

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Preferencias alimenticias de la hormiga invasora argentina
(Formicidae: *Linepithema humile*) y diversidad de hormigas en el
Valle de Quito**

David Marcelo Torres Arízaga

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Biología

Quito, 20 de mayo de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Preferencias alimenticias de la hormiga invasora argentina (Formicidae:
Linepithema humile) y diversidad de hormigas en el Valle de Quito

David Marcelo Torres Arízaga

Nombre del profesor, Título académico

Diego Cisneros-Heredia, Ph. D.

Nombre del profesor, Título académico

Giovani Marcelo Ramón Cabrera, MSc

Quito, 20 de mayo de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: David Marcelo Torres Arizaga

Código: 00206059

Cédula de identidad: 1722169133

Lugar y fecha: Quito, 20 de mayo de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Las hormigas son uno de los insectos más diversos de todos. Los estudios en Ecuador son amplios en ciertos grupos y regiones, pero hay muchos vacíos de información, en especial para especies nativas e invasoras en zonas urbanas. *Linepithema humile* es una especie mundialmente invasora, registrada en Ecuador en 1990, pero de la que su información en el país es superficial. En este estudio, analizamos las preferencias alimenticias de *L. humile* para conocer su ecología en la zona, así como sus patrones de distribución, y evaluamos las otras especies presentes en el Valle de Quito. Utilizando tres tipos de cebos, encontramos que, durante la época del muestreo, *L. humile* tuvo una preferencia por el alimento rico en proteínas. Hipotetizamos que las preferencias alimenticias por la proteína pueden deberse a la poca disponibilidad de proteínas en el ecosistema, o porque están pasando por una fase reproductiva. Su distribución se analizó con los registros colectados y en bases de datos, mostrando que se distribuye principalmente en áreas urbanas. La distribución está ligada a la expansión urbana, lo que está provocando que su rango esté en expansión. Por último, con registros y bases de datos, se realizó una lista preliminar de 20 especies de hormigas presentes en el Valle de Quito. Este listado de especies representa la lista más completa de hormigas y es la base para futuros estudios de investigación en el Valle de Quito.

Key words: Carbohidratos, dieta, distribución, ecología, mirmecofauna, proteína, Quito, urbanización

ABSTRACT

Ants are one of the most diverse insects. Studies in Ecuador are extensive in certain groups and regions, but there are many information gaps, especially for native and invasive species in urban areas. *Linepithema humile* is a worldwide invasive species, registered in Ecuador in 1990, but its information in the country is superficial. In this study, we analyze the diet preferences of *L. humile* to learn about its ecology in the area, its distribution patterns, and we evaluate the other species present in the Quito Valley. Using three types of baits, we found that, during the sampling season, *L. humile* had a preference for protein-rich diet. We hypothesize that dietary preferences for protein may be due to low protein availability in the ecosystem, or because they are undergoing a reproductive phase. Its distribution was analyzed with the records collected and in databases, showing that it is distributed mainly in urban areas. The distribution is linked to urban sprawl, which is causing its range to expand. Finally, with records and databases, a preliminary list of 20 species of ants present in the Quito Valley was made. This list of species represents the most complete list of ants and is the basis for future research studies in the Quito Valley.

Key words: Carbohydrates, diet, distribution, ecology, myrmecofauna, protein, Quito, urbanization

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	10
Metodología.....	14
Resultados.....	21
Discusión	30
Conclusiones.....	36
Referencias	38
Anexos.....	41
ANEXO A: Formulario de Google Drive a completar por los estudiantes.....	41
ANEXO B: <i>Linepithema humile</i>	41
ANEXO C: <i>Hypoponera distinguenda</i>	41
ANEXO D: <i>Monomorium</i> sp.....	42
ANEXO E: <i>Brachymyrmex cordemoyi</i>	43
ANEXO F: <i>Solenopsis</i> sp.	43
ANEXO G: <i>Pheidole</i> sp.	44
ANEXO H: <i>Pheidole</i> sp.	44
ANEXO I: <i>Strumygenis eggerysi</i>	45
ANEXO J: <i>Pseudomyrmex</i> sp.	45
ANEXO K: <i>Tetramorium</i> sp.	46
ANEXO L: <i>Adelomyrmex</i> sp.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Test de normalidad de Shapiro Wilk para cada tratamiento.....	21
Tabla 2. Resultados del ANOVA de una vía del número de hormigas argentinas atraídas entre los tres cebos	22
Tabla 3. Resultados del test Post-hoc Tukey entre los diferentes tratamientos.....	22
Tabla 4. Índices de biodiversidad de las hormigas colectadas por los alumnos.....	24
Tabla 5. Lista de hormigas encontradas en el Valle de Quito	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Valle de Quito	15
Figura 2. Abundancia total de <i>Linepithema humile</i> atraídas por cada cebo (n=645)	21
Figura 3. Distribución de <i>Linepithema humile</i> en el Valle de Quito	23
Figura 4. Abundancia relativa de las hormigas colectadas por los estudiantes (n=930).....	24
Figura 5. Curva de acumulación de especies basado en la abundancia de hormigas en cada tubo para todas las especies halladas (n=162)	25
Figura 6. Número de registros de hormigas de cada especie (n=336) de las observaciones de los estudiantes, registros de iNaturalist, AntWeb y GBIF.	26
Figura 7. Mapa de distribución de los registros hormigas en el Valle de Quito con las colectas georreferenciadas de los estudiantes de este estudio, registros de iNaturalist, AntWeb y GBIF.....	29

INTRODUCCIÓN

Hymenoptera es uno de los órdenes de animales más diversos, con aproximadamente 150000 especies descritas, se piensa que puede poseer una riqueza de especies incluso mayor que Coleoptera (Forbes, Bagley, Beer, Hippee, & Widmayer, 2018). Entre las familias más importantes dentro de Hymenoptera se encuentran Formicidae, que incluye las hormigas que, junto con las termitas, forman el grupo de insectos más abundantes del planeta y una de las familias más diversas al comprender más de 16000 especies descritas, y un estimado de unas 20000 potenciales especies totales (AntWeb, 2022). La mayor diversidad de hormigas está en los trópicos, aunque han logrado establecerse en todo el mundo, a excepción de la Antártida. Este éxito que se debe a su comportamiento eusocial que les permite adaptarse y colonizar de manera eficiente los entornos que habitan (Fisher B. , 2010).

En Ecuador continental, se han reportados 679 especies (Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015). Los primeros estudios de hormigas en Ecuador se concentran en el Valle de Quito, donde Mayr realizó los primeros muestreos en 1822, reportando *Dolichoderus abruptus*. Orton realizó otro muestreo en 1872, reportando dos especies (*Dolichoderus abruptus* y *Neoponera carbonaria*) (Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015). En 1921, Forel realiza un listado de hormigas colectadas en Quito, reportando 14 nuevas especies para la zona. Sin embargo, tiempo después, rectificó en su artículo que las hormigas pueden no ser precisamente de Quito (Forel, 1921). Registros de otras hormigas se encuentran dispersos en varios artículos, por lo que no existe un listado reciente que recopile los registros de especies en el Valle de Quito.

Las hormigas pueden convertirse en plagas agrícolas y urbanas por su alta capacidad de adaptación y explotación de alimentos. Especies introducidas de hormigas se pueden volver especies invasoras, al ser introducidas de manera incidental o adrede en un nuevo ecosistema,

ocasionando desbalances ecológicos al afectar a otras especies de plantas y animales nativos de la zona (Wetteker, Wild, Suarez, Roura-Pascual, & Espadeler, 2009). Debido a esto, representan una de las amenazas más grandes para la biodiversidad del mundo. Normalmente su dispersión se da por causas antropogénicas, al ser transportadas de un lugar al otro (Santana, Resende, Frauendorf, Zandona, & Mazzoni, 2020), y su dispersión se facilita cuando existen cambios como la deforestación y la expansión urbana (Carpintero & Reyes-López, 2008). Hormigas como *Linepithema humile* han causado desequilibrios en el ecosistema en donde se ha introducido. En España, el desplazo de hormigas nativas afecta el éxito reproductivo de plantas mirmecócoras nativas al interferir en la polinización y dispersión de semillas (Blancafort & Gomez, 2006). En California, ha desplazado a las hormigas nativas que sirven de alimento para los lagartos cornudos, causando una disminución en la población de estos reptiles (Fisher, Suarez, & Case, 2002).

En el Ecuador, las especies invasoras son un tema de importancia ya que estas representan una amenaza para la biodiversidad. En el caso de las hormigas, varias especies han sido catalogadas como especies invasoras. Algunas, como las hormigas de fuego (*Solenopsis* spp.) o la hormiga argentina (*Linepithema humile*), suelen ser catalogadas como las especies con un mayor nivel de impacto (Wetteker, Wild, Suarez, Roura-Pascual, & Espadeler, 2009). Los estudios se concentran en Galápagos, donde se han reportado 17 especies introducidas, mientras que los estudios continentales siguen siendo escasos (Herrera, 2022). Hasta 2014, se han registrado 16 especies de hormigas invasoras en el continente (Donoso, Onore, Ramón, & Lattke, 2014), siendo *L. humile* la de mayor importancia al ser considerada invasora en todos los continentes. Se caracteriza por tener un alto nivel de agresividad y reclutamiento, además puede formar supercolonias que pueden extenderse cientos de kilómetros (Giraud, Pedersen, & Keller, 2002). Igualmente, suele tener simbiosis mutualista con hemípteros esternorrincos, potenciando su capacidad de supervivencia y facilitando el ataque a plantas nativas y de

importancia económica (Donoso, Onore, Ramón, & Lattke, 2014). En Ecuador, se ha registrado en zonas urbanizadas, principalmente en la ciudad de Quito (Vieira, Onnore, & Vries, 2006).

La alimentación es un factor de alta importancia cuando nos referimos a la adaptabilidad de una especie en un ecosistema. La disponibilidad de los alimentos influencia la capacidad de reclutamiento, reproducción o exploración (Flanagan, Pinter-Wollman, Moses, & Gordon; Page, Sweeney, Pilko, & Pinter-Wollman, 2018). La dieta de *L. humile* está constituida en mayor parte en carbohidratos provenientes de secreciones de esternorrincos, o del néctar de las plantas (Markin, 1970b). Los carbohidratos son de mayor importancia para los adultos al requerir de una gran fuente de energía para forrajear y explorar (Nyamukondiwa & Addison, 2014; Sola & Josens, 2016). Por otro lado, en época de reproducción y durante el desarrollo temprano de la colonia, la proteína es un alimento fundamental para el crecimiento y producción de huevos y larvas, alimentándose generalmente de artrópodos (Wheeler & Martinez, 1995; Rosumek, 2017).

Si bien existen estudios respecto a su alimentación (Santos 2016, Stringer et al. 2009), poco se conoce del tema en el neotrópico, particularmente en Ecuador. El objetivo de este estudio es analizar las preferencias alimenticias de *L. humile* en Quito, y los factores que llevan a las hormigas a su preferencia. Así, se tendrá una idea preliminar de su comportamiento y ecología trófica en Ecuador (Menke, Suarez, Tillberg, & Holway, 2010; Moore, Tansuwan, & Carmona-Galindo, 2013).

Por otra parte, aunque los estudios de hormigas en Ecuador son amplios, como por ejemplo Tiputini, Galápagos y Loja (Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015), la diversidad de hormigas en el valle de Quito no ha sido estudiada a profundidad en los últimos años. Si bien han existido estudios dispersos, ninguno se ha enfocado en realizar una lista de los registros (Donoso, Onore, Ramón, & Lattke, 2014; Wild, 2007; Vieira, Onnore, & Vries, 2006;

Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015). Por lo tanto, es necesario actualizar esta información y para obtener una lista preliminar de las especies encontradas en la zona.

El objetivo de este estudio es analizar la ecología de *Linepithema humile* mediante el análisis de sus preferencias alimenticias y registros a lo largo del tiempo. De igual manera, se estudia las hormigas que pueden encontrarse en el Valle de Quito para actualizar los registros de la zona.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en el Valle de Quito, ubicado en la cordillera de los Andes al Norte del Ecuador, en la provincia de Pichincha. Se encuentra delimitado al este por la cordillera oriental, desde el Cayambe hasta el Cotopaxi. Al sur, por el nudo de Tiopullo, conformado por el Rumiñahui y Pasochoa. Al oeste, por el macizo del Pichincha, Corazón, Atacazo e Ilinizas, y al norte por el nudo de Mojanda-Cajas. En total, el valle se extiende con 140 km de largo, 30 km de ancho y un área de 4200 km². Su altitud varía desde los 1800 a los 3400 msnm. Incluye una parte de la cuenca del Río Guayllabamba, los valles y mesetas de Cayambe, Pomasqui-Puéllaro, Guayllabamba, Tumbaco, Los Chillos, Machachi y Quito (Torres, 2017). Los ecosistemas que prevalecen son el matorral interandino, caracterizado por valles relativamente húmedos y una vegetación remanente de matorrales en las quebradas de la ciudad, y los valles interandinos. El bosque seco se encuentra en la sierra norte y posee un clima seco con una vegetación dominada por plantas espinosas y leguminosas arbustales (MECN, 2009)

El área urbana de Quito es la de mayor extensión del país, con un área de 372 km² y una media de 2850 msm² (Oña-Cisneros & García, 2015). Esta área urbana sigue en expansión, reemplazando los remanentes de ecosistemas nativos. Las áreas verdes se limitan en jardines y parques urbanos, con una reducción de la fauna y flora nativa (Cisneros-Heredia, y otros, 2015). La reducción de la biodiversidad crea una comunidad simplificada donde las especies generalistas prevalecen. Las especies invasoras, combinado con la falta de controles

biológicos, son beneficiados por el aumento de la urbanización (Santana, Resende, Frauendorf, Zandona, & Mazzoni, 2020; Santos, 2016).

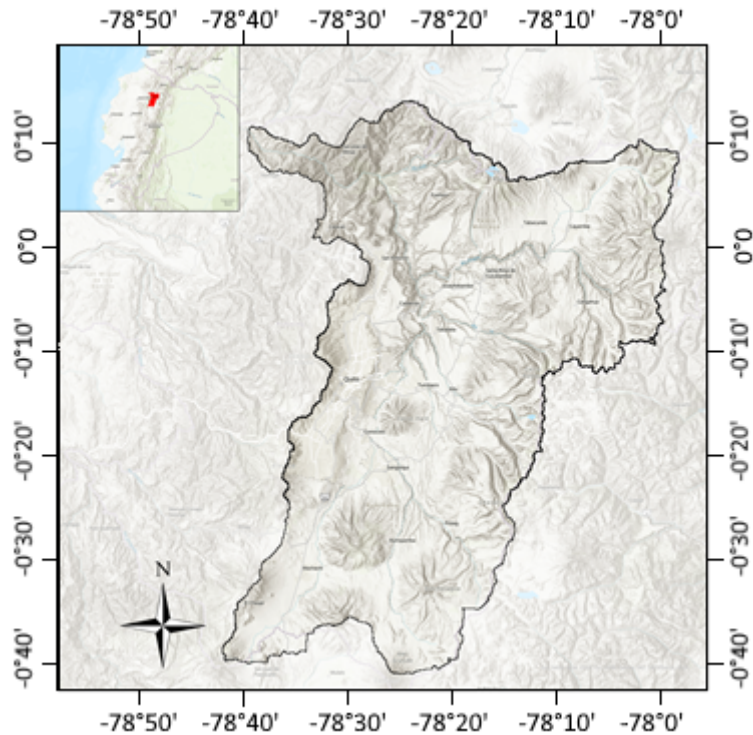


Figura 1. Mapa del Valle de Quito

Preferencias alimenticias

Recolección de muestras y experimento de preferencias alimenticias

La recolección de muestras y los experimentos fueron realizados por los estudiantes de las clases de Ecología General y de Introducción a la Biología (Universidad San Francisco de Quito), del 7 al 16 de marzo de 2022 (n=57), siguiendo un protocolo elaborado por el profesor Giovani Ramón.

Cada estudiante identificó un sitio con áreas verdes, como jardines o áreas que contuvieran tierra o muchas macetas, y en caso de no tener jardín, lo realizaron en un parque o área verde cercana. Utilizaron tres cebos: uno de atún en aceite, otro de mermelada de cualquier tipo, y una bola de algodón humedecida con agua de llave como grupo control. Los cebos se pusieron en el centro de un papel de 8x8 cm, con una separación de 20 cm entre estos. Se indicó que el cebo de atún debía ser limpiado con un papel toalla para remover el exceso de aceite y evitar que las hormigas quedaran adheridas, y además tomaron fotos de los cebos al final del experimento. No se especificó el micro hábitat en el que debían ponerse.

La colección de datos se realizó durante 60 minutos. Al final de los 60 minutos, cada estudiante contó las hormigas que estaban sobre el papel y las colectaron en frascos con etanol al 70%. Los frascos fueron etiquetados con las iniciales de los nombres y apellidos de los estudiantes, el nombre del cebo (TUNA para el atún, SUG para la mermelada, y CTRL para el control). Cada estudiante registró sus datos en un formulario de Google Drive (Anexo A).

En este formulario, cada estudiante registró sus datos personales, la hora de inicio del experimento, provincia, ciudad, dirección, coordenadas en formato de latitud y longitud decimal, altitud sobre el nivel de mar en metros, cantidad total de hormigas observadas independientemente de la especie en cada cebo, códigos de los tubos, observaciones narrativas de los comportamientos, observaciones adicionales, y subieron las fotografías de cada uno de los cebos. Para este estudio tomé en cuenta únicamente las colectas realizadas en el Valle de Quito (n=54).

Procesamiento de las muestras

Verifiqué la riqueza y abundancia de especies de hormigas en cada frasco con ayuda de un estereomicroscopio y monté vouchers de cada especie de hormiga (10 por especie) que se almacenaron en el Museo de Zoología de la USFQ (ZSFQ). El resto de especímenes permanecieron almacenados en etanol (70%). Para la identificación usé la clave de subfamilias modificada de Baccaro et al. (2015) que se puede encontrar en AntWiki (www.antwiki.org), una base de datos que compila registros de hormigas en todo el mundo, basándose en artículos y colecciones de museos. Para la identificación de géneros y especies, utilicé las claves disponibles en Antweb (www.antweb.org): *Hypoponera* (Dash, 2011), Formicinae (*Brachymyrmex*) (Fernández & Sepúlveda, 2019), Myrmicinae (*Pheidole*, *Solenopsis*, *Monomorium*) (Fernández & Serna, 2019).

Análisis de los datos

Preferencias alimenticias de L. humile

Para los análisis estadísticos, utilice las hormigas contadas en los frascos al ser más corroborado que los conteos realizados por los estudiantes. Utilizando Rstudio (Rstudio versión 1.4.1717, PBC), realicé un teste de Shapiro-Wilks para asegurar que los datos tengan una distribución normal y luego realicé un ANOVA de una vía. Debido a que se encontraron diferencias significativas ($p > 0.005$) entre los cebos, realicé un test post-hoc de Tukey para evaluar cuál fue el cebo más atractivo.

Obtención de datos y mapeo de la distribución de *L. humile*

Compilé los registros de *Linepithema humile* localizados en el Valle de Quito de varias fuentes. En la plataforma de iNaturalist, una red de ciencia ciudadana donde cualquier persona puede realizar observaciones de seres vivos y donde la comunidad global puede ayudar a la identificación y que hoy en día posee más de 97 millones de registros (Nugent, 2018), descargué las observaciones con un nivel de “Grado de investigación”, que son las observaciones que han sido identificadas y verificadas por la comunidad. También obtuve los registros de AntWeb, la base de datos de hormigas más grande que compila registros y especímenes de museos (AntWeb, 2022). Finalmente descargué la base de datos de GBIF, que es una web de recopilación de bases de datos de colaboración intergubernamental, (GBIF, 2022). Los registros con una precisión mayor a un radio de 1km fueron eliminados. Uní estos datos junto a registros bibliográficos y los datos colectados por los estudiantes en este estudio, y generé un mapa en ArcGIS Pro (ArcGIS Pro 2.8, ESRI) mostrando la distribución y expansión a lo largo del tiempo de *L. humile*,

Riqueza y abundancia

Para los análisis de riqueza y abundancia utilicé el software Past 4.0. Es un programa gratuito que permite manipular, graficar, calcular estadísticas multivariadas y realizar análisis ecológicos de manera automática (NHM, 2022). Obtuve una matriz con la abundancia y riqueza de las especies halladas y con esta información se realizó una estimación de la diversidad de especies en el Valle de Quito.

La riqueza se calculó con el número total de especies encontradas. La abundancia relativa (*ABrel*) se calculó con el número de individuos encontrados de cada especie, divididos para el número total de individuos.

$$ABrel = \frac{\#individuos\ especie}{\#individuos\ totales}$$

Para los índices de diversidad, utilicé el índice de dominancia de Simpson, que muestra la probabilidad de que dos individuos en una muestra pertenezcan a una especie diferente al tomar en cuenta las especies más dominantes. La suma de las frecuencias del número de individuos (*n*) multiplicadas por las frecuencias menos 1 se dividen para la frecuencia total (*N*) multiplicadas por la frecuencia total menos 1. Se resta el resultado menos 1 para obtener el índice de Simpson (Simpson, 1949).

$$1 - \frac{\sum n(n - 1)}{N(N - 1)}$$

Adicionalmente, grafique una curva de acumulación de especies utilizando el modelo Mao-Tau para estimar la riqueza de especies en base a las muestras (Gallina, González-Romero, & Manson, 2008). Para esto, utilicé la abundancia de cada especie encontrada en cada tubo.

Listado de especies de hormigas presentes en el Valle de Quito

Obtención de datos bibliográficos

Compilé la bibliografía de hormigas estudiadas en Ecuador mediante búsquedas en ResearchGate, SpringerLink y Google Scholar usando los términos: “Formicidae”,

“Ecuador”, “*Linepithema humile*”, “Quito”, “invasive” para el periodo comprendido entre los años 1872 a 2022.

Obtención de bases de datos y mapeo de las hormigas en el Valle de Quito

Utilizando la base de datos de GBIF, compilé los registros de localizados en el Valle de Quito. Descargué las observaciones con un nivel de “Grado de investigación” en la plataforma de iNaturalist, los registros de AntWeb y otras bases de datos incluidas (GBIF, 2022). Uní los datos junto a los registros bibliográficos y datos colectados por los estudiantes, y elaboré un listado preliminar de las hormigas del Valle de Quito. Para el mapa, excluí los registros con una precisión mayor a un radio de 1km, y realicé el mapa con ArcGIS Pro.

RESULTADOS

Preferencias alimenticias

Analicé 162 tubos con 930 hormigas. 645 correspondían a la especie *Linepithema humile*, y las otras estaban distribuidas en 5 especies diferentes.

A simple vista, se observó que el cebo TUNA concentró la mayor parte de la abundancia total de *L. humile*, seguido de SUG y CTRL (Figura 2)

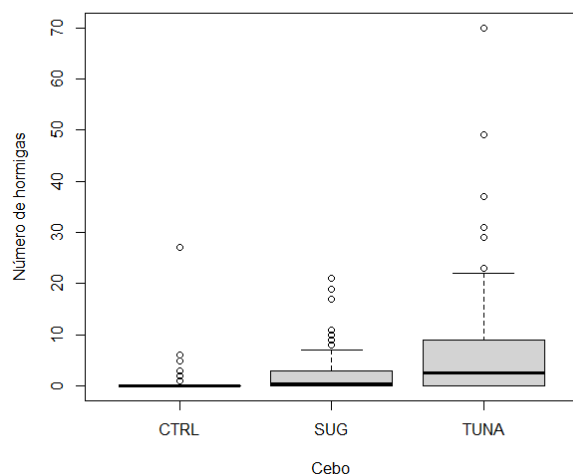


Figura 2. Abundancia total de *Linepithema humile* atraídas por cada cebo ($n=645$). CTRL = Cebo con agua ($N=50$), SUG = Cebo con azúcar ($N=160$), TUNA = Cebo con atún ($N=435$)

Las pruebas de Shapiro-Wilk (Tabla 1) mostraron una distribución normal para los tres cebos: $p_{CTRL}= 3.90E-10$, $p_{SUG}= 4.77E-10$, $p_{TUNA}= 1.84E-10$.

Tabla 1. Test de normalidad de Shapiro Wilk para cada tratamiento

	Shapiro wilk	Valor p
CTRL	0,2611	3,90E-10
SUG	0,6583	4,77E-10
TUNA	0,6336	1,84E-10

El ANOVA de una vía (Tabla 2) demostró que existen diferencias significativas entre las medias de los grupos ($F=9.34$; $df=2$; $p=0.00014$).

Tabla 2. Resultados del ANOVA de una vía del número de hormigas argentinas atraídas entre los tres cebos

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor p</i>
Entre grupos	1456,5	2	728,24	9,34	0,00014
Dentro de los grupos	12386,5	159	77,9		

El test Post-hoc Tukey (Tabla 3) mostró las magnitudes de las diferencias entre los cebos. Entre el control y el azúcar, las diferencias no fueron significativas ($df=2.37$; $p=0.455$). Las diferencias entre el atún y el control fueron muy significativas y tuvieron la diferencia más alta entre las medias de hormigas atraídas por los cebos ($df=7$; $p=0.00013$). El azúcar y el atún también mostraron diferencias significativas ($df= 4.945$; $p=0.0088$). En resumen, este test mostró que estadísticamente el cebo del atún fue el cebo más atractivo para *L. humile*.

Tabla 3. Resultados del test Post-hoc Tukey entre los diferentes tratamientos

	diff	lwr	upr	p adj
SUG-CTRL	2,037	-1,98	6,05	0,455
TUNA-CTRL	7,12	3,11	11,14	0,00013
TUNA-SUG	5,09	1,07	9,11	0,0088

Distribución de *Linepithema humile*

Los registros se concentran en las áreas urbanas de la ciudad de Quito, y los valles periurbanos de Cumbayá, Tumbaco y los Chillos. Las zonas montañosas (Ilaló, Pichincha, cordillera occidental y oriental) no muestran registros abundantes. Los valles cercanos a Guayllabamba presentan pocos registros (Fig. 3A) En cuanto a la distribución de los registros

a lo largo del tiempo, se observó que la mayor cantidad de registros se concentra entre el periodo de 2015 a 2022. Entre 1990 a 1995 solo hay 1 registro, entre 2000 al 2010 hay una cantidad baja de registros, y en los periodos de 1995-2000 y 2010 a 2015, no hay ningún registro (Fig. 3B).

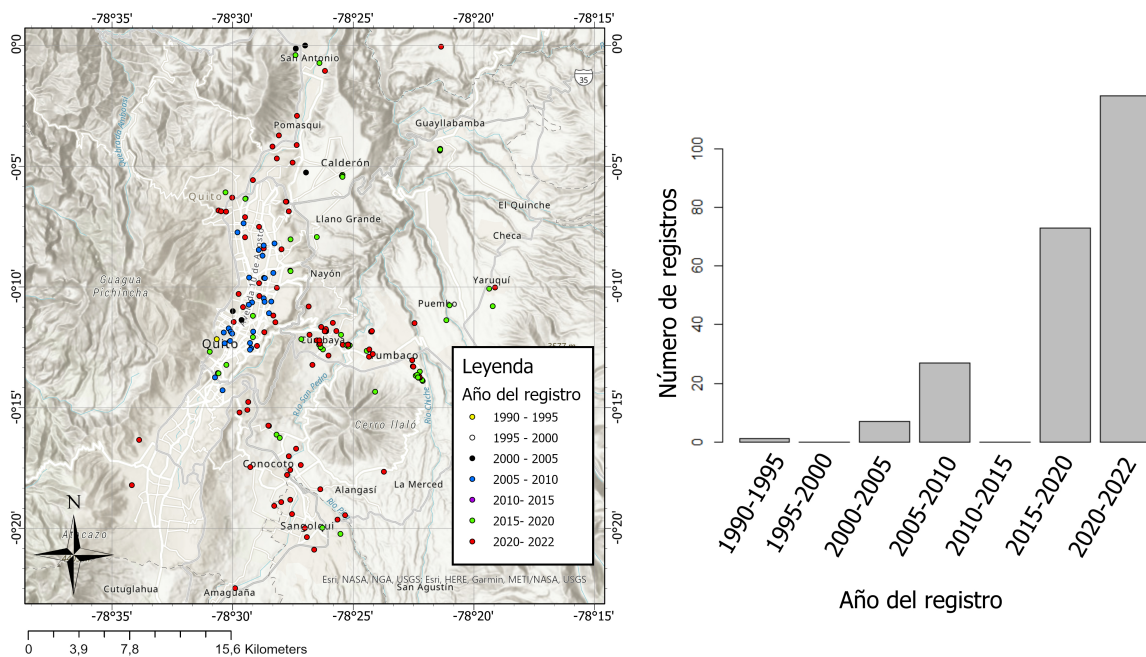


Figura 3. Distribución de *Linepithema humile* en el Valle de Quito. (A) Este mapa fue elaborado con las observaciones de los estudiantes de este estudio, registros de iNaturalist, AntWeb y GBIF. (B) La gráfica indica la distribución de registros a lo largo de los años.

Diversidad de hormigas del valle de Quito

L. humile fue la hormiga con mayor abundancia relativa (0.69) seguido de *Monomorium* sp. (0.19), *Pheidole* sp. (0.09), *Solenopsis* sp. (0.006) y *Brachymyrmex cordemoyi* e *Hypoconera distinguenda* (0.001) (Fig. 4).

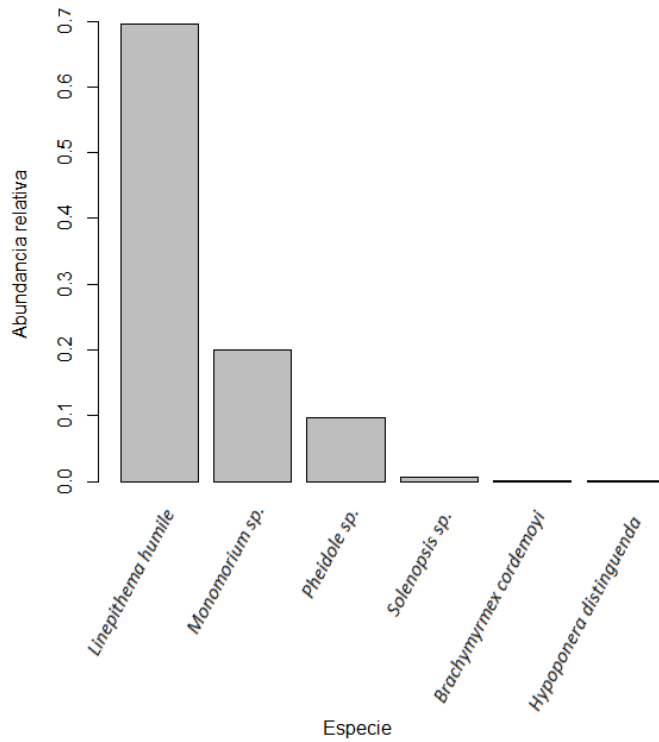


Figura 4. Abundancia relativa de las hormigas colectadas por los estudiantes ($n=930$)

El índice de dominancia Simpson tiene un rango entre 0,4367-0,5002, con un promedio de 0.4692 (Tabla 4).

Tabla 4. Índices de biodiversidad de las hormigas colectadas por los alumnos

Índices	Menor	A	Mayor
Taxa_S	6	6	6
Individuos	930	930	930
Simpson_1-D	0,4367	0,4692	0,5002

Con los 162 tubos colectados por los estudiantes, el número de especies observadas fue de 6. De acuerdo con la curva de acumulación de especies, se estimó la menor cantidad de especies que podríamos encontrar serían 3 especies, y la mayor cantidad 9 (Fig. 5).

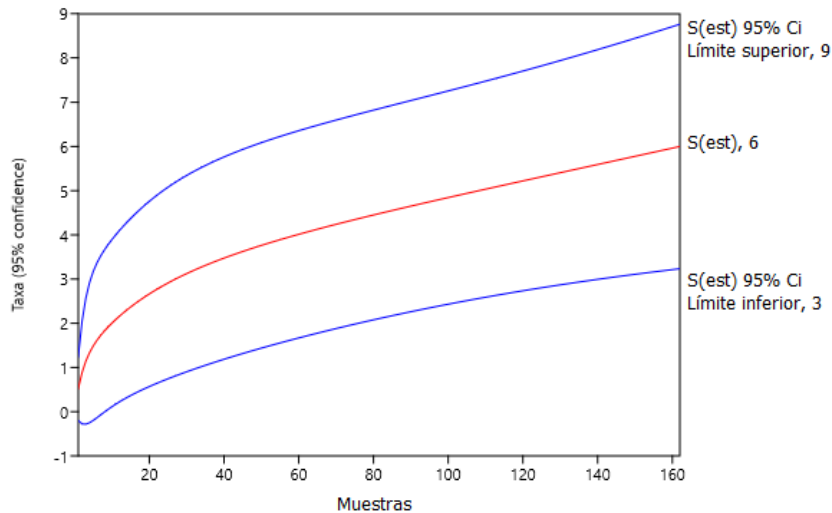


Figura 5. Curva de acumulación de especies basado en la abundancia de hormigas en cada tubo para todas las especies halladas ($n=162$). $S(est)$: riqueza estimada. $S(est)$ 95% Límite superior: máxima riqueza estimada con 95% de confianza. $S(est)$ 95% Límite inferior: mínima riqueza estimada con 95% de confianza.

Linepithema humile conformó la mayor parte de registros (226) del total de colectas realizadas por los estudiantes, registros de iNaturalist, AntWeb y GBIF. Las otras especies no llegaron ni a 25 registros por especie y conformaron los 114 registros restantes (Fig. 6).

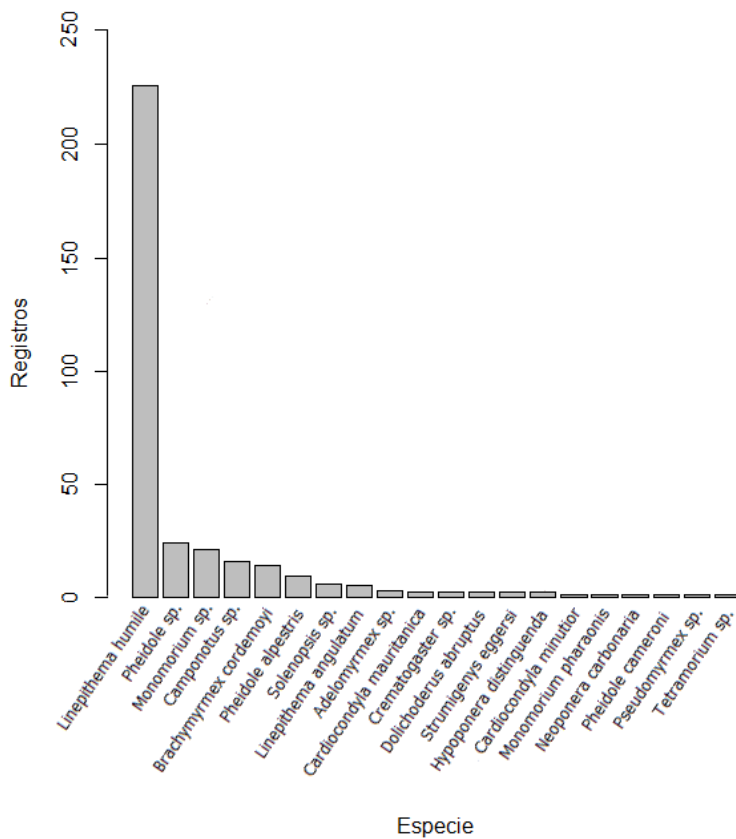


Figura 6. Número de registros de hormigas de cada especie ($n=336$) de las observaciones de los estudiantes, registros de iNaturalist, AntWeb y GBIF.

Se identificaron un total de 20 especies a partir de los datos de este estudio y los registros compilados de las fuentes mencionadas anteriormente. 15 géneros fueron identificados, de los cuales 12 lograron ser identificados a nivel de especie. Estos están distribuidos en 5 subfamilias diferentes (Tabla 5). La subfamilia con más especies es Myrmicinae (12), seguido de Dolichoderinae (3), Formicinae (2), Ponerinae (2) y Pseudomyrmecinae (1). 8 especies son nuevos registros para el Valle de Quito y se indican con un asterisco en la tabla 5.

Tabla 5. *Lista de hormigas encontradas en el Valle de Quito*

Especie	Fuente
Dolichoderinae	
<i>Dolichoderus abruptus</i>	((Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015; Orton, 1872)
<i>Linepithema angulatum</i>	(Orton, 1872)
<i>L. humile</i>	iNaturalist; ZSFQ, AntWeb, Gbif; (Wild, 2007)); (Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015)
Formicinae	
<i>Brachymyrmex cordemoyi</i> *	iNaturalist; ZSFQ
<i>Camponotus</i> sp.	iNaturalist
Mymicinae	
<i>Adelomyrmex</i> *	iNaturalist
<i>Cardiocondyla mauritanica</i>	AntWeb
<i>C. minutior</i>	AntWeb
<i>Crematogaster</i> sp.*	iNaturalist
<i>Monomorium pharaonis</i>	(Donoso, Onore, Ramón, & Lattke, 2014)
<i>Monomorium</i> sp.	iNaturalist; ZSFQ; (Vieira, Onnore, & Vries, 2006)
<i>Pheidole alpestris</i>	(Vieira, Onnore, & Vries, 2006); AntWeb
<i>P. cameroni</i>	Antweb, (Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015)
<i>Pheidole</i> sp.	iNaturalist; ZSFQ; GBIF
<i>Solenopsis</i> sp.*	iNaturalist; ZSFQ
<i>Strumigenys eggersi</i> *	iNaturalist
<i>Tetramorium</i> *	iNaturalist

Ponerinae*Hypoponera distinguenda**

ZSFQ

Neoponera carbonaria

(Orton, 1872; Salazar, Reyes-Bueno, Sanmartin, & Donoso, 2015)

Pseudomyrmecinae*Pseudomyrmex* sp.*

iNaturalist

Hormigas registradas en el Valle de Quito ordenadas por subfamilia. La primera columna representa la Especie, y la segunda la fuente de donde se obtuvo el registro. Las especies marcadas con un asterisco (*) representan nuevos registros para la zona. ZSFQ = Hormigas colectadas como parte de este estudio.

Los registros de hormigas se concentran en las áreas urbanas de la ciudad de Quito, y los valles periurbanos de Cumbayá, Tumbaco y los Chillos. Los registros en áreas con vegetación remanente son escaos

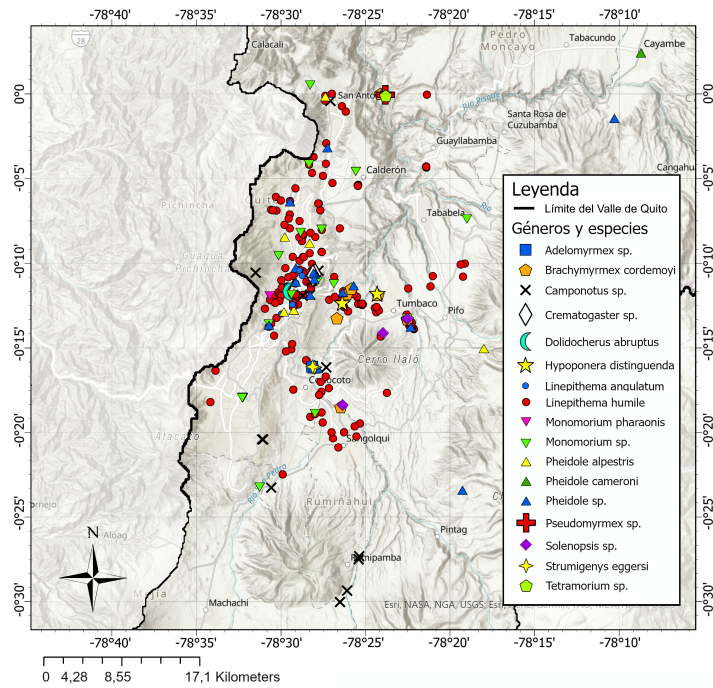


Figura 7. Mapa de distribución de los registros hormigas en el Valle de Quito con las colectas georreferenciadas de los estudiantes de este estudio, registros de iNaturalist, AntWeb y GBIF

DISCUSIÓN

Mientras que en otros estudios se ha encontrado que la dieta de *Linepithema humile* se concentra principalmente en carbohidratos (Nyamukondiwa & Addison, 2014; Markin, 1970a). En este estudio, encontré que prefirieron el alimento basado en proteínas. Dos posibilidades pueden explicar esta preferencia. La primera es que en los jardines donde se realizaron las colectas existieron plantas y hemípteros necesarios para satisfacer sus necesidades calóricas a través de néctar o melado (Nyamukondiwa & Addison, 2014). Sin embargo, cuando hablamos de la proteína, puede que en las zonas urbanas el acceso a alimento proteicos haya sido escaso a causa de la expansión urbana y disminución de presas, principalmente invertebrados, que servirían de alimento a las hormigas (Santana, Resende, Frauendorf, Zandona, & Mazzoni, 2020). Se ha observado que este grupo ha sufrido declives de hasta 75% en diferentes países del mundo a causa de la urbanización, cambio climático y uso de pesticidas (Goulson, 2019). Quito no sería la excepción y en tal caso, *L. humile* estaría experimentando una eficiencia proteica en su dieta.

Otra posible explicación, observada en estudios similares, es que, durante los muestreos, *L. humile* se encontraba en su época de reproducción y desarrollo de larvas y pupas en los nidos. Una dieta rica en proteínas es fundamental para el desarrollo de individuos alados reproductivos, así como de huevos por parte de las reinas. Estudios en Estados Unidos y España han determinado que la época reproductiva en estos países ocurre entre marzo y junio, con una fase más pequeña entre septiembre a noviembre, épocas donde la necesidad de alimentos ricos en proteínas es crucial para las larvas (Markin, 1970b). La época reproductiva en estos países se da en los meses más lluviosos, durante la estación de primavera. En Ecuador no existen estaciones marcadas, si no épocas lluviosas y secas. Durante los meses de marzo y abril de 2022 (cuando se realizaron los muestreos), hubo un incremento en las

lluvias, y se observaron varios vuelos nupciales en el campo de la USFQ y sus alrededores, por lo que un incremento en la precipitación podría ser lo que influencia en la entrada a la fase de reproducción de *L. humile* también en el valle de Quito. Realizar muestreos en épocas secas sería útil para determinar si la época lluviosa o seca influyen en las preferencias alimenticias y las fases reproductivas.

Para tener más claras las variaciones en las preferencias alimenticias, se deben hacer colectas a lo largo del año para corroborar las causas de la preferencia proteica.

Adicionalmente, se recomendaría estudiar las plantas y los hemípteros que pueden estar presentes en la zona del estudio y realizar disecciones de los nidos para verificar la presencia de larvas y determinar si se encuentran en su fase reproductiva. También es necesario realizar estudios de esta especie en su rango nativo para comprender mejor la fenología y cómo se comparan las poblaciones de *L. humile* nativas e introducidas.

De acuerdo con el mapa, se corroboró que *L. humile* se encuentra distribuida por casi todo el Valle de Quito. La expansión de *L. humile* ha sido rápida al cubrir un área de más de 372 km² en tan solo 30 años. A lo largo del tiempo, se puede notar que, desde los primeros registros en el centro norte de Quito en 1990, en los años 2000 y 2005, la hormiga se esparció a lo largo de Quito. Los registros se encuentran en toda la parte norte de la ciudad, hasta Pomasqui. Después del 2015, la expansión de la hormiga se aceleró significativamente hasta llegar a los valles de Tumbaco, Cumbayá y los Chillos.

Los registros indican una mayor presencia en las zonas urbanas. Esto puede deberse a que, en las zonas menos urbanizadas y montañosas, la diversidad de especies nativas es mucho más alta e impide que *L. humile* pueda colonizar fácilmente estos espacios al existir mayor competencia (ej. resistencia biótica) (Santana, Resende, Frauendorf, Zandona, & Mazzoni, 2020). Por otro lado, en términos fisiológicos para el desarrollo de larvas y huevos, la temperatura debe estar en el rango de 18 a 32°C (Abril, Oliveras, & Gómez, 2010) y las

montañas del valle de Quito poseen un clima más frío que el de la ciudad y los valles. Entre los 3000 y 4000 msnm, la temperatura suele variar de los 3 a 17°C (MECN, 2009), condiciones que no son óptimas para la supervivencia de *L. humile*. Debido a esto, se distribuye en zonas con una altitud inferior a los 3000 msnm, donde la temperatura no tiene estos extremos de frío, además de que las zonas urbanizadas pueden aumentar la temperatura de la superficie y servir como un refugio cálido (Sussman, Raghacendra, & Zhou, 2019).

L. humile es poco tolerante a suelos con bajo contenido de humedad. Los suelos secos limitan su capacidad de forrajeo y exploración al no tener la habilidad de penetrarlos (Holway, Suarez, & Case, 2002). Los valles y mesetas donde prevalece el bosque seco tienen una precipitación menor a la de la ciudad y en los otros valles, por lo que el suelo es más seco (MECN, 2009). Esto explicaría que *L. humile* es mucho más rara en estos sitios al no ser capaz de invadirlos efectivamente.

Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, en ocasiones *L. humile* está presente en zonas montañosas y secas, seguramente debido a la urbanización que reduce los efectos de las bajas temperaturas y falta de humedad en el suelo. Un ejemplo de esto son los registros en el Ilaló. En los últimos años, este volcán inactivo ha sufrido procesos agresivos de urbanización donde la vegetación remanente y la biodiversidad se han visto reducidas (Novillo, 2018), probablemente facilitando aún más la colonización de *L. humile*.

Otros estudios han encontrado que la irrigación ha favorecido a *L. humile*. En California, en la reserva Jasper, las casas y zonas agrícolas irrigan la zona y afectan a la humedad durante la época seca (Gordon & Heller, 2014). En el bosque seco del valle de Quito, la frontera agrícola y la urbanización están en aumento, implicando el uso de la irrigación, aumentando la humedad del suelo, favoreciendo y facilitando la expansión tal como en la reserva Jasper.

Cabe recalcar que también pudieron existir sesgos en los registros. Las observaciones en iNaturalist se concentran en su mayoría en las zonas urbanas al ser lugares con mayor acceso para las personas, por lo que más registros van a aparecer en estas áreas. De forma similar, las zonas altas, quebradas y zonas alejadas no se observan registros debido probablemente a que en estos lugares no mucha gente va a explorar a tomar fotos o son de difícil acceso. Este patrón se ha observado por ejemplo en la distribución geográfica de holotipos de insectos en el Ecuador, los cuales se concentran en zonas de fácil acceso a través de la red de carreteras (Donoso, Salazar, Maza, Cárdenas, & Dangles, 2009). Esto se sumaría además a que debido a su tamaño por lo general las hormigas son ignoradas y no son un objetivo muy fácil de fotografiar.

Aunque la expansión geográfica y el número de registros a lo largo del tiempo muestran patrones crecientes, la información no se encuentra del todo completa debido a que no hay registros entre 2007 hasta 2018 a causa de la falta de estudios y por el poco uso de aplicaciones de ciencia ciudadana. Durante este intervalo, los registros pudieron haber sido útiles para identificar en qué momento llegó *L. humile* a los valles. También hay que tomar en cuenta que la mayoría de registros son de los últimos años debido a la reciente popularidad del uso de aplicaciones de ciencia ciudadana.

Diversidad de hormigas en el Valle de Quito

Previo a este estudio, se registraban 8 especies en el Valle de Quito (*Dolichoderus abruptus*, *Linepithema angulatum*, *L. humile*, *Monomorium pharaonis*, *Monomorium* sp, *Pheidole alpestris*, *P. cameroni*, *Neoponera carbonaria*).

Después de compilar los registros de varios estudios, se eliminaron 13 registros dudosos registrados por Forel (*Pachycondrya crassinota*, *Neoponera villosa*, *Neoponera commutata*, *Gnamptogenys tortuolosa*, *Eciton hamatum*, *Crematogaster longispina*, *Cephalotes atratus*,

Atta cephalotes, *Dolichoderus rugostis*, *Camponotus nitens*, *C. sexguttatus*, *C. holzi* y *Mesoponera eleonora*) (Forel, 1921). La diversidad de la fauna de hormigas ha pasado de 8 a 20 especies de 15 géneros en 5 subfamilias. La familia con mayor número de especies es Myrmicinae, con 12 especies, resultado no sorprendente al ser la subfamilia con mayor riqueza mundial de especies (aproximadamente 13000) (AntWeb, 2022). 8 especies representan nuevos registros para el valle de Quito (*Adelomyrmex* sp., *Brachymyrmex cordemoyi*, *Crematogaster* sp., *Solenopsis* sp., *Strumigenys eggersi*, *Tetramorium* sp., *Hypoponera distinguenda* y *Pseudomyrmex*).

A causa de la urbanización, algunas especies han sido introducidas y se han establecido en la zona. *Linepithema humile* y *Monomorium pharaonis* han sido reportadas como especies invasoras en el país (Donoso, Onore, Ramón, & Lattke, 2014). Así mismo, *Solenopsis* sp. y la otra especie de *Monomorium* podrían no ser especies nativas de la zona. Esto es de importancia ya que, la fauna y flora nativa puede estar sufriendo presiones adicionales a las que ejerce *L. humile*. Se recomienda realizar más colecciones y dedicar más tiempo a la identificación de estas especies para determinar si son introducidas. De esta forma, se puede determinar algún tipo de control para evitar que estas especies se establezcan y se vuelvan tan invasoras como *L. humile*.

Las hormigas georreferenciadas se concentran principalmente en la ciudad de Quito y los valles aledaños. En zonas con mayor cobertura natural, es notoria la presencia de hormigas nativas (*Camponotus* sp. en el nudo del Pasochoa y laderas del Pichincha, *Pheidole* sp. en la cordillera oriental y el parque de la Armenia, *Pseudomyrmex* sp., *Tetramorium* sp. en el valle de Guayllabamba, *Adelomyrmex* sp. y *Strumigenys eggersi* en el parque de la Armenia). Al existir un sesgo hacia zonas urbanas, es necesario un mayor esfuerzo de muestreo fuera de estas zonas para conocer mejor la diversidad de la mirmecofauna nativa y su distribución.

La falta de claves enfocadas en hormigas ecuatorianas, y la enorme diversidad de algunos grupos, hacen que la identificación a nivel de especie de géneros diversos sea complicada y no se pueda pasar más allá de género. La creación de estas claves y mayor conocimiento pueden ayudar a que las hormigas puedan ser identificadas adecuadamente, y se puede determinar las especies nativas e introducidas.

Aunque existe una riqueza relativamente alta, *L. humile* domina la mirmecofauna del valle de Quito al ser la especie con mayor cantidad de registros (226) (Figura 6), además de ser la especie con mayor abundancia relativa durante el muestreo (0.69) (Figura 4).

Si bien se documentaron todas las especies de hormigas atraídas hacia los cebos en este estudio, este no es el método más eficaz para colectar hormigas en la ciudad. Los índices de Simpson indican una baja probabilidad de que las especies colectadas sean de una especie diferente (0,4367-0,5002), y la curva de acumulación de especies (Figura 5) indica que se pueden encontrar entre 3 a 9 especies de hormigas con este método, correspondiente al 15%-45% de las especies registradas. Además, con este método se capturan especies terrestres, mientras que especies arbóreas puede que no les atraiga los cebos en el suelo (Hashimoto & Yamane, 2001). Diversos métodos de colecta deben ser utilizados al realizar un muestreo para analizar la mirmecofauna, como la recolección a mano, trampas pitfall, muestreos de núcleo de suelo, o una mejora de los cebos al localizarlos en diferentes microhábitats, y con diferentes tipos de proteínas y carbohidratos, pueden ser útiles para muestrear una mayor diversidad de hormigas (Hashimoto & Yamane, 2001).

Se recomienda realizar muestreos fuera del núcleo urbano. Las zonas con vegetación natural remanente se encuentran sub representada actualmente al no existir una cantidad tan alta de registros como en la ciudad. Hormigas que no han sido registradas en el Valle de Quito pueden estar presentes al ser zonas con una diversidad mayor a la de la ciudad, por lo que se espera que la lista preliminar de especies pudiera ser mucho mayor.

CONCLUSIONES

Aunque su alimentación se basa principalmente en carbohidratos, *Linepithema humile* prefirió el cebo de proteínas. Existen dos explicaciones para esta preferencia. La primera es que la disponibilidad de alimentos proteicos, como invertebrados, es baja en zonas urbanizadas, mientras que los carbohidratos se encuentran fácilmente disponibles y satisfacen las necesidades calóricas. La segunda podría ser que *L. humile* se encuentra en su época de reproducción y desarrollo de larvas y pupas, durante el muestreo, y por tanto preferiría una dieta más alta en proteínas necesarias para su desarrollo y reproducción. Las condiciones climáticas podían influenciar las preferencias alimenticias y la época reproductiva, por lo que estudios a lo largo del año, en diferentes épocas y con diferentes cebos son necesarios para entender mejor la ecología de *L. humile* en el Valle de Quito.

La distribución de *L. humile* se relaciona con la expansión urbana al establecerse en zonas donde las actividades antropogénicas son notorias. Las zonas con remanentes de vegetación pudieron no haber mostrado una gran presencia a causa de los factores ambientales que reducen el fitness de *L. humile*. Sin embargo, esto podría verse compensado por la expansión urbana que permitiría que *L. humile* expanda su rango de distribución al reducir los efectos negativos de la temperatura ambiental o falta de humedad en los suelos. Se recomienda realizar muestreos en zonas con remanentes de vegetación para determinar si *L. humile* se encuentra presente, y así también subsanar el sesgo de muestreo que existe actualmente.

En general para realizar muestreos mirmecológicos, el uso de cebos está sesgado hacia especies que forrajeen en la superficie (Hashimoto & Yamane, 2001; King, Andersen, & A, 1998), por tanto este podría no haber sido el método más en el Valle de Quito. Adicionalmente, al tratarse de una especie agresiva dominante en los cebos, *L. humile* podría haber evitado que

especies menos agresivas acudieran a los cebos. El uso de otros métodos de muestreo es necesario para catalogar mejor la abundancia y riqueza de las hormigas en el valle de Quito.

La lista preliminar de especies de hormigas elimina 13 especies con registros dudosos, e incluye 20 especies distribuidas en 15 géneros y 5 subfamilias. 8 especies representan nuevos registros para el Valle de Quito. 2 son posiblemente introducidas, y las demás especies serían consideradas nativas. Los registros se concentran en las zonas urbanizadas, aunque varios registros e hormigas nativas se encuentran en zonas con vegetación remanente. Posiblemente la riqueza de hormigas en el Valle de Quito es mucho más grande de lo que se ha registrado en este estudio. El sesgo hacia zonas urbanizadas causa que las hormigas presentes en zonas con vegetación remanente se vean sub representadas. Para eliminar este sesgo, deben realizarse muestreos en las zonas naturales, alejadas de la presencia de hormigas dominantes como lo es *L. humile*.

REFERENCIAS

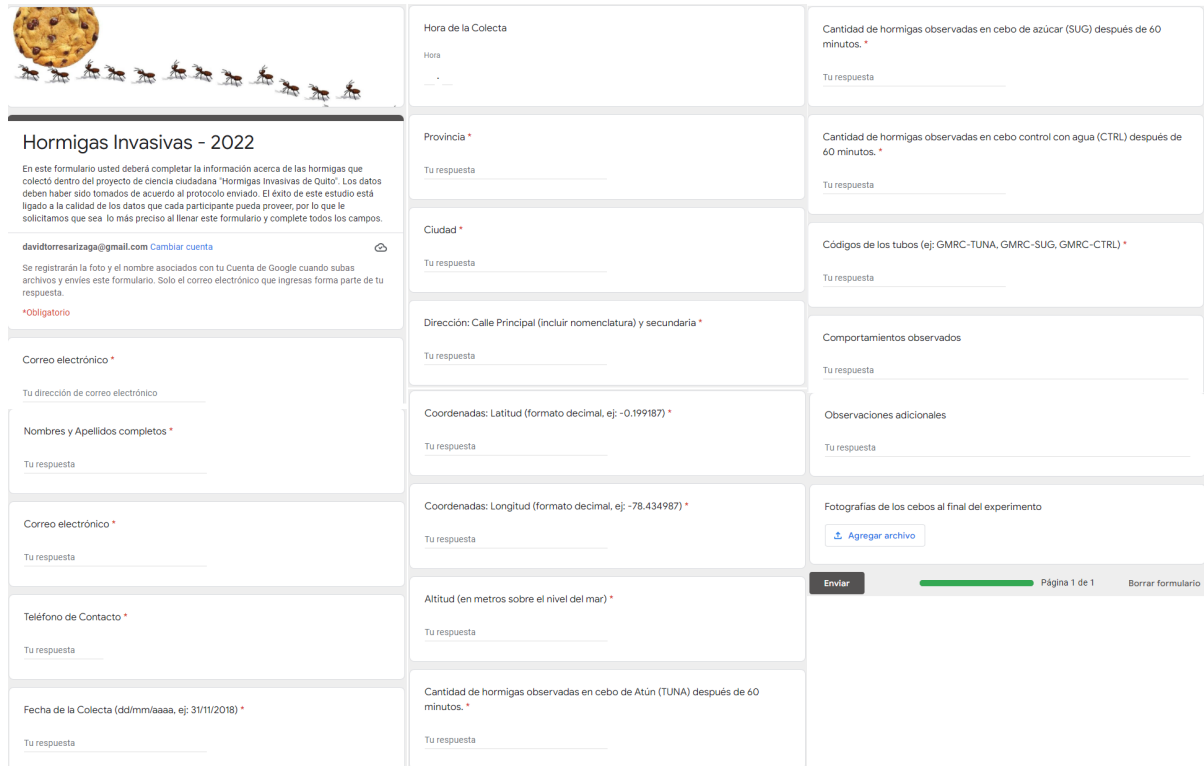
- Abril, S., Oliveras, J., & Gómez, C. (2010). Effect of temperature on the development and survival of. *Journal of Insect Science*, 10(1).
- AntWeb*. (2022). Obtenido de <https://www.antweb.org/statsPage.do>
- Baccaro, F., Feitosa, R., & Fernando, F. (2015). Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Editora Inpa. Manaus.
- Blancafort, X., & Gomez, C. (2006). DOWNFALL OF POLLEN CARRIAGE BYANTS AFTER ARGENTINE ANT INVASION IN TWO MEDITERRANEAN EUPHORBIA SPECIES. *Vie et Milieu/Life & Environment*, 243-246.
- Carpintero, S., & Reyes-López, J. (2008). The role of competitive dominance in the invasive ability of the Argentine ant (*Linepithema humile*). *Biological Invasions*, 10(1), 24-30.
- Cisneros-Heredia, D., Amigo, X., Arias, D., Arteaga, J., Bedoya, J., Espinosa, S., . . . Carrion, J. (2015). Reporte del 1er conteo navideño de aves de Quito, Ecuador. *Revista Avances en Ciencias e Ingenierías*, 7(2), 37-51.
- Dash, S. (2011). A taxonomic revision of the new world Hypoponera Santschi, 1938 (Hymenoptera: Formicidae). *The University of Texas at El Paso*.
- Donoso, D. A., Onore, G., Ramón, G., & Lattke, J. (2014). Invasive ants of continental Ecuador, a first account. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB*, 35(1), 133-141.
- Donoso, D., Salazar, F., Maza, F., Cárdenas, R., & Dangles, O. (2009). Diversity and distribution of type specimens deposited in the Invertebrate section of the Museum of Zoology QCAZ, Quito, Ecuador. *Annales de la Société entomologique de France*, 45(4), 437-454.
- Fernández, F., & Sepúlveda, C. (2019). Subfamilia Formicinae. En F. Fernández, R. Guerrero, & T. Delsinne, *Hormigas de Colombia* (págs. 721-741). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Fernández, F., & Serna, F. (2019). Subfamilia Myrmicinae. Capítulo 27. En F. Fernández, R. J. Guerrero, & T. Delsinne, *Hormigas de Colombia* (págs. 791-888). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Fisher, B. (2010). Biogeography. En L. Lach, L. Lach, C. Parr, K. P. Abbot, & K. Abbot, *Ant ecology* (págs. 18-30). Oxford University Press.
- Fisher, R., Suarez, A., & Case, T. (2002). Spatial patterns in the abundance of the coastal horned lizard. *Conservation Biology*, 16(1), 205-215.
- Flanagan, T., Pinter-Wollman, N. M., Moses, M. M., & Gordon, D. (s.f.). Fast and Flexible: Argentine Ants Recruit from Nearby Trails. *PloS one*, 8(8). doi:e70888
- Forbes, A. A., Bagley, R. K., Beer, M. C., Hippee, A. C., & Widmayer, H. A. (2018). Quantifying the unquantifiable: why Hymenoptera, not Coleoptera, is the most speciose animal order. *BMC Ecology*, 18(21).
- Forel, A. (1921). Quelques fourmis des environs de Quito (Ecuador), récoltées par Mme Eléonore Naumann. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 54, 131-135.
- Gallina, S., González-Romero, A., & Manson, R. (2008). Mamíferos pequeños y medianos. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*, 161-180.
- GBIF*. (2022). Obtenido de <https://doi.org/10.15468/dl.8bxsr3>

- Giraud, P., Pedersen, J., & Keller, L. (2002). Evolution of supercolonies: the Argentine ants of southern Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(9), 6075-6079.
- Gordon, D., & Heller, N. (2014). The invasive Argentine ant *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae) in Northern California reserves: from foraging behavior to local spread. *Myrmecol News*, 19, 103-110.
- Goulson, D. (2019). The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*, 29(19), R967-R971.
- Hashimoto, Y., & Yamane, S. M. (2001). How to design an inventory method for ground-level ants in tropical forests. *Nature and Human Activities*, 6, 25-30.
- Herrera, H. (2022). *Antweb*. Obtenido de Island: Galapagos Islands: <https://www.antweb.org/island.do?name=Galapagos+Islands>
- Holway, D., Suarez, A., & Case, T. J. (2002). Role of abiotic factors in governing susceptibility to invasion: a test with Argentine ants. *Ecology*, 83(6), 1610-1619.
- Markin, G. (1970a). Food distribution within laboratory colonies of the Argentine ant, *Tridomyrmex humilis* (Mayr). *Insectes sociaux*, 17(2), 127-157.
- Markin, G. (1970b). The seasonal life cycle of the Argentine ant, *Iridomyrmex humilis* (Hymenoptera: Formicidae), in southern California. *Annals of the Entomological Society of America*, 63(5), 1238-1242.
- MECN. (2009). *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Quito - Ecuador: Publicación Miscelánea No. 6. Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN).
- Menke, S. B., Suarez, A. V., Tillberg, C. V., & Holway, D. A. (2010). Trophic ecology of the invasive Argentine ant: spatio-temporal variation in resource assimilation and isotopic enrichment. *Oecologia*, 164(3), 763-771.
- Moore, M., Tansuwan, M., & Carmona-Galindo, V. D. (2013). Differential bait preference and rate of attraction by Argentine ant. *Bios*, 84(4), 232-236.
- NHM. (2022). *Past 4 - the Past of the Future*. Obtenido de <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>
- Novillo, L. (2018). Análisis de la dinámica territorial del cerro Ilaló que justifica su declaración como área natural protegida del Distrito Metropolitano de Quito. *PUCE*.
- Nugent, J. (2018). iNaturalist. *Science Scope*, 41(7), 12-13.
- Nyamukondiwa, C., & Addison, P. S. (2014). Food preference and foraging activity of ants: Recommendations for field applications of low-toxicity baits. *Journal of Insect Science*, 14(1).
- Oña-Cisneros, F., & García, D. (2015). Prevalencia de parásitos intestinales y comparación de dos métodos diagnósticos en heces de niños escolares de tres parroquias del Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador. 4(5), 19.
- Orton, J. (1872). Contributions to the Natural History of the Valley. *The American Naturalist*, 6(11), 650-657.
- Page, H., Sweeney, A., Pilko, A., & Pinter-Wollman, N. (2018). Underlying mechanisms and ecological context of variation in exploratory behavior of the Argentine ant, *Linepithema humile*. *Journal of Experimental Biology*, 221(24). doi:jeb188722
- Rosumek, F. (2017). Natural history of ants: what we (do not) know about trophic and temporal niches of neotropical species. *Sociobiology*, 64(3), 244-255.
- Salazar, F., Reyes-Bueno, F., Sanmartín, D., & Donoso, D. A. (2015). Mapping continental Ecuadorian ant species. *Sociobiology*, 62(2), 132-162.

- Santana, P., Resende, L., Frauendorf, T., Zandona, E., & Mazzoni, R. (2020). Urbanization can increase the invasive potential of alien species. *Journal of Animal Ecology*, 89(10), 2345-2355.
- Santos, M. (2016). Research on urban ants: approaches and gaps. *Insectes Sociaux*, 63(3), 359-371.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688.
- Sola, F., & Josens, R. (2016). Feeding behavior and social interactions of the Argentine ant *Linepithema humile* change with sucrose concentration. *Bulletin of Entomological Research*, 106(4), 522-529.
- Sussman, H., Raghacendra, A., & Zhou, L. (2019). Impacts of increased urbanization on surface temperature, vegetation, and aerosols over Bengaluru, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16.
- Torres, K. (2017). Sistemas socioecológicos en la prehistoria del Valle de Quito: un estudio de escala temporal amplia. *PUCE*.
- Vieira, J., Onnore, G., & Vries, T. (2006). La hormiga argentina en Quito: ¿Qué pasará con las hormigas de la noble Quito? *Nuestra Ciencia*, 8, 31-33.
- Wettker, J., Wild, A. L., Suarez, A., Roura-Pascual, N., & Espadeler, X. (2009). Worldwide spread of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 12, 187-194.
- Wheeler, D., & Martinez, T. (1995). Storage proteins in ants (Hymenoptera:Formicidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 112(1), 15-19.
- Wild, A. (2007). Taxonomic revision of the ant genus *Linepithema* (Hymenoptera: Formicidae). *Univ of California Press*, 126.

ANEXOS

ANEXO A: Formulario de Google Drive a completar por los estudiantes



Hormigas Invasivas - 2022

En este formulario usted deberá completar la información acerca de las hormigas que colectó dentro del proyecto de ciencia ciudadana "Hormigas Invasivas de Quito". Los datos deben haber sido tomados de acuerdo al protocolo enviado. El éxito de este estudio está ligado a la calidad de los datos que cada participante pueda proveer, por lo que le solicitamos que sea lo más preciso al llenar este formulario y complete todos los campos.

davidforresarizaga@gmail.com [Cambiar cuenta](#)

Se registrarán la foto y el nombre asociados con tu Cuenta de Google cuando subas archivos y envíes este formulario. Solo el correo electrónico que ingresas forma parte de tu respuesta.

***Obligatorio**

Correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico

Nombres y Apellidos completos *

Tu respuesta

Correo electrónico *

Tu respuesta

Teléfono de Contacto *

Tu respuesta

Fecha de la Colecta (dd/mm/aaaa, ej: 31/11/2018) *

Tu respuesta

Hora de la Colecta

Hora

Provincia *

Tu respuesta

Ciudad *

Tu respuesta

Dirección: Calle Principal (incluir nomenclatura) y secundaria *

Tu respuesta

Coordenadas: Latitud (formato decimal, ej: -0.199187) *

Tu respuesta

Coordenadas: Longitud (formato decimal, ej: -78.434987) *

Tu respuesta

Altitud (en metros sobre el nivel del mar) *

Tu respuesta

Cantidad de hormigas observadas en cebo de azúcar (SUG) después de 60 minutos. *

Tu respuesta

Cantidad de hormigas observadas en cebo control con agua (CTRL) después de 60 minutos. *

Tu respuesta

Códigos de los tubos (ej: GMRC-TUNA, GMRC-SUG, GMRC-CTRL) *

Tu respuesta

Comportamientos observados

Tu respuesta

Observaciones adicionales

Tu respuesta

Fotografías de los cebos al final del experimento

[Agregar archivo](#)

Enviar **Página 1 de 1** [Borrar formulario](#)

ANEXO B: *Linepithema humile*ANEXO C: *Hypoponera distinguenda*



ANEXO D: *Monomorium* sp.



ANEXO E: *Brachymyrmex cordemoyi*



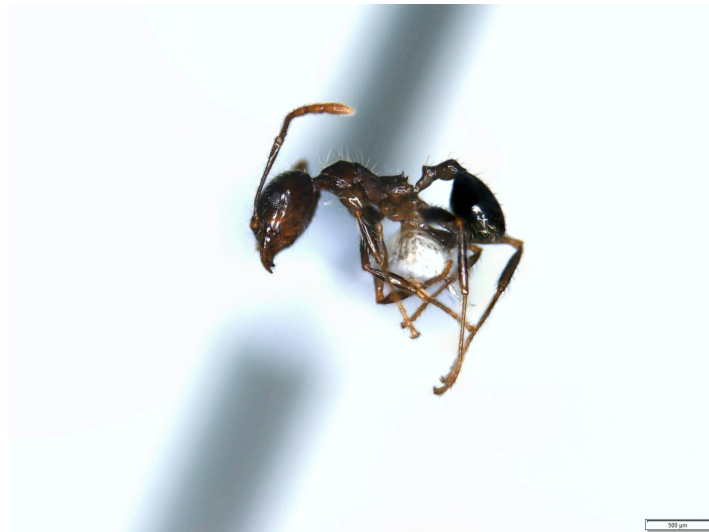
ANEXO F: *Solenopsis* sp.



ANEXO G: *Pheidole* sp.



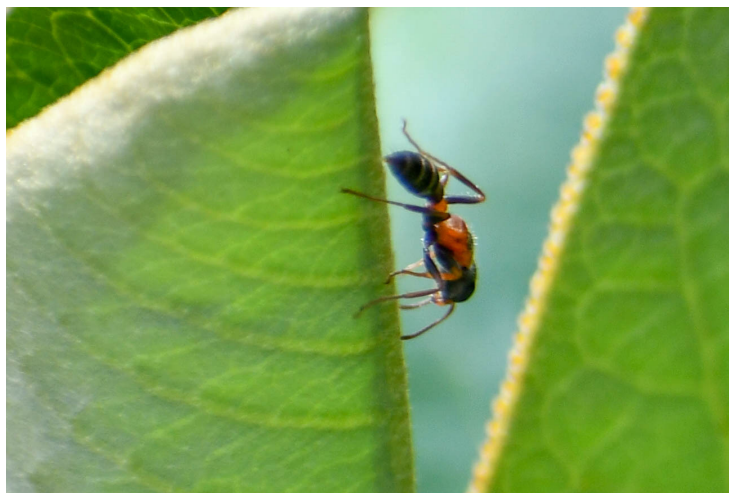
ANEXO H: *Pheidole* sp.



ANEXO I: *Strumygenis eggersy*



ANEXO J: *Pseudomyrmex* sp.



ANEXO K: *Tetramorium* sp.



ANEXO L: *Adelomyrmex* sp.

