta creciente o decreciente. En la Tabla A 5.1 se muestran los resultados de la prueba de MannKendall. Para todos los géneros, dado que el p-valor es superior al 5% de significancia, no se rechaza la hipótesis nula de que no existe ninguna tendencia. Por lo tanto, existe un patrón constante en los datos de serie de tiempo de abundancia para cada género de hormigas.

Tabla A 5.1 Resultados de la prueba de MannKendall

Serie	Trampa	p-valor
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	0.92
	Winkler	0.35
<i>NeoponeraL</i>	Pitfall	0.92
	Winkler	0.83
<i>Pheidole</i>	Pitfall	0.29
	Winkler	0.12
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	0.92
	Winkler	0.35
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	1.00
	Winkler	0.92

Tabla A 5.1 Resultados de la prueba de MannKendall  
(Continuación)

<b>Serie</b>	<b>Trampa</b>	<b>p-valor</b>
<i>Hypoponera</i>	Pitfall	0.16
	Winkler	0.60
<i>Octostruma</i>	Pitfall	1.00
	Winkler	0.18
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	1.00
	Winkler	0.12

Elaboración: la autora

## Anexo 6 Prueba de ruido blanco (LJung Box)

Se utilizó la Prueba de LJung Box para comprobar que los valores de las funciones de autocorrelación de los géneros de hormigas presentados en el Anexo 2 corresponden a procesos de ruido blanco. Dicha prueba contrasta la hipótesis nula de que los datos siguen un proceso de ruido blanco frente a la hipótesis alternativa de que estos no son ruido blanco. En la Tabla A 6.1 se muestran los resultados de la prueba de LJung Box. Para todos los géneros, dado que el p-valor es mayor al 5% de significancia, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que, los procesos son ruido blanco. En este sentido, un proceso de ruido blanco quiere decir que los valores de las funciones de autocorrelación de la abundancia se encuentran independiente e idénticamente distribuidos en el tiempo, con media cero y una varianza constante (Villavicencio, 2010). Además, al tratarse de series de tiempo entrecortadas (años de muestreo no consecutivos), un proceso de ruido blanco indica que los puntos adyacentes no están correlacionados (Shumway & Stogger, 2000).

Tabla A 6.1 Resultados de la prueba de LJung Box

<b>Serie</b>	<b>Trampa</b>	<b>p-valor</b>
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	0.20
	Winkler	0.08
<i>NeoponeraL</i>	Pitfall	0.40
	Winkler	0.92
<i>Pheidole</i>	Pitfall	0.56
	Winkler	0.13

Tabla A 6.1 Resultados de la prueba de Ljung  
Box (Continuación)

<b>Serie</b>	<b>Trampa</b>	<b>p-valor</b>
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	0.81
	Winkler	0.97
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	0.21
	Winkler	0.28
<i>Hypoponera</i>	Pitfall	0.62
	Winkler	0.05
<i>Octostruma</i>	Pitfall	0.98
	Winkler	0.94
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	0.34
	Winkler	0.70

Elaboración: la autora

## **Anexo 7 Modelos según la metodología de Box Jenkins**

Tras verificar en el Anexo 1 y Anexo 2 que las series de tiempo para cada género son estacionarias, el comando `auto.arima()` de R sugiere que las estructuras autorregresivas y de media móvil con orden cero, corresponden a las especificaciones más adecuadas para las series de tiempo. Es decir que, se confirma que estos son procesos de ruido blanco, como se mencionó en el Anexo 6. Por lo tanto, con base en la metodología de Box Jenkins, las especificaciones y las estimaciones de los modelos para cada género se presentan en la Tabla A 7.1. En dichas especificaciones, el tipo de trampa corresponde a una variable dummy que toma el valor de 1 si se trata de una trampa pitfall y 0 si corresponde a una trampa winkler.

En la Tabla A 7.1 se observa que los coeficientes estimados de la variable del tipo de trampa son negativos, por lo que, se corrobora que las trampas pitfall capturan menos individuos en comparación a las trampas winkler, exceptuando el género *NeoponeraL*. Finalmente, para el género *NeoponeraL* la metodología sugiere que la estructura más adecuada es la de un modelo autorregresivo de orden dos, sin embargo, se descarta dicha especificación dado que el primer rezago no es estadísticamente significativo mientras que el segundo si lo es.

Tabla A 7.1. Especificación y estimación de modelos según la metodología de Box Jenkins

Serie	N	Especificación	Estimación				
			Rezago 1	Rezago 2	Intercepto	Dummy	AIC
<i>Gnamptogenys</i>	18.00	ARIMA (0,0,0)			99.88 ***	-79.22 ***	188.46
<i>NeoponeraL</i>	18.00	ARIMA (2,0,0)	0.41	-0.78 ***	9.08 ***	20.57 ***	145.70
<i>Pheidole</i>	18.00	ARIMA (0,0,0)			233.55 ***	-106.22 ***	203.73
<i>Solenopsis</i>	18.00	ARIMA (0,0,0)			673.44 ***	-649.55 ***	258.84
<i>Cyphomyrmex</i>	15.00	ARIMA (0,0,0)			75.11 ***	-67.94 ***	148.90
<i>Hypoponera</i>	16.00	ARIMA (0,0,0)			110.11 ***	-104.99 ***	160.43
<i>Strumigenys</i>	13.00	ARIMA (0,0,0)			82.33 ***	-78.83 ***	132.99
<i>Octostruma</i>	15.00	ARIMA (0,0,0)			108.22 ***	-105.22 ***	170.32

(\*\*\*) Se refiere a que el coeficiente es estadísticamente significativo al 99% de nivel de confianza.

Elaboración: la autora

## Anexo 8 Prueba de no linealidad (Keenan y Tsay)

Para analizar la posible no linealidad de los datos de serie de tiempo, se utilizaron las pruebas de Keenan y de Tsay. Ambas pruebas contrastan la hipótesis nula de si la serie de tiempo sigue un proceso autorregresivo, frente a la hipótesis alternativa de no linealidad. Sin embargo, según Tsay (1986), respecto a la prueba de Keenan, un tamaño de muestra pequeño puede reducir su potencia, por lo que, con la finalidad de proporcionar mayor robustez al análisis, se analiza también la prueba de no linealidad de Tsay. En sí, el p-valor de ambas pruebas de no linealidad es mayor al 5% de significancia, por lo que, no se rechaza la hipótesis nula y, por tanto, las series de tiempo de abundancia para cada género son lineales.

Tabla A 8.1 Resultados de la prueba de Keenan y Tsay

Serie	Trampa	p-valor Prueba de Keenan	p-valor Prueba de Tsay
<i>Gnamptogenys</i>	Pitfall	0.98	0.59
	Winkler	0.28	0.29
<i>NeoponeraL</i>	Pitfall	-	0.76
	Winkler	0.21	0.57
<i>Pheidole</i>	Pitfall	0.20	0.26
	Winkler	0.60	0.67
<i>Solenopsis</i>	Pitfall	0.0002	0.76
	Winkler	0.94	0.84

Tabla A 8.1 Resultados de la prueba de Keenan y Tsay  
(Continuación)

<b>Serie</b>	<b>Trampa</b>	<b>p-valor Prueba de Keenan</b>	<b>p-valor Prueba de Tsay</b>
<i>Cyphomyrmex</i>	Pitfall	0.72	0.66
	Winkler	0.85	0.84
<i>Hypoponera</i>	Pitfall	0.06	0.47
	Winkler	0.34	0.75
<i>Octostruma</i>	Pitfall	0.0010	-
	Winkler	0.43	0.81
<i>Strumigenys</i>	Pitfall	-	-
	Winkler	0.36	0.24

Para mayor precisión, los p-valores menores a 0.01 se expresan con cuatro cifras decimales.

Elaboración: la autora