



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RASGOS FUNCIONALES DE  
HORMIGAS ENTRE BOSQUES PIEMONTANOS DE LAS  
CORDILLERAS ORIENTAL Y OCCIDENTAL EN EL SUR DEL  
ECUADOR**

**AUTORA:**

**DOMENICA SAYURY SUCONOTA VEGA**

**DIRECTORA:**

**GISSELA DE LA CADENA MENDOZA, PH.D.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2026**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por ser mi motor y por darme la oportunidad de estudiar la carrera de biología, por su amor, esfuerzo, orgullo y apoyo incondicional en cada etapa de este camino.

A Gabi, por ser mi compañera, amiga y hermana durante toda la carrera, por cada momento compartido, por impulsarme siempre a seguir adelante y por ser un ejemplo a seguir.

A Xavi, por siempre estar, por motivarme a crecer y a perseguir aquello que me apasiona.

A Bladimir, mi gran compañero de campo, mi amigo y el mejor fotógrafo que he conocido.

A Nena, Arnold y Chuleta, por su incondicional compañía.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad del Azuay, por brindarme el espacio académico y los recursos necesarios para la realización de esta investigación.

A mi directora de tesis, Gissela, por su guía, acompañamiento y valiosas observaciones a lo largo de todo el proceso de investigación. Su apoyo fue fundamental para el desarrollo y consolidación de este trabajo.

Expreso también mi sincero agradecimiento a Boris, miembro del tribunal, por sus comentarios y aportes críticos que contribuyeron a fortalecer la calidad de este estudio, y a David, docente de la asignatura de titulación, por su orientación y seguimiento durante esta etapa académica.

A Pedro Montes, por la recolección de datos en campo que sirvieron como base para el desarrollo de este estudio.

A Alex Pazmiño, por su mentoría y por compartir generosamente sus conocimientos esenciales para la ejecución del componente taxonómico de esta investigación.

A mis ayudantes de laboratorio, por su colaboración, compromiso y apoyo durante el procesamiento de muestras.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
MÉTODOS .....	3
2.1 Área de Estudio.....	3
2.2 Puntos de Muestreo y Metodología en Campo .....	4
2.3 Procesamiento de muestras y trabajo de laboratorio.....	6
2.4 Medición de rasgos ecomorfológicos .....	7
2.5 Análisis Estadístico.....	7
2.5.1 Diversidad alfa:.....	8
2.5.2 Diversidad beta: .....	8
2.5.3 Estructura de la comunidad: .....	9
2.5.4 Diversidad funcional (FD):.....	9
2.5.5 Estructura del morfoespacio y rasgos clave: .....	9
RESULTADOS.....	11
3.1 Diversidad alfa.....	11
3.1.1 Representatividad del muestreo (Curvas de rarefacción) .....	11
3.1.2 Riqueza y estimadores .....	13
3.2 Beta diversidad y patrones de composición de especies.....	15
3.2.1 Comparación entre morfotipos .....	15
3.2.2 Diversidad funcional.....	16
3.2.3 Recambio de especies.....	18
3.3 Rasgos funcionales.....	19
3.3.1 Análisis de Componentes Principales.....	19
DISCUSIÓN .....	23
CONCLUSIÓN.....	26
REFERENCIAS.....	27
FIGURAS .....	31
ÍNDICE DE ANEXOS .....	42

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Glosario de medidas funcionales .....	42
<b>Anexo 2.</b> Tabla 3. Tabla resumen de análisis estadístico .....	44
<b>Anexo 3.</b> Tabla 4. Resumen de las 10 morfoespecies más representativas de cada localidad	45
<b>Anexo 4.</b> Link de base de datos del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resumen de datos obtenidos del Sample Coverage (SC) de las dos zonas de muestreo.....	11
<b>Tabla 2.</b> Tabla resumen de datos generales de abundancia en Domono y La Iberia. ....	13
<b>Tabla 3.</b> Tabla resumen de análisis estadístico. ....	44
<b>Tabla 4.</b> Resumen de las 10 morfoespecies más representativas de cada localidad. ....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de fogging en la provincia de Azuay y Morona Santiago.....	3
<b>Figura 2.</b> Representación ilustrativa de la metodología de Fogging empleada en dosel. ....	5
<b>Figura 3.</b> Curva de rarefacción con extrapolación (x2) de la localidad de Domono (Morona Santiago) y La Iberia (Azuay).....	12
<b>Figura 4.</b> Representación gráfica de la abundancia de morfotipos registrados de la familia Formicidae en Domono y La Iberia. ....	14
<b>Figura 5.</b> Diagramas de Venn de la localidad Domono y La Iberia. ....	15
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Venn de morfoespecies presentes en la localidad de La Iberia (Azuay) y Domono (Morona Santiago). ....	16
<b>Figura 7.</b> Partición de la diversidad beta basada en el índice de Sørensen ( $\beta$ SOR) en sus componentes de recambio de especies ( $\beta$ SIM) y anidamiento ( $\beta$ SNE).....	17
<b>Figura 8.</b> Gráfico de presencia-ausencia de los morfotipos de Domono y La Iberia. ....	18
<b>Figura 9.</b> Análisis de Componentes Principales de la Localidad de La Iberia, Azuay. ....	20
<b>Figura 10.</b> Análisis de Componentes Principales de la Localidad de Domono, Morona Santiago.....	21
<b>Figura 11.</b> Análisis de Componentes Principales entre las localidades de La Iberia (Azuay) y Domono (Morona Santiago). ....	22

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE RASGOS FUNCIONALES DE HORMIGAS ENTRE BOSQUES PIEMONTANOS DE LAS CORDILLERAS ORIENTAL Y OCCIDENTAL EN EL SUR DEL ECUADOR

## RESUMEN

Las hormigas del dosel cumplen roles ecológicos fundamentales en los ecosistemas tropicales y responden de manera sensible a los filtros ambientales. Sin embargo, poco se conoce sobre la relación entre la identidad taxonómica y la estructura funcional frente a las barreras biogeográficas. En este estudio se analizó la diversidad taxonómica y funcional de comunidades de hormigas en bosques siempreverdes piemontanos de las vertientes Oriental (Domono) y Occidental (La Iberia) del sur del Ecuador, evaluando la influencia de la altitud y la posible convergencia funcional. Mediante nebulización en seis parcelas (860-1.170 m.s.n.m.) se recolectaron 5.466 individuos de los cuales se midieron 12 rasgos ecomorfológicos y se analizaron los componentes de la diversidad alfa, beta (recambio y anidamiento) junto con la estructura del morfoespacio mediante PCA y PERMANOVA. Los resultados evidenciaron que La Iberia presentó mayor riqueza y equidad taxonómica, mientras que Domono mostró una menor diversidad. Se detectó una disimilitud taxonómica casi total entre cordilleras, explicada exclusivamente por el recambio de especies. No obstante, el PCA reveló un solapamiento considerable en el morfoespacio, indicando una convergencia funcional parcial: diferentes especies desempeñan roles equivalentes mediante combinaciones similares de tamaño corporal y longitud de apéndices. El PERMANOVA confirmó la localidad y la altitud actúan como filtros significativos de la estructura funcional. Existe una marcada divergencia taxonómica promovida por el aislamiento geográfico, pero una convergencia funcional que sugiere presiones adaptativas equivalentes en el dosel de ambas vertientes.

**Palabras clave:** Hormigas del dosel, ecomorfología, gradiente altitudinal, recambio de especies, convergencia funcional, Andes, Ecuador.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF FUNCTIONAL TRAITS OF ANTS BETWEEN  
PIEDMONT FORESTS OF THE EASTERN AND WESTERN MOUNTAIN  
RANGES IN SOUTHERN ECUADOR**

**ABSTRACT**

**Introduction:** Canopy ants play fundamental ecological roles in tropical ecosystems and respond sensitively to environmental filters. However, the relationship between taxonomic identity and functional structure across biogeographic barriers remains poorly understood. **Objective:** This study analyzed the taxonomic and functional diversity of canopy ant communities in evergreen piedmont forests of the Eastern (Domono) and Western (La Iberia) slopes of southern Ecuador, evaluating the influence of altitude and the potential existence of functional convergence. **Methodology:** Using canopy fogging across six plots (860–1,170 m a.s.l.), 5,466 individuals from 142 morphospecies were collected. Twelve ecomorphological traits were measured, and beta diversity components (turnover and nesting) were analyzed alongside morphospace structure using PCA and PERMANOVA. **Results:** La Iberia exhibited higher taxonomic richness and evenness, while Domono showed lower diversity due to the high dominance of *Wasmannia*. A nearly total taxonomic dissimilarity was detected between mountain ranges ( $\beta_{SOR} = 0.95$ ), explained exclusively by species turnover ( $\beta_{SIM} = 0.94$ ). Nevertheless, PCA revealed considerable morphospace overlap, indicating partial functional convergence: different species perform equivalent roles through similar combinations of body size and appendage length. PERMANOVA confirmed that both locality and altitude act as significant filters for functional structure ( $p = 0.001$ ). **Conclusions:** There is a marked taxonomic divergence driven by geographic isolation, yet a functional convergence that suggests equivalent adaptive pressures in the canopies of both slopes.

**Keywords:** Canopy ants, functional diversity, ecomorphological traits, altitudinal gradient, species turnover, functional convergence, Andes, Ecuador.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE RASGOS FUNCIONALES DE HORMIGAS ENTRE BOSQUES PIEMONTANOS DE LAS CORDILLERAS ORIENTAL Y OCCIDENTAL EN EL SUR DEL ECUADOR

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas terrestres dependen de redes complejas de interacciones biológicas, en las que las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) destacan por su biomasa, diversidad y roles ecológicos clave. Como ingenieras del ecosistema, las hormigas modifican las propiedades físico-químicas del suelo, regulan el reciclaje de nutrientes, median en procesos de dispersión de semillas y participan en interacciones tróficas diversas, que abarcan desde el mutualismo hasta la depredación activa (Sanders & van Veen, 2011; Tiede et al., 2017). Su sensibilidad a los gradientes ambientales y su amplia representación en diversos hábitats las convierten en bioindicadoras ideales para evaluar la integridad ecológica y las respuestas funcionales ante el cambio global (Hoffmann & Andersen, 2003; Tiede et al., 2017).

En los bosques tropicales, el dosel representa uno de los estratos más diversos y, paradójicamente, menos comprendidos. Se estima que alrededor del 50 % de las especies de hormigas habitan o forrajean en este nivel arbóreo, lo que evidencia su gran relevancia para la biodiversidad global (Floren et al., 2014). Históricamente, el acceso al dosel ha sido limitado por desafíos logísticos significativos; sin embargo, técnicas como la nebulización (*fogging*) han facilitado muestreos exhaustivos. Estos estudios han revelado que la fauna arbórea posee adaptaciones morfológicas y funcionales únicas, moldeadas por la vida en un entorno tridimensional, fragmentado y altamente dinámico (Weiser & Kaspari, 2006).

Los bosques siempreverdes piemontanos de los Andes ecuatorianos, situados en las estribaciones orientales y occidentales, son ecosistemas de transición críticos con una productividad y riqueza biológica excepcionales (MAE, 2012; Pitman et al., s. f.). A pesar de su valor ecológico, la fauna del dosel en estas regiones permanece insuficientemente documentada, especialmente en lo que respecta a sus rasgos funcionales. Esta brecha de conocimiento es preocupante dada la acelerada deforestación y fragmentación que sufren estos bosques debido a diversas actividades agropecuarias (Vargas et al., 2000).

La Cordillera de los Andes, además de estructurar el paisaje, actúa como una barrera geográfica

fundamental que promueve la divergencia evolutiva por alopatría (Fernández et al., 2019). Más allá de la separación taxonómica, las marcadas diferencias climáticas y de disponibilidad de recursos entre la vertiente amazónica (oriental) y la vertiente costera/tumbesina (occidental) imponen distintos filtros ecológicos (Moretti et al., 2017; Wong et al., 2019). Estos filtros seleccionan rasgos morfológicos específicos que optimizan el desempeño biológico bajo condiciones locales de humedad, temperatura y estructura del hábitat, influyendo no solo en la composición de las especies, sino también en la arquitectura funcional de las comunidades (Arnan et al., 2014; Guilherme et al., 2019; Wong et al., 2019).

El enfoque basado en rasgos funcionales permite superar las limitaciones de la taxonomía tradicional al centrarse en características medibles relacionadas con la aptitud biológica (*fitness*). Rasgos como el tamaño relativo de los ojos, la longitud de los apéndices y la morfología mandibular reflejan estrategias de forrajeo, partición de nicho y uso del microhábitat de las hormigas (Silva & Brandão, 2010; Sosiak & Barden, 2020). Por ejemplo, según la hipótesis de *Size-Grain*, la rugosidad del entorno interactúa con el tamaño corporal y la longitud de las patas para determinar la eficiencia locomotora (Kaspari & Weiser, 1999; Weiser & Kaspari, 2006). Así, el análisis de rasgos funcionales permite comparar comunidades con historias biogeográficas distintas y evaluar si ambientes análogos seleccionan soluciones ecomorfológicas convergentes (Brousseau et al., 2018).

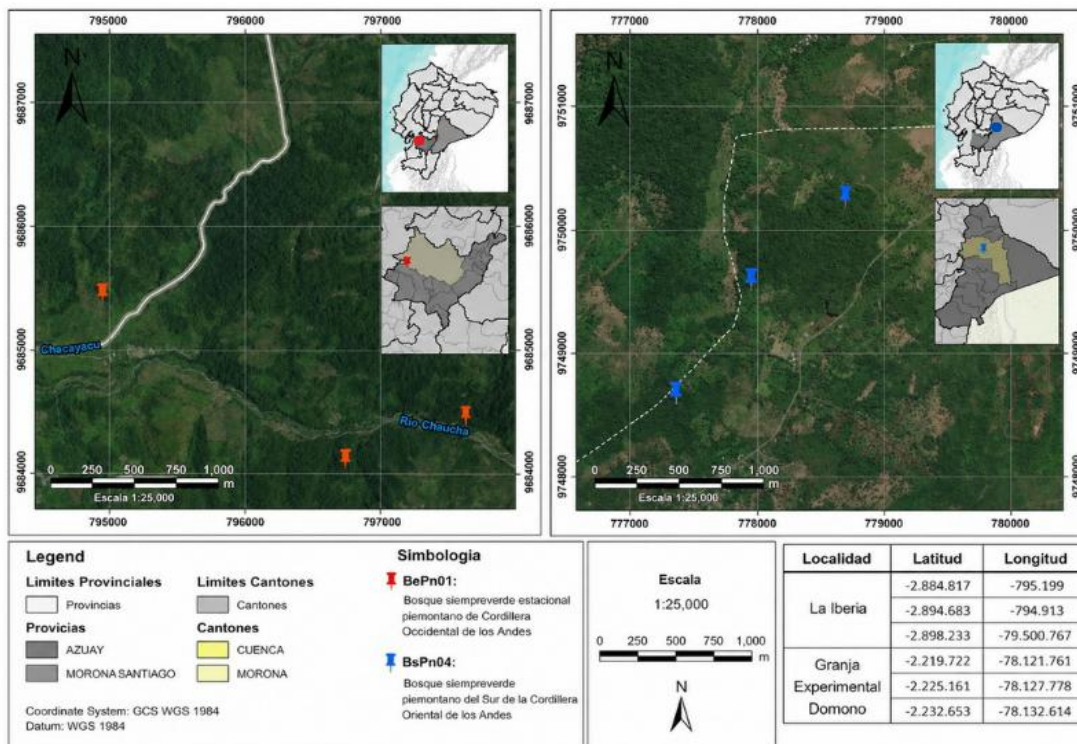
En este contexto, el presente estudio analiza y compara la diversidad funcional y la composición taxonómica de las comunidades de hormigas del dosel en bosques siempreverdes piemontanos de Morona Santiago (vertiente oriental) y Azuay (vertiente occidental) en el sur del Ecuador. Mediante el uso de rasgos ecomorfológicos multidimensionales, se busca determinar cómo la barrera andina y sus gradientes ambientales asociados moldean la estructura funcional de estas comunidades. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Existe una convergencia funcional, manifestada en rasgos morfológicos similares, a pesar de la divergencia taxonómica esperada entre las comunidades de hormigas del dosel de las vertientes oriental y occidental del sur del Ecuador?

## MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudio

La recolección de hormigas de dosel se realizó en dos regiones contrastantes de las estribaciones andinas en el sur del Ecuador (Figura 1). Como sitio representativo de la Cordillera Occidental, el trabajo de campo se realizó en la zona de La Iberia (parroquias Molleturo y Chaucha, cantón Cuenca), provincia del Azuay. Esta localidad se sitúa en una zona de transición entre los Andes y la región litoral, abarcando un rango altitudinal de 300 a 1.170 m.s.n.m. De acuerdo con el sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador, el área corresponde al ecosistema de Bosque siempreverde estacional piemontano de la Cordillera Occidental de los Andes (MAE, 2012). Debido a su naturaleza transicional, presenta un gradiente ambiental marcado: las zonas altas mantienen una influencia climática andina, con vegetación de montaña, mientras que las zonas bajas presentan un clima templado-cálido con influencia costera, caracterizado por una marcada estacionalidad en las precipitaciones y un paisaje fragmentado por pastizales y remanentes de bosque natural.

**Figura 1.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de fogging en la provincia de Azuay y Morona Santiago.



*Nota.* El mapa realizado con el software de QGIS v.3.22.11 permite visualizar a ambos lados de la cordillera las 3 parcelas correspondientes con las altitudes en las que se realizó el muestreo de fumigación de dosel en la localidad de *La Iberia* en el caso de la provincia de Azuay y en *Domono* en Morona Santiago. El mapa contiene la información del tipo de ecosistema, latitud, longitud y límites provinciales y cantonales de ambas zonas de muestreo.

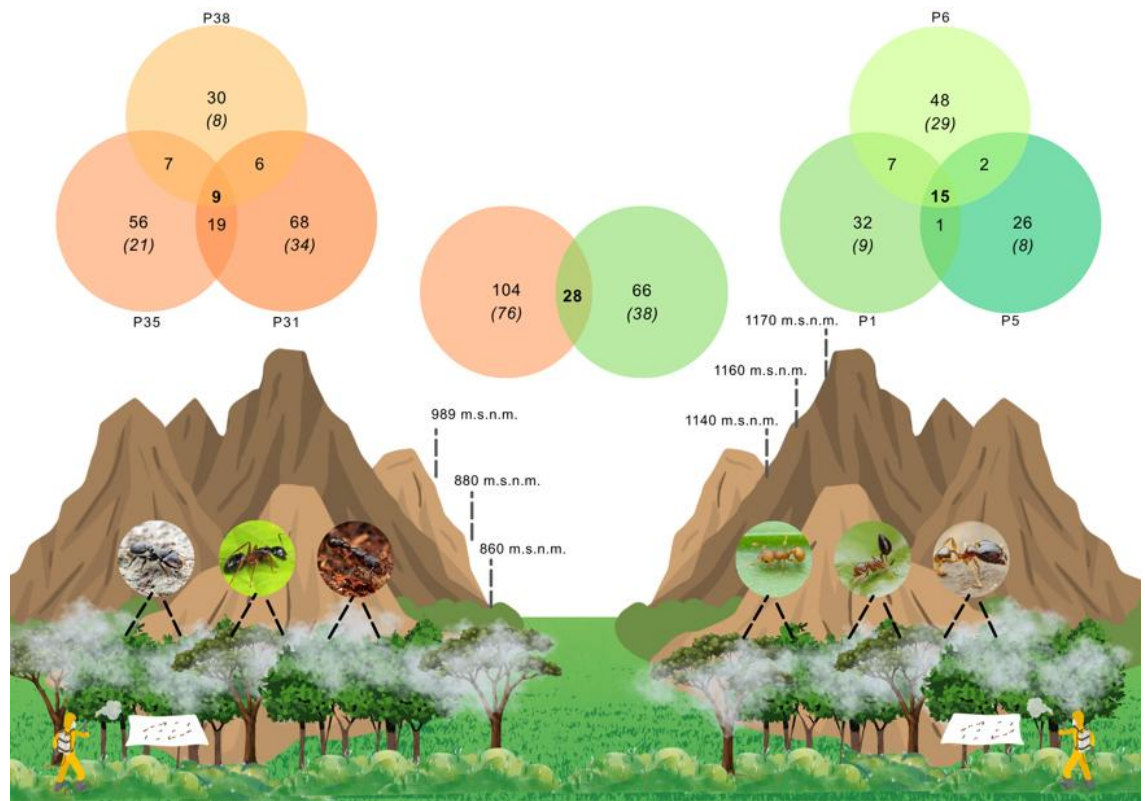
Como sitio representativo de la Cordillera Oriental, se seleccionó la localidad de Domono (parroquia Sangay, provincia de Morona Santiago). Esta área se ubica en las estribaciones orientales de los Andes, en un rango altitudinal de 400 a 1.500 m.s.n.m. Según el MAE (2012), el ecosistema dominante es el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes. Domono representa un ecotono entre los sistemas andinos y la llanura amazónica, caracterizado por una alta heterogeneidad ambiental, humedad constante durante todo el año y una menor estacionalidad térmica. La cobertura vegetal varía desde bosques montanos en las partes altas hasta parches de bosque primario y secundario en las zonas bajas, alternando con áreas de uso antrópico (pastizales y cultivos).

## **2.2 Puntos de Muestreo y Metodología en Campo**

El muestreo de formícidos se llevó a cabo en parcelas permanentes de vegetación de 1000 m<sup>2</sup> (20 x 50 m) dispuestas a lo largo de un gradiente altitudinal. En la localidad de la Iberia (Occidente), las parcelas se establecieron a 860, 880 y 989 m.s.n.m., mientras que en Domono (Oriente) se ubicaron a 1.140, 1.160 y 1.170 m.s.n.m. En total, se seleccionaron seis parcelas permanentes (tres por vertiente), cada una con siete puntos de muestreo (unidades de recolección), con un total de 42 muestras para el análisis comparativo.

Para la captura de los especímenes se empleó la técnica de nebulización o *fogging* (Erwin, 1983) (Figura 2). Se utilizó un insecticida de derribo a base de permetrina al 3% en una solución de diesel, aplicado mediante una termonebulizadora Superhawk™ II Curtis Dyna-Fog, Ltd. para crear una niebla que asciende y penetra el dosel, generando una saturación de esta nube química en los microhábitats de la vegetación arbórea. La aplicación se realizó de manera estandarizada durante las horas de menor turbulencia atmosférica (madrugada o al final de la tarde) para garantizar su efectividad.

**Figura 2.** Representación ilustrativa de la metodología de Fogging empleada en dosel.



*Nota.* La ilustración muestra la metodología empleada para la recolección de especímenes del grupo formicidae en las localidades de La Iberia (izquierda) y Domono (derecha), mostrando sus respectivas altitudes de muestreo. Los diagramas de Venn que se encuentran en la parte superior muestran las morfoespecies encontradas (valor superior morfoespecies totales, valor inferior en itálica morfoespecies únicas) en su respectivo código de parcela, los valores de las intersecciones se refieren a las morfoespecies compartidas según las parcelas. Este diagrama permite una mayor facilidad en el entendimiento de la aplicación metodológica y de los resultados de abundancia del muestreo.

Para la recolección, se instalaron sábanas colectoras de 4 m<sup>2</sup> dispuestas sistemáticamente bajo el área de influencia de la nebulización. Se estableció un tiempo de espera mínimo de cuatro horas tras la aplicación del insecticida, para garantizar el derribo y la sedimentación de los especímenes desde el dosel. Transcurrido este periodo, los ejemplares recolectados en cada unidad de muestreo fueron transferidos a frascos con alcohol al 75%, registrando minuciosamente el código de parcela, número de sábana, fecha de colecta y localidad. Todos los especímenes fueron colectados con los permisos de investigación MAAE-ARSFC-2022-2055 y MAATE-ARSFC-2024-0629-RENOVACION.

### **2.3 Procesamiento de muestras y trabajo de laboratorio**

El procesamiento de las hormigas de dosel se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología de la Universidad del Azuay. Se analizaron un total de 42 frascos (21 por localidad), de los cuáles se inició separando todos los formícidos del resto de invertebrados presentes, guardando estos en frascos eppendorf de 2ml y dejando el resto de invertebrados de la muestra en el frasco inicial. Concluida la separación general, se agruparon las hormigas según morfotipos, siendo estos designados según sus caracteres morfológicos externos (antenas, ojos, mandíbulas, pecíolo, gáster y arquitectura corporal), para estandarizar mejor las muestras y evitar sesgos en el análisis de ecología funcional se usaron solamente las obreras, separando en este punto a las reinas, soldados y pupas que se encontraron en ciertas sábanas, estas hormigas excluidas se dejaron apartadas en frascos eppendorf de 2ml con su etiqueta de datos (Silva & Brandão, 2010). Para el pertinente procesamiento de datos se elaboró una base de datos sistematizada, para organizar los datos de cada morfotipo registrado en cada una de las sabanas del muestreo. En esta base de datos se asignaron códigos únicos para cada frasco de morfotipos, destacando la abundancia, procedencia geográfica e información taxonómica.

Una vez concluida la separación por morfotipos se inició el proceso de montaje de individuos, montando un individuo de cada frasco de morfotipos en puntas de cartulina con alfileres entomológicos, adhiriendo al espécimen por el costado derecho de la región pleural entre la segunda y tercera pata (Borror & White, 1970) bajo un estereomicroscopio NIKON SMZ145 con amplificación de 0.75x a 13.5x. Los individuos restantes se preservaron en alcohol al 70% en tubos Eppendorf de 2 ml con su respectiva etiqueta de datos para integrarlos a la colección líquida del Laboratorio de Entomología. En conjunto, se realizó la identificación taxonómica con base a los individuos montados, identificando la mayoría de los morfotipos hasta el nivel de género mediante el uso de claves dicotómicas especializadas del libro “Hormigas de Colombia” (Fernández et al., 2019).

Para la estandarización del análisis ecomorfológico, se seleccionaron y montaron cuatro individuos por morfotipo, lo que permite obtener una media representativa de los rasgos y minimizar la variación intraespecífica (Weiser & Kaspari, 2006). En los casos donde la abundancia fue inferior a cuatro individuos, estos fueron procesados exclusivamente para los registros de diversidad taxonómica de hormigas de dosel.

Vouchers: Todos los especímenes fueron depositados en la Colección de Entomología del Museo de Zoología con códigos de museo MZUA-EN49735 a MZUA-EN50174 (Anexo 4).

## **2.4 Medición de rasgos ecomorfológicos**

Para el análisis ecológico, se identificaron 12 rasgos morfométricos seleccionados por su valor predictivo sobre el nicho ecológico y el desempeño biológico (Sosiak & Barden, 2020). Las mediciones se realizaron sobre imágenes de alta definición procesadas con la ayuda de un estereomicroscopio NIKON SMZ145 con amplificación de 0.75x a 13.5x. con cámara a color Axiocam 208 (ZEISS), utilizando el programa ZEISS Labscope v.4.4.0, calibrado con una escala de referencia de 1 mm. Siguiendo los protocolos de Drager et al., (2023), se tomaron medidas en vista frontal, lateral y dorsal de cada individuo (Anexo 1).

Esta fase integró conceptos de ecomorfología, considerando que la forma de las hormigas responde a las exigencias de su entorno permitiendo inferir dimensiones claves de la ecología de las hormigas, por ejemplo la longitud de los apéndices (SL y HFL) describen un desplazamiento eficiente, las especies de hábitats abiertos suelen poseer cuerpos más grandes y fémures más largos (Weiser & Kaspari, 2006; Yates et al., 2014), el tamaño corporal (estimado mediante la longitud de Weber y el ancho del pronoto), se correlaciona con la tasa metabólica y la capacidad de carga (Silva & Brandão, 2010); el tamaño de los ojos (EW) indican el estrato de forrajeo, hormigas arbóreas suelen presentar ojos más grandes para la navegación visual y mesomas robustos para la estabilidad en superficies verticales (Sosiak & Barden, 2020). Asimismo, la morfología mandibular (ML) y del clipeo (CL) permiten diferenciar estrategias tróficas, desde la depredación especializada hasta la omnivoría.

## **2.5 Análisis Estadístico**

El análisis de datos se realizó en el software RStudio v.4.3.0 (R Foundation, s. f.). En este caso se integraron bloques de análisis para generar un buen flujo de información. A lo largo de este análisis se utilizaron diversos paquetes de R Studio (Anexo 2).

Como paso base para realizar cada uno de estos análisis lo que se realizó fue la importación de datos desde archivos Excel, usando el paquete *readxl* el cual permitió la lectura el trabajo directo sobre las múltiples hojas de cálculo de bases originales y depuradas. Para la limpieza y

estandarización de datos base se usaron los paquetes *Janitor*, para homogeneizar columnas y evitar errores de inconsistencia; *dplyr* para filtrar datos incompletos, transformar variables, agrupar según la necesidad (localidad, altitud, morfotipo, etc.) y para resumir abundancias. Por último se usó *tidyr* para transformar datos largos a formato ancho para construir matrices ecológicas de abundancia y presencia-ausencia. Esta previa organización de datos permitió generar las respectivas matrices de abundancia y presencia-ausencia además de la base de datos para rasgos morfométricos limpios.

### **2.5.1 Diversidad alfa:**

Para conocer la alfa diversidad de las localidades se construyeron matrices de abundancia por localidad usando los paquetes *tidyr* y *dplyr*, permitiendo la lectura de estas con el paquete *vegan* (Oksanen et al., 2015), el cual calculó índices de Shannon, Simpson y riqueza estimada de Chao1. Adicionalmente en esta fase se implementó *iNext* (Hsieh et al., 2016) para generar curvas de rarefacción con extrapolación para conocer el esfuerzo de muestreo con una prueba más grande en el sentido estadístico, permitiendo incrementar el tamaño de los conjuntos de datos más pequeños para compararlos con sets de datos más grandes pero conservando la información completa (López-Mejía et al., 2017). *ggiNext* evaluó la completitud de este y *ggplot2* generó unas figuras que permiten interpretar de manera visual las curvas de acumulación de especies con extrapolación (Figura 3) para determinar el éxito del esfuerzo de muestreo para una correcta comparación de diversidad (Hsieh et al., 2016).

### **2.5.2 Diversidad beta:**

Para distinguir las diferencias en las comunidades de hormigas de la Cordillera Occidental y Oriental, se realizaron análisis de beta diversidad, considerando sus dos componentes: anidamiento y recambio (Baselga, 2010). Se crearon matrices de incidencia para cada localidad (La Iberia y Domono), así como para el conjunto completo de datos. En cada localidad se cuantificó el índice de Sørensen ( $\beta_{SOR}$ ), usando el paquete de R “*betapart*” (Baselga & Orme, 2012). La disimilitud de Sørensen, que varía entre 0 a 1, se descompuso en sus dos componentes acumulativos para identificar procesos sobre la heterogeneidad de las comunidades: recambio de especies ( $\beta_{SIM}$ ), que representa el reemplazo de especies entre sitios; y el anidamiento ( $\beta_{SNE}$ ), que refleja hasta qué punto los ensamblajes de especies son subconjuntos de grupos de especies con alta biodiversidad.

La betadiversidad de las localidades (La Iberia y Domono) se realizó construyendo matrices de presencia-ausencia por altitud, calculando la similitud con Jaccard, para cuantificar el recambio de morfotipos entre sitios. Con esto obtenido se realizó una descomposición de beta diversidad con el paquete *betapart*, el cual distingue la disimilitud total mediante Sorensen ( $\beta_{SOR}$ ), el recambio ( $\beta_{SIM}$ ) y anidamiento ( $\beta_{SNE}$ ); este análisis permite identificar si las diferencias entre especies se debe al reemplazo (recambio) o a la pérdida o ganancia (anidamiento) de especies (Figura 7), dando lugar a establecer si una comunidad es una versión más reducida de otra o no (Baselga, 2010; Legendre, 2014; Ulrich & J. Gotelli, 2007). Otro análisis que se realizó aquí fue la matriz presencia-ausencia para ver de forma gráfica el recambio de especies entre comunidades, esto se realizó con un gráfico tipo *slope graph* (Figura 8). Por último, se construyó el diagrama de Venn para comparar morfotipos entre las localidades, lo que permitió visualizar el solapamiento y exclusividad de especies (Figura 6).

### **2.5.3 Estructura de la comunidad:**

En esta sección se realizó el cálculo de métricas básicas para obtener resultados de abundancia total por localidad, abundancia por altitud y riqueza de morfotipos, el paquete *diplyr* permite la agregación y resumen de datos, a la par de *ggplot2* el cual permitió la correcta visualización de estos, mostrando la distribución de abundancia en forma de diagramas de Venn (Figura 4) y dominancia de morfotipos generando un top 10 de morfoespecies representativas por localidad (Figura 5).

### **2.5.4 Diversidad funcional (FD):**

Para comparar la diversidad funcional se aplicó el paquete FD para construir matrices de rasgos (promediada por morfotipo) y matriz de comunidad (abundancia por localidad). Este programa indicó valores de Riqueza Funcional (FRic), Equitabilidad Funcional (FEve) y Divergencia Funcional (FDiv) lo que permitió cuantificar cómo las comunidades ocupan el espacio funcional (Mouchet et al., 2010).

### **2.5.5 Estructura del morfoespacio y rasgos clave:**

Se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA), lo que permitió que se seleccionen variables morfométricas para reducir la dimensionalidad de múltiples rasgos correlacionados para eliminar redundancias y caracterizar la estructura del espacio funcional, estandarizando los datos. Este análisis permitió identificar cuales son los principales gradientes de variación y evaluar la distribución de las comunidades en el morfoespacio inter e intraespecífico (Legendre, 2014; Villéger et al., 2008). Con estos datos y el paquete *ggplot2* se realizaron tres gráficos, uno para La Iberia (Figura 9) y para Domono (Figura 10) para observar las variaciones a nivel de cada sitio de manera independiente y otro para identificar semejanzas o diferencias entre las comunidades de la Cordillera Occidental y la Oriental (Figura 11).

De esta manera, se buscó identificar gradientes morfológicos principales y evaluar la convergencia funcional. Como complemento para este análisis se realizó un PERMANOVA para comparar los grupos de muestras multidimensionales con base en matrices de distancia, evaluando si los centroides y la dispersión de los grupos difieren significativamente dentro de las comunidades y entre ellas (Anderson, 2017).

## RESULTADOS

### 3.1 Diversidad alfa

#### 3.1.1 Representatividad del muestreo (Curvas de rarefacción)

La curva de rarefacción en la localidad de Domono mostró como registro final del muestreo un registro de aproximadamente 65 morfoespecies a partir de cerca de 3.500 individuos muestreados. La fase inicial del muestreo demuestra una curva con un ascenso pronunciado, indicando una incorporación rápida de nuevos morfotipos a medida que aumenta el esfuerzo de muestreo. Conforme continúa la curva la pendiente disminuye de forma progresiva, sugiriendo una reducción en la tasa de descubrimiento de nuevas especies y no alcanza una asíntota clara, manteniendo una ligera tendencia ascendente en el punto de corte, lo que indica que aún podrían registrarse morfotipos adicionales con un mayor esfuerzo de muestreo. La extrapolación al duplicar el tamaño de muestra proyecta un incremento hasta aproximadamente 80 morfoespecies, lo que sugiere una eficiencia de muestreo alta (99,45%), aunque no completamente saturada.

Por su lado, la localidad de La Iberia registró un total de aproximadamente 1,800 individuos alcanzando una muy buena tasa de muestreo (98,40%) con respecto a las especies esperadas. En esta localidad la curva tuvo un comportamiento similar, con un muestreo pronunciado al iniciar la recolección de datos, seguido de una desaceleración pero cambia la estabilización de la asíntota, ya que conforme se acumulan las morfoespecies esta curva no se encuentra tan cercana a su saturación como en Domono (Figura 3), sugiriendo de igual manera que con un mayor esfuerzo de muestreo se tendrían más morfoespecies. En este caso la extrapolación resulta en un incremento de aproximadamente 140 morfoespecies, indicando la posible presencia de especies raras o de baja detectabilidad en esta localidad.

**Tabla 1.** Resumen de datos obtenidos del Sample Coverage (SC) de las dos zonas de muestreo.

Localidad	Nº individuos	Nº morfoespecies	SC
<i>La Iberia</i>	1816	104	0.9945

---

Domono

3650

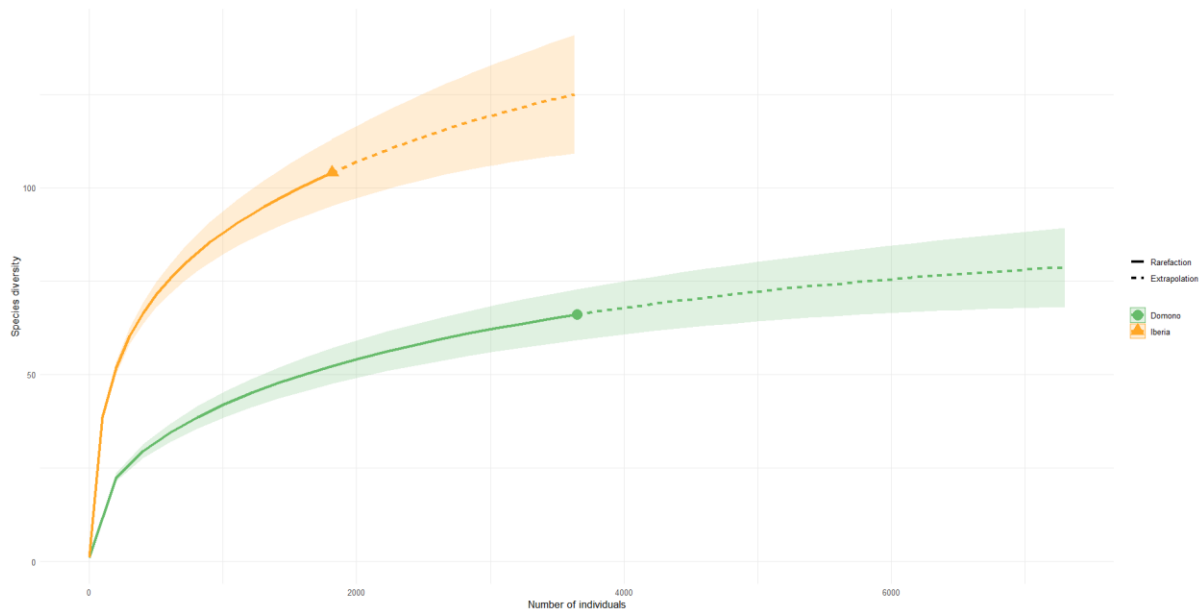
66

0.9840

---

*Nota.* Tabla de resultados de Sample Coverage para estimar la riqueza de las localidades muestreadas.

**Figura 3.** Curva de rarefacción con extrapolación (x2) de la localidad de Domono (Morona Santiago) y La Iberia (Azuary).



*Nota.* Curva de rarefacción de ambas localidades realizado en RStudio con *iNEXT* y *ggplot2* que muestra la acumulación de morfoespecies en función del número de individuos muestreados. Domono representada en color verde y La Iberia con color anaranjado, las curvas se encuentran graficadas con un eje “y” que muestra la diversidad de especies ascendiendo de 0 a más de 100, y el eje “x” muestra el número de individuos muestreados y con potencial incremento que va de 0 a 6000. Cada una de las curvas muestra una sombra que hace referencia a los intervalos de confianza de cada curva y las líneas punteadas muestran la extrapolación.

Las curvas permiten visualizar como conforme las especies se van registrando las asíntotas ascienden de forma pronunciada y empiezan a descender dado que cada vez se encuentran menos especies nuevas, indicando que se está cubriendo gran parte del muestreo, la sombra de cada curva permite generar un rango en el cual se encuentran los resultados definitivos y la extrapolación nos muestra qué tan cerca está de estabilizarse la asíntota con más esfuerzo de muestreo.

### 3.1.2 Riqueza y estimadores

En la localidad de La Iberia, se recolectaron un total de 1.816 individuos, distribuidos en 104 morfoespecies de manera total entre las tres parcelas (altitudes). En cuanto a esta distribución, la parcela ubicada a 880 m s.n.m. (P35) presentó la mayor abundancia con 802 individuos, seguido por la parcela ubicada a 989 m.s.n.m. (P31) con un total de 731 individuos, y la parcela menos abundante siendo la ubicada a 860 m.s.n.m.(p38) registrando 301 individuos. Por otro lado, de Domono (Cordillera Oriental), se recolectaron un total de 3.650 individuos, distribuidos en 66 morfoespecies de las tres parcelas analizadas. La parcela más baja P6 (a 1.140 m s.n.m.) presentó la mayor abundancia con 2.721 individuos, seguido por la parcela P1 (ubicada a 1.160 m.s.n.m.) con abundancia de 905 individuos, y la parcela menos abundante siendo la P5 (1.170 m.s.n.m.) con 301 individuos presentes.

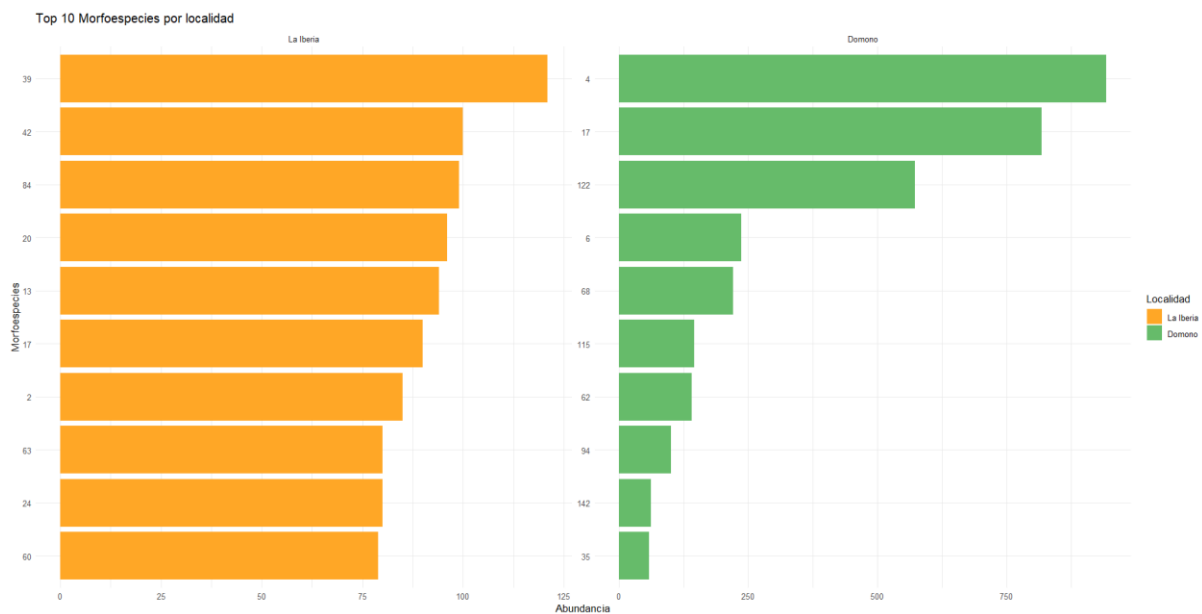
**Tabla 2.** *Tabla resumen de datos generales de abundancia en Domono y La Iberia.*

	Localidad	Parcela	Altitud	Abundancia	Morfoespecies
		P38	860	301	30
Cordillera	La Iberia	P35	880	802	56
Occidental		P31	989	713	68
<i>Subtotal</i>				<i>1816</i>	<i>104</i>
		P6	1140	2721	48
Cordillera	Domono	P1	1160	905	32
Oriental		P5	1170	24	26
<i>Subtotal</i>				<i>3650</i>	<i>66</i>
<b>Total</b>				<b>5466</b>	<b>142</b>

*Nota.* Tabla elaborada en Excel con datos extraídos de la base de datos general.

Para finalizar con estos análisis se aplicó el estimador de riqueza Chao 1 para cada localidad. Domono presentó un índice de 83.27 morfotipos de los 66 que fueron encontrados. Dentro del análisis de las morfoespecies se definió al morfotipo 4 (correspondiente al género *Wasmannia*) como la más dominante cuantitativamente con una representatividad del 25,86% y 944 individuos registrados. La Iberia en cambio se encontró dominada cuantitativamente por el morfotipo 39 (*Cephalotes*) el cual representó el 6,53% de los morfotipos con 121 individuos registrados. Para este caso Chao 1 mostró riqueza estimada de 140.90 morfoespecies de las 104 registradas. Los morfotipos más representativos de cada localidad se separaron en una tabla resumen de datos (Anexo 3) con la información taxonómica de estos grupos y abundancia, esta tabla respalda la información del siguiente gráfico.

**Figura 4.** Representación gráfica de la abundancia de morfotipos registrados de la familia Formicidae en Domono y La Iberia.



*Nota.* Gráfico realizado en RStudio con ggplot2 que demuestra los 10 morfotipos más representativos de las localidades de Domono (gráfico verde) y La Iberia (gráfico anaranjado). El eje “y” muestra el número designado de los morfotipos más abundantes a menos abundantes de cada localidad, el eje “x” muestra la abundancia de los morfotipos.

Por último, se calcularon los índices de diversidad taxonómica, los cuales demostraron diferencias notables entre ambas localidades. La Iberia presentó valores más altos tanto en el índice de Shannon ( $H' = 3.74$ ) como en el índice de Simpson ( $D = 0.96$ ), en comparación con

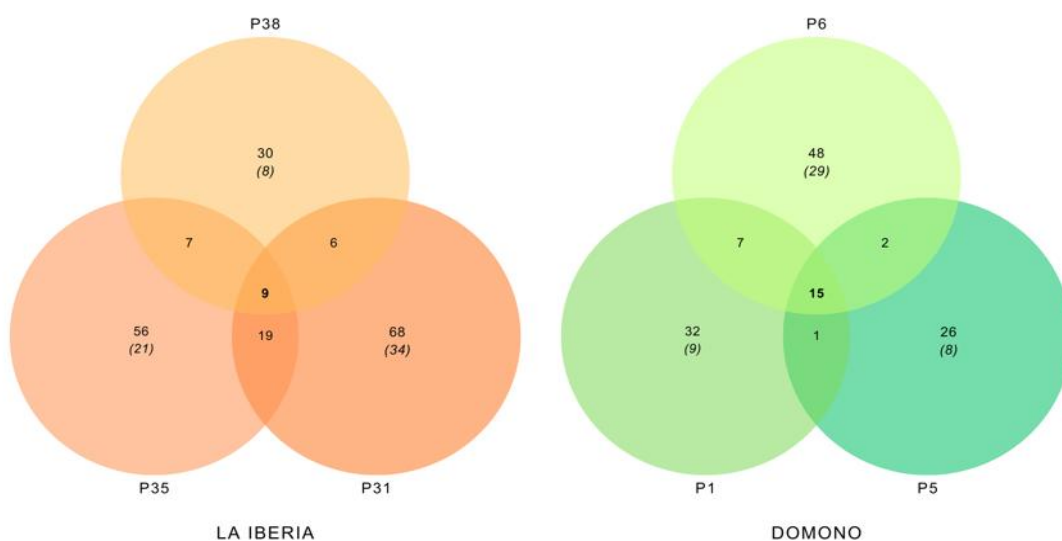
Domono ( $H' = 2.34$ ;  $D = 0.84$ ). Este patrón se mantiene en ambos índices, indicando consistentemente una mayor diversidad en La Iberia.

### 3.2 Beta diversidad y patrones de composición de especies

#### 3.2.1 Comparación entre morfotipos

Para profundizar el análisis de riqueza se realizaron diagramas de Venn que permitieron visualizar mejor los valores obtenidos por altitud (Figura 4). En Domono este gráfico muestra que existieron 15 morfoespecies compartidas entre todas las parcelas; dentro de la parcela P6 se obtuvieron 48 morfoespecies siendo 29 de estas exclusivas, la parcela P1 mostró 32 morfoespecies con 9 exclusivas y la última parcela P5 mostró 26 morfoespecies con 8 exclusivas. Los morfotipos compartidos entre parcelas son 7 entre P6 y P1, 1 morfo entre la P1 y P5, y 2 morfotipos entre P6 y P5. Por el lado de La Iberia se obtuvo que existen 9 morfoespecies compartidas entre las tres parcelas. De manera individual la parcela más abundante es la P31 con 68 morfoespecies y 34 exclusivas, después sigue la P35 con 56 morfoespecies y 21 exclusivas, por último tenemos la P38 con 30 morfoespecies siendo 8 exclusivas. Las interacciones entre parcelas mostraron que existen 19 morfoespecies compartidas entre P31 y P35, 7 entre P38 y P35 y 6 entre P31 y P38.

**Figura 5.** Diagramas de Venn de la localidad Domono y La Iberia.

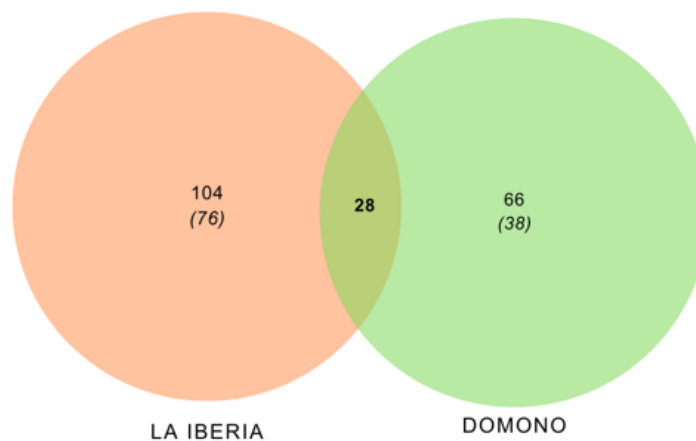


*Nota.* Los diagramas de Venn muestran las morfoespecies encontradas (valor superior morfoespecies totales, valor inferior en *itálica* morfoespecies únicas) en cada altitud y

localidad, indicando en color verde la localidad de Domono y en anaranjado La Iberia. Los valores de las intersecciones se refieren a las morfoespecies compartidas según las altitudes de cada localidad indicadas en la parte externa de cada esfera.

También se realizó un análisis entre las comunidades de La Iberia y Domono, donde se encontraron 142 morfoespecies totales, con las cuales se realizó el análisis comparativo de la composición de morfoespecies entre localidades (Figura 6). Este análisis evidenció un total de 28 morfotipos compartidos entre ambas localidades, es decir 19,71% del total combinado, mientras que la mayoría de los morfotipos fueron exclusivos de cada zona. En particular, Domo presentó 66 morfoespecies con 38 exclusivas y La Iberia 104, con 76 exclusivas.

**Figura 6.** Diagrama de Venn de morfoespecies presentes en la localidad de La Iberia (Azúay) y Domono (Morona Santiago).



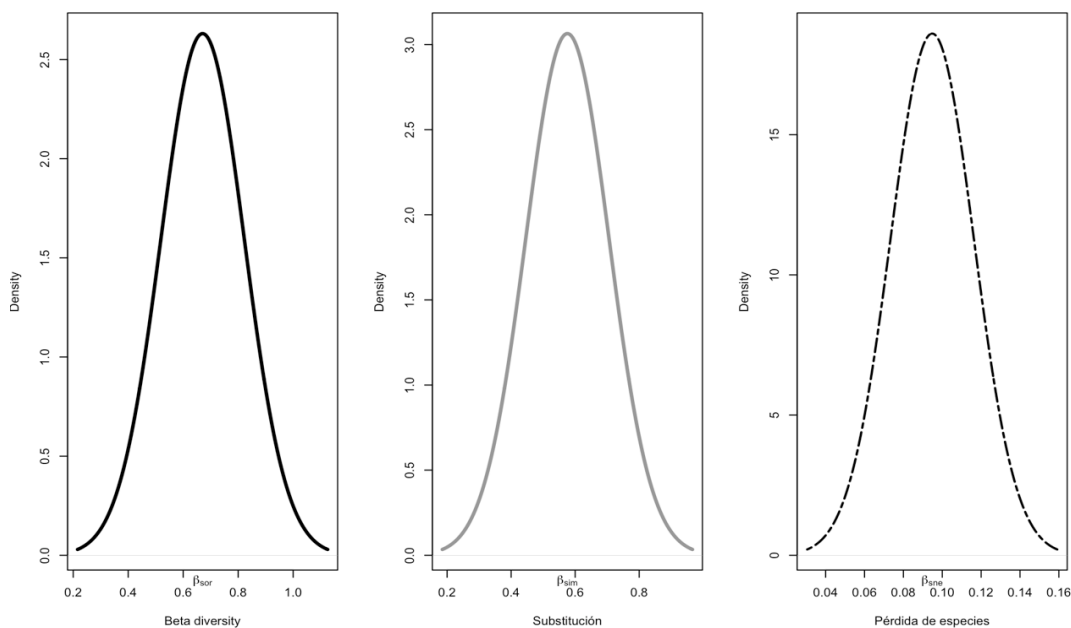
*Nota.* Diagrama de Venn realizado en canva con valores obtenidos en R. El gráfico presenta dos esferas que representan las localidades estudiadas (Domono en verde, La Iberia en anaranjado) con una intersección, en este caso dentro de cada una se representan datos de morfoespecies, mostrando los registros totales por localidad como valor principal (superior) y las morfoespecies exclusivas como valor inferior (en *itálica*). La intersección muestra las morfoespecies presentes en ambas localidades.

### 3.2.2 Diversidad funcional

El análisis de diversidad beta evidenció una marcada disimilitud en la composición de las comunidades de hormigas entre localidades, con un valor elevado del índice de Sørensen ( $\beta_{SOR} = 0.95$ ). Esta diferencia se explica casi en su totalidad por el recambio de especies, como lo indica el alto valor de  $\beta_{SIM}$  (0.94), mientras que el componente de anidamiento fue prácticamente nulo ( $\beta_{SNE} = 0.016$ ). Este patrón se refleja en las curvas de densidad, donde los valores asociados al recambio ( $\beta_{SIM}$ ) se concentran en rangos altos de disimilitud, mientras que el anidamiento ( $\beta_{SNE}$ ) se mantiene cercano a cero.

A nivel de cada localidad, Domono presentó una disimilitud interna elevada ( $\beta_{SOR} = 0.90$ ), atribuida principalmente al recambio de especies entre parcelas ( $\beta_{SIM} = 0.85$ ), con una baja contribución del anidamiento ( $\beta_{SNE} = 0.04$ ). Por su parte, La Iberia mostró una heterogeneidad aún mayor ( $\beta_{SOR} = 0.92$ ), igualmente dominada por el recambio ( $\beta_{SIM} = 0.90$ ), mientras que el anidamiento fue mínimo ( $\beta_{SNE} = 0.02$ ), lo que indica que las parcelas no corresponden a subconjuntos unas de otras. En las curvas de densidad, este comportamiento se evidencia por la concentración de valores altos de disimilitud en ambas localidades, reforzando la predominancia del recambio de especies como principal componente de la diversidad beta.

**Figura 7.** Partición de la diversidad beta basada en el índice de Sørensen ( $\beta_{SOR}$ ) en sus componentes de recambio de especies ( $\beta_{SIM}$ ) y anidamiento ( $\beta_{SNE}$ ).



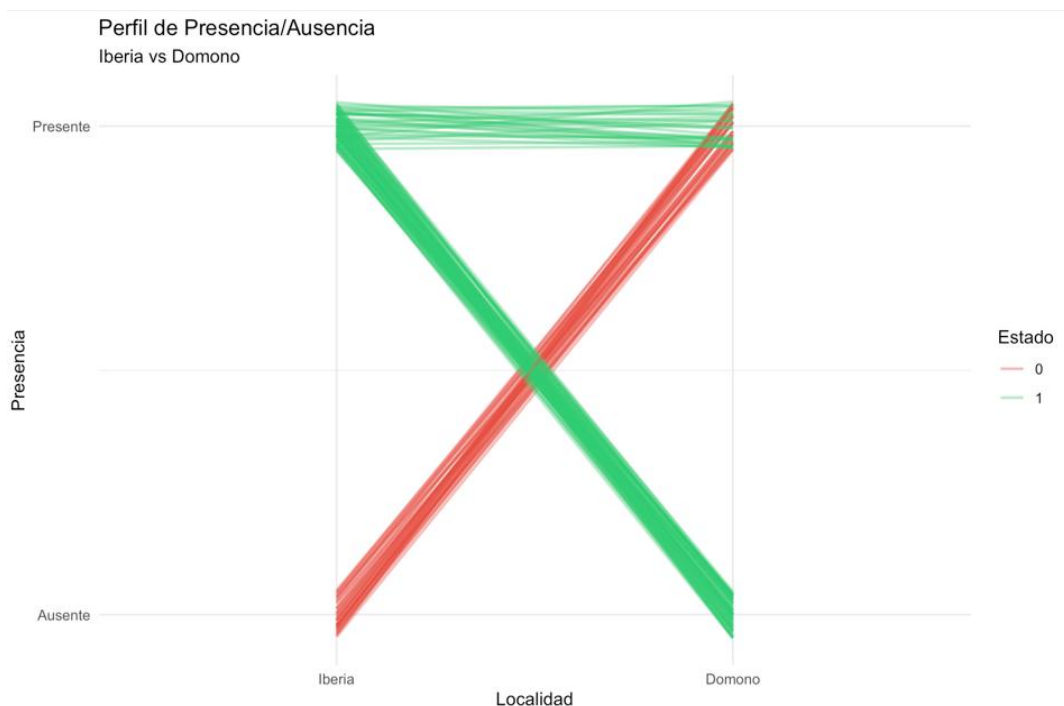
*Nota.* Curvas de densidad de los componentes de la diversidad beta  $\beta_{SOR}$  (primer panel),  $\beta_{SIM}$  (segundo panel) y  $\beta_{SNE}$  (tercer panel) de las cordilleras Occidental y Oriental. El eje “x”

representa valores de disimilitud entre pares de los sitios, mientras que el eje “y” indica la frecuencia relativa de los valores de diversidad beta. El primer panel muestra una curva con alta concentración en valores altos (0.6-1) mostrando una alta disimilitud entre sitios. El panel 2 nos indica igualmente valores altos (tasa de reemplazo de especies) y el panel 3 indica una concentración cercana a de 0,16 mostrando anidamiento casi nulo. Estas curvas permiten visualizar la distribución de la disimilitud y comparar la contribución relativa del recambio de especies y el anidamiento en la estructura de las comunidades.

### 3.2.3 Recambio de especies

El perfil de presencia–ausencia mostró un patrón marcado de recambio de morfotipos entre localidades, evidenciado por un alto número de transiciones en ambos sentidos entre estados de presencia y ausencia. Se registraron morfotipos exclusivos de La Iberia que no estuvieron presentes en Domono, así como morfotipos exclusivos de Domono ausentes en La Iberia. Adicionalmente, se identificó un grupo de morfotipos compartidos entre ambas localidades, representados por líneas horizontales en el nivel de presencia.

**Figura 8.** *Gráfico de presencia-ausencia de los morfotipos de Domono y La Iberia.*



*Nota.* Gráfico tipo *slope graph* que representa el recambio de morfoespecies mediante datos de presencia–ausencia entre localidades. El eje Y indica la presencia (1) o ausencia (0) de cada

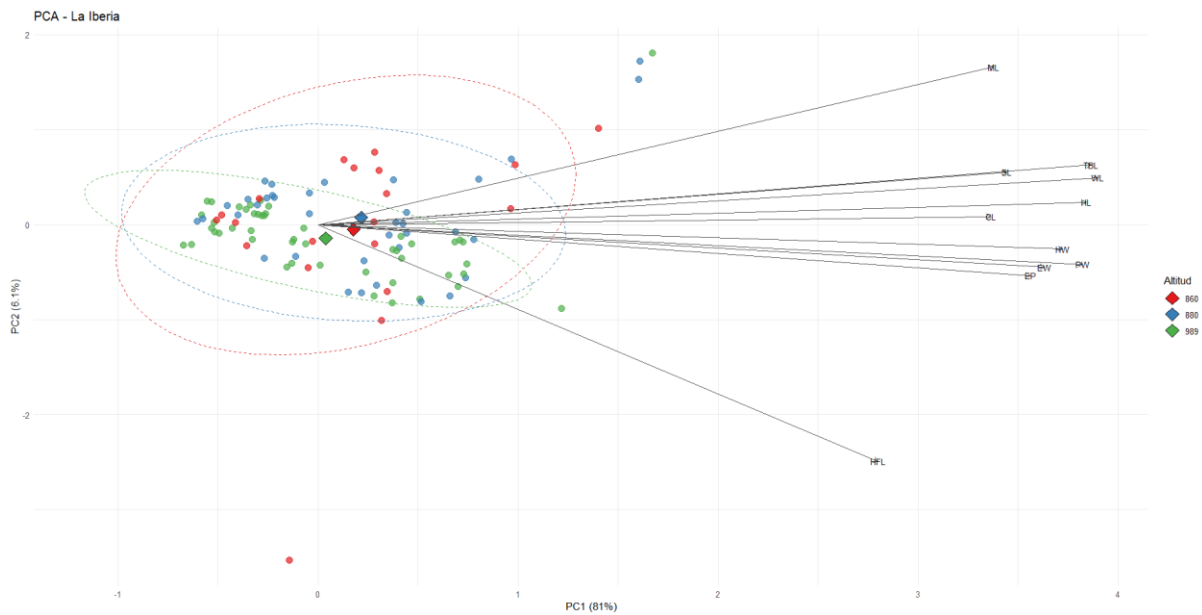
morfotipo, mientras que el eje X corresponde a las localidades evaluadas. Cada línea representa un morfotipo. Las líneas horizontales en el nivel superior (1 a 1) indican las morfoespecies compartidas entre localidades. Las líneas diagonales descendentes desde La Iberia (1) hacia Domono (0) representan morfoespecies presentes en La Iberia pero ausentes en Domono. Por el contrario, las líneas diagonales ascendentes (0 a 1) indican morfoespecies ausentes en La Iberia pero presentes en Domono. En conjunto, el cruce de líneas refleja el recambio de especies entre ambas localidades.

### **3.3 Rasgos funcionales**

#### **3.3.1 Análisis de Componentes Principales**

El análisis de componentes principales (PCA) para la localidad La Iberia mostró que los dos primeros ejes explicaron el 87.1% de la variación total en los rasgos morfológicos, con una contribución predominante del eje PC1 (81%) y una menor proporción explicada por PC2 (6.1%). Los individuos se distribuyeron de manera amplia en el espacio funcional, evidenciando una alta dispersión a lo largo del eje PC1. A lo largo del eje PC2, la variación fue menor, aunque se observaron algunos valores extremos asociados a ciertos individuos. Las agrupaciones por altitud presentaron un solapamiento considerable, aunque con ligeros desplazamientos en los centroides entre parcelas. Las elipses de dispersión mostraron una amplitud funcional relativamente alta, reflejando variabilidad en la combinación de rasgos. Los vectores asociados a los rasgos indicaron que variables relacionadas con el tamaño corporal (WL, TBL, HL, HW) se orientaron principalmente a lo largo del eje PC1, mientras que rasgos como la longitud del fémur (HFL) y el tamaño de las mandíbulas (ML) se distribuyeron a lo largo del eje PC2 en direcciones opuestas.

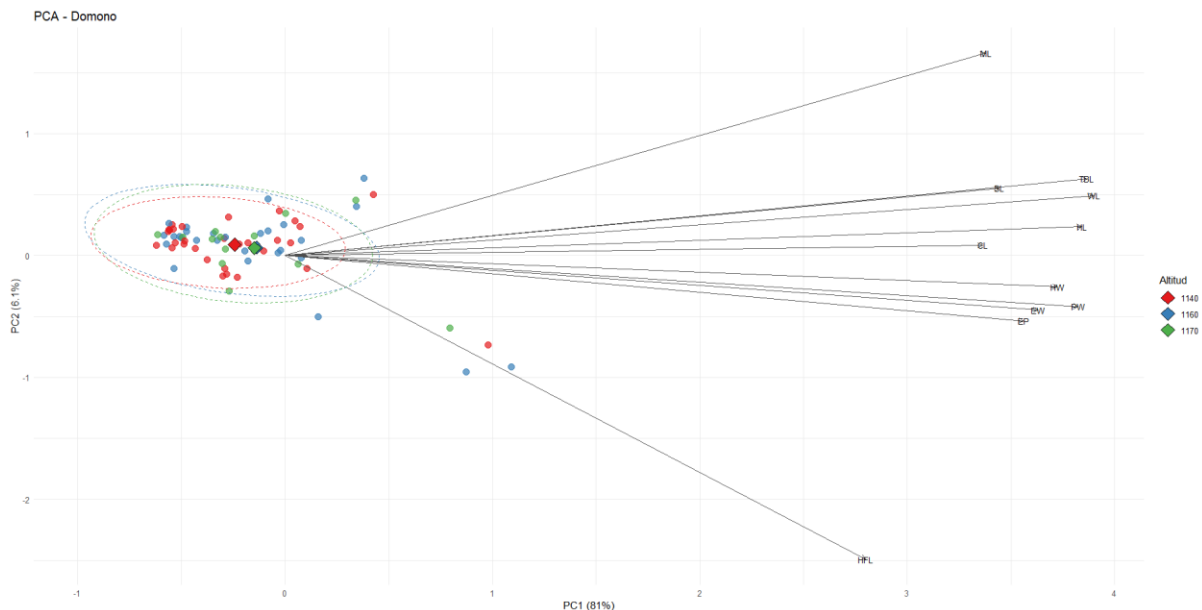
**Figura 9.** *Análisis de Componentes Principales de la Localidad de La Iberia, Azuay.*



*Nota.* Las flechas representan los rasgos morfológicos incluidos en el análisis. La dirección de cada vector indica el sentido en el que aumenta el valor del rasgo dentro del espacio funcional, mientras que su longitud refleja su contribución relativa a la variación total. El ángulo entre vectores indica la relación entre rasgos (vectores paralelos: correlación positiva; vectores opuestos: relación negativa; vectores perpendiculares: independencia). Cada punto corresponde a un individuo, cuya posición está determinada por la combinación de rasgos que presenta. Los individuos ubicados en la misma dirección que un vector presentan valores relativamente más altos de ese rasgo. Los colores representan las distintas altitudes dentro de la localidad.

En la localidad de Domono, el PCA indicó que los dos primeros componentes principales explicaron el 87.1% de la variación total, con una fuerte dominancia del eje PC1 (81%) y una menor contribución de PC2 (6.1%). Los individuos se agruparon de forma más compacta en el espacio funcional, particularmente en torno al origen, lo que refleja una menor dispersión en los rasgos morfológicos. La variación a lo largo del eje PC1 fue más limitada en comparación con La Iberia, mientras que el eje PC2 mostró una diferenciación reducida, con algunos valores extremos asociados a rasgos específicos. Las agrupaciones por altitud presentaron un alto grado de solapamiento, con centroides cercanos entre sí y elipses de menor tamaño. Los vectores de los rasgos mostraron un patrón similar al observado en La Iberia, con variables asociadas al tamaño corporal alineadas con el eje PC1, y rasgos como HFL y ML contribuyendo al eje PC2.

**Figura 10.** *Análisis de Componentes Principales de la Localidad de Domono, Morona Santiago.*



*Nota.* Las flechas representan los rasgos morfológicos incluidos en el análisis. La dirección de cada vector indica el sentido en el que aumenta el valor del rasgo dentro del espacio funcional, mientras que su longitud refleja su contribución relativa a la variación total. El ángulo entre vectores indica la relación entre rasgos (vectores paralelos: correlación positiva; vectores opuestos: relación negativa; vectores perpendiculares: independencia). Cada punto corresponde a un individuo, cuya posición está determinada por la combinación de rasgos que presenta. Los individuos ubicados en la misma dirección que un vector presentan valores relativamente más altos de ese rasgo. Los colores representan las distintas altitudes dentro de la localidad.

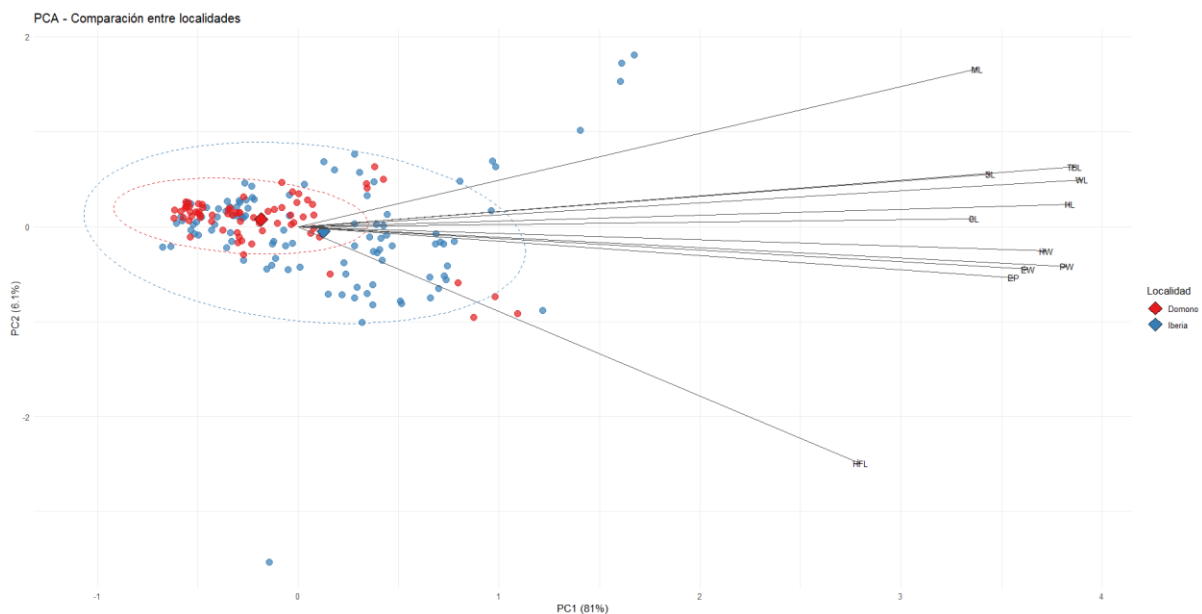
El PCA que integra ambas localidades mostró que los dos primeros componentes principales explicaron el 87.1% de la variación total en los rasgos morfológicos, manteniendo la dominancia del eje PC1 (81%) sobre el eje PC2 (6.1%). En el espacio funcional, se observó un alto grado de solapamiento entre los individuos de ambas localidades, principalmente en torno al origen del sistema de coordenadas. Sin embargo, se evidenciaron diferencias en la dispersión de los puntos, siendo La Iberia la localidad con mayor amplitud en el espacio funcional, mientras que Domono presentó una distribución más concentrada.

Los centroides de ambas localidades se ubicaron próximos entre sí, con ligeros desplazamientos a lo largo del eje PC1. Las elipses de dispersión reflejaron estas diferencias, mostrando una

mayor extensión para La Iberia en comparación con Domono. Los vectores de los rasgos indicaron que variables asociadas al tamaño corporal (WL, TBL, HL, HW) se orientaron principalmente a lo largo del eje PC1, mientras que rasgos como la longitud del fémur (HFL) y las mandíbulas (ML) se distribuyeron en direcciones opuestas a lo largo del eje PC2.

El análisis PERMANOVA evidenció diferencias significativas en la estructura de los rasgos morfológicos entre localidades ( $F = 14.894$ ;  $R^2 = 0.079$ ;  $p = 0.001$ ), indicando variación en la composición funcional entre Domono y La Iberia. De igual manera, se detectaron diferencias significativas en función de la altitud ( $F = 16.731$ ;  $R^2 = 0.088$ ;  $p = 0.001$ ), lo que indica variación en la estructura de los rasgos a lo largo del gradiente altitudinal.

**Figura 11.** *Análisis de Componentes Principales entre las localidades de La Iberia (Azua) y Domono (Morona Santiago).*



*Nota.* Las flechas representan los rasgos morfológicos, donde la dirección indica el aumento del rasgo, la longitud su contribución relativa a la variación y el ángulo entre vectores la relación entre ellos. Los puntos corresponden a individuos y su posición refleja la combinación de rasgos; aquellos ubicados en la dirección de un vector presentan valores relativamente más altos de dicho rasgo. Los colores indican los grupos comparados en cada figura.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian diferencias marcadas en la estructura taxonómica y funcional de las comunidades de hormigas del dosel entre las vertientes oriental (Domono) y occidental (La Iberia) de los Andes del sur del Ecuador, lo que permite abordar de manera directa la pregunta de investigación sobre la relación entre rasgos funcionales, roles ecológicos y gradientes altitudinales. En términos generales, se observa un patrón de alta divergencia taxonómica acompañado de una moderada convergencia funcional, lo que sugiere que los filtros ambientales asociados a cada vertiente y a la altitud actúan de manera diferenciada sobre la composición de especies, pero parcialmente sobre la estructura funcional (Arnan et al., 2014; Brousseau et al., 2018).

En primer lugar, los análisis de diversidad alfa muestran que La Iberia presenta una mayor riqueza y diversidad taxonómica en comparación con Domono, lo cual se refleja en valores superiores de Shannon y Simpson. Este patrón puede explicarse por la mayor heterogeneidad ambiental de la vertiente occidental, caracterizada por una fuerte estacionalidad y un mosaico de hábitats fragmentados. Estudios previos han demostrado que ambientes con mayor variabilidad climática y estructural tienden a favorecer una mayor diversidad de especies al promover la coexistencia mediante partición de nicho (Tiede et al., 2017; Wong et al., 2019). En contraste, la menor diversidad observada en Domono podría estar asociada a condiciones más estables y húmedas, donde ciertos grupos dominantes (como *Wasmannia*) pueden ejercer una fuerte presión competitiva, reduciendo la equidad comunitaria (Hoffmann & Andersen, 2003). A pesar de estas diferencias en diversidad alfa, las curvas de rarefacción y los valores elevados de cobertura de muestreo ( $SC > 0.98$ ) indican que el esfuerzo de muestreo fue adecuado en ambas localidades, lo que respalda la validez de las comparaciones realizadas. Sin embargo, la proyección de riqueza estimada mediante Chao1 sugiere la presencia de especies raras, particularmente en La Iberia, lo que coincide con la hipótesis de que ambientes más heterogéneos albergan una mayor proporción de especies de baja detectabilidad (Hsieh et al., 2016).

En términos de diversidad beta, los resultados muestran un patrón contundente de recambio de especies ( $\beta_{SIM} = 0.94$ ) como principal componente de la disimilitud entre localidades, con un anidamiento prácticamente nulo. Este hallazgo es clave, ya que indica que las comunidades no son subconjuntos unas de otras, sino que están compuestas por conjuntos de especies

completamente distintos. Este tipo de estructura es consistente con la influencia de barreras geográficas como la Cordillera de los Andes, que promueven la divergencia biogeográfica mediante procesos de aislamiento y especiación (Fernández et al., 2019). Además, las diferencias climáticas entre vertientes actúan como filtros ecológicos que seleccionan especies con adaptaciones específicas, reforzando el recambio (Baselga, 2010; Legendre, 2014). A nivel intra-localidad, tanto Domono como La Iberia presentan también altos valores de recambio entre parcelas, lo que sugiere que el gradiente altitudinal desempeña un papel determinante en la estructuración de las comunidades. Este patrón concuerda con estudios que demuestran que la altitud influye en variables clave como temperatura, humedad y disponibilidad de recursos, generando cambios en la composición de especies incluso a escalas espaciales reducidas (Moretti et al., 2017).

Desde una perspectiva funcional, el análisis de PCA revela que, a pesar de la divergencia taxonómica, existe un alto grado de solapamiento en el morfoespacio entre ambas localidades, lo que sugiere cierto nivel de convergencia funcional. Este resultado apoya la hipótesis de que ambientes con condiciones ecológicas comparables pueden seleccionar rasgos similares, independientemente de la identidad taxonómica de las especies (Brousseau et al., 2018). Sin embargo, esta convergencia no es completa, ya que La Iberia presenta una mayor dispersión en el espacio funcional, indicando una mayor diversidad de estrategias ecológicas. El eje principal de variación (PC1), dominado por rasgos asociados al tamaño corporal (WL, TBL, HL, HW), sugiere que el tamaño es un factor clave en la organización funcional de estas comunidades. Este rasgo está estrechamente relacionado con la tasa metabólica, la capacidad de carga y la interacción con el entorno (Silva & Brandão, 2010). Por otro lado, el segundo eje (PC2), asociado a la longitud del fémur (HFL) y la morfología mandibular (ML), refleja diferencias en estrategias de locomoción y alimentación. Estas variaciones son consistentes con la hipótesis de Size-Grain, que plantea que la estructura del hábitat influye en la eficiencia locomotora y, por ende, en la selección de rasgos morfológicos (Kaspari & Weiser, 1999).

En relación con los roles ecológicos, los resultados sugieren que los rasgos funcionales están directamente vinculados con las estrategias de forrajeo y uso del microhábitat. Por ejemplo, la presencia de individuos con ojos grandes y apéndices largos en ciertas regiones del morfoespacio indica adaptaciones a entornos arbóreos complejos, donde la navegación visual y la movilidad son esenciales (Sosiak & Barden, 2020). Asimismo, la variación en la morfología mandibular sugiere una diferenciación en estrategias tróficas, desde depredadores

especializados hasta especies generalistas, lo que contribuye a la partición de nicho y a la coexistencia de múltiples especies (Silva & Brandão, 2010). El análisis PERMANOVA confirma que tanto la localidad como la altitud tienen efectos significativos sobre la estructura funcional, lo que refuerza la idea de que los rasgos no están distribuidos aleatoriamente, sino que responden a gradientes ambientales específicos. Este resultado es particularmente relevante, ya que demuestra que la altitud no solo afecta la composición taxonómica, sino también la configuración funcional de las comunidades, influyendo en los roles ecológicos que desempeñan las especies (Moretti et al., 2017). En conjunto, estos resultados permiten concluir que la relación entre rasgos funcionales, roles ecológicos y altitud es compleja y multidimensional. La fuerte divergencia taxonómica observada entre vertientes está acompañada de una convergencia funcional parcial, lo que indica que diferentes especies pueden desempeñar roles ecológicos similares mediante soluciones morfológicas equivalentes. Sin embargo, las diferencias en la amplitud del espacio funcional sugieren que la heterogeneidad ambiental de cada localidad modula la diversidad de estrategias ecológicas disponibles.

Finalmente, este estudio resalta la importancia de integrar enfoques taxonómicos y funcionales para comprender la biodiversidad en ecosistemas tropicales. En un contexto de creciente perturbación antrópica, entender cómo los rasgos funcionales responden a gradientes ambientales es fundamental para predecir cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y diseñar estrategias de conservación efectivas (Guilherme et al., 2019).

## CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que las comunidades de hormigas del dosel en bosques siempreverdes piemontanos del sur del Ecuador están fuertemente estructuradas tanto por la barrera geográfica de los Andes como por los gradientes altitudinales asociados. Se confirmó una alta divergencia taxonómica entre las vertientes oriental y occidental, reflejada en un marcado recambio de especies y una baja proporción de morfotipos compartidos, lo que indica que cada localidad alberga ensamblajes únicos. Este patrón sugiere que los procesos históricos de aislamiento y los filtros ambientales diferenciados han desempeñado un papel clave en la configuración de la composición de especies. En relación con la pregunta de investigación, los resultados muestran que, a pesar de esta divergencia taxonómica, existe una convergencia funcional parcial entre las comunidades. El solapamiento en el morfoespacio indica que distintas especies presentan combinaciones de rasgos similares, lo que sugiere que desempeñan roles ecológicos equivalentes en ambos sistemas. Sin embargo, esta convergencia no es completa, ya que la mayor dispersión funcional observada en La Iberia evidencia una mayor diversidad de estrategias ecológicas, probablemente asociada a su mayor heterogeneidad ambiental.

Asimismo, se determinó que los rasgos funcionales están estrechamente vinculados con los roles ecológicos de las especies, particularmente en aspectos como la locomoción, el uso del microhábitat y las estrategias tróficas. El tamaño corporal emergió como un eje estructurador principal, mientras que rasgos como la longitud de los apéndices y la morfología mandibular reflejan adaptaciones específicas al entorno arbóreo. Estos resultados confirman que los rasgos ecomorfológicos constituyen una herramienta robusta para inferir la organización funcional de las comunidades. Finalmente, la altitud se identificó como un factor determinante en la estructuración tanto taxonómica como funcional, evidenciando que incluso a escalas espaciales relativamente pequeñas pueden generarse cambios significativos en la composición y en los rasgos de las comunidades. En conjunto, este estudio demuestra que la biodiversidad de hormigas del dosel no solo varía en términos de especies, sino también en la manera en que estas ocupan el espacio funcional, lo que tiene implicaciones directas para el funcionamiento de los ecosistemas y su respuesta frente a perturbaciones ambientales.

## REFERENCIAS

- Anderson, M. J. (2017). Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). En *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* (pp. 1-15). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>
- Arnan, X., Cerdá, X., & Retana, J. (2014). Ant functional responses along environmental gradients. *Journal of Animal Ecology*, 83(6), 1398-1408. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12227>
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 134-143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baselga, A., & Orme, C. D. L. (2012). betapart: An R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(5), 808-812. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>
- Borror, D. J., & White, R. E. (1970). *A Field Guide to Insects: America North of Mexico*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Brousseau, P.-M., Gravel, D., & Handa, I. T. (2018). On the development of a predictive functional trait approach for studying terrestrial arthropods. *Journal of Animal Ecology*, 87(5), 1209-1220. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12834>
- Drager, K. I., Rivera, M. D., Gibson, J. C., Ruzi, S. A., Hanisch, P. E., Achury, R., & Suarez, A. V. (2023). Testing the predictive value of functional traits in diverse ant communities. *Ecology and Evolution*, 13(4), e10000. <https://doi.org/10.1002/ece3.10000>
- Erwin, T. L. (1983). *Beetles and other insects of tropical forest canopies at Manaus, Brazil, sampled by insecticidal fogging*. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=1706473679192871758&hl=en&oi=scholar>

- Fernández, F., Guerrero, R., & Delsinne, T. (2019). *Hormigas de Colombia*.  
<https://doi.org/10.21676/9789587837650>
- Floren, A., Wetzel, W., & Staab, M. (2014). The contribution of canopy species to overall ant diversity (Hymenoptera: Formicidae) in temperate and tropical ecosystems. *Myrmecological News*, *19*, 65-74.
- Guilherme, D. R., Souza, J. L. P., Franklin, E., Pequeno, P. A. C. L., Chagas, A. C. D., & Baccaro, F. B. (2019). Can environmental complexity predict functional trait composition of ground-dwelling ant assemblages? A test across the Amazon Basin. *Acta Oecologica*, *99*, 103434. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.05.004>
- Hoffmann, B. D., & Andersen, A. N. (2003). Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology*, *28*(4), 444-464. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01301.x>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, *7*(12), 1451-1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Kaspari, M., & Weiser, M. D. (1999). The size–grain hypothesis and interspecific scaling in ants. *Functional Ecology*, *13*(4), 530-538. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00343.x>
- Legendre, P. (2014). Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, *23*(11), 1324-1334. <https://doi.org/10.1111/geb.12207>
- López-Mejía, M., Moreno, C. E., Zuria, I., Sánchez-Rojas, G., Rojas-Martínez, A., López-Mejía, M., Moreno, C. E., Zuria, I., Sánchez-Rojas, G., & Rojas-Martínez, A. (2017). Comparación de dos métodos para analizar la proporción de riqueza de especies entre comunidades: Un ejemplo con murciélagos de selvas y hábitats modificados. *Revista mexicana de biodiversidad*, *88*(1), 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.008>

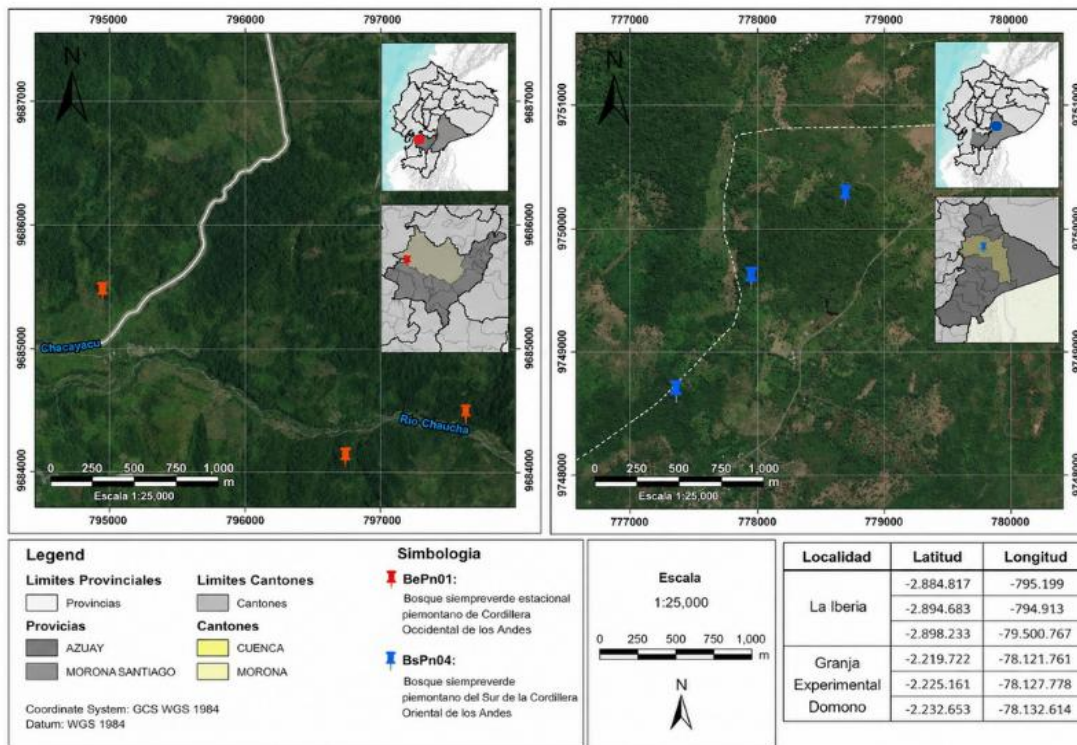
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. MAATE. <https://es-static.zdn.net/files/d66/6c56267fd10df61f55e87383ef0de2e1.pdf>
- Moretti, M., Dias, A. T. C., de Bello, F., Altermatt, F., Chown, S. L., Azcárate, F. M., Bell, J. R., Fournier, B., Hedde, M., Hortal, J., Ibanez, S., Öckinger, E., Sousa, J. P., Ellers, J., & Berg, M. P. (2017). Handbook of protocols for standardized measurement of terrestrial invertebrate functional traits. *Functional Ecology*, *31*(3), 558-567. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12776>
- Mouchet, M. A., Villéger, S., Mason, N. W. H., & Mouillot, D. (2010). Functional diversity measures: An overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, *24*(4), 867-876. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01695.x>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, B., Simpson, G., Solymos, P., Stevens, H., & Wagner, H. (2015). *Vegan: Community Ecology Package. R Package Version 2.2-1*, 2, 1-2.
- Pitman, N. C. A., Terborgh, J. W., Silman, M. R., Nu, P., Cero, C. E., Palacios, W. A., & Aulestia, M. (s. f.). *A COMPARISON OF TREE SPECIES DIVERSITY IN TWO UPPER AMAZONIAN FORESTS*.
- R Foundation (s. f.). *R: The R Project for Statistical Computing. R Package Version 2.2-1*, 2, 1-2. <https://www.r-project.org/>
- Sanders, D., & van Veen, F. J. F. (2011). Ecosystem engineering and predation: The multi-trophic impact of two ant species. *Journal of Animal Ecology*, *80*(3), 569-576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01796.x>
- Silva, R. R., & Brandão, C. R. F. (2010). Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. *Ecological Monographs*, *80*(1), 107-124. <https://doi.org/10.1890/08-1298.1>

- Sosiak, C., & Barden, P. (2020). Multidimensional trait morphology predicts ecology across ant lineages. *Functional Ecology*, 35. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13697>
- Tiede, Y., Schlautmann, J., Donoso, D. A., Wallis, C. I. B., Bendix, J., Brandl, R., & Farwig, N. (2017). Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. *Ecological Indicators*, 83, 527-537. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.029>
- Ulrich, W., & J. Gotelli, N. (2007). Disentangling community patterns of nestedness and species co-occurrence. *Oikos*, 116(12), 2053-2061. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.16173.x>
- Vargas, H., Neill, D., Asanza, M., Freire-Fierro, A., & Narváez, E. (2000). *VEGETACIÓN Y FLORA DEL PARQUE NACIONAL LLANGANATES*.
- Villéger, S., Mason, N., & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaced framework in functional ecology. *Ecology*, 89, 2290-2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- Weiser, M. D., & Kaspari, M. (2006). Ecological morphospace of New World ants. *Ecological Entomology*, 31(2), 131-142. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2006.00759.x>
- Wong, M. K. L., Guénard, B., & Lewis, O. T. (2019). Trait-based ecology of terrestrial arthropods. *Biological Reviews*, 94(3), 999-1022. <https://doi.org/10.1111/brv.12488>
- Yates, M. L., Andrew, N. R., Binns, M., & Gibb, H. (2014). Morphological traits: Predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. *PeerJ*, 2, e271. <https://doi.org/10.7717/peerj.271>

## FIGURAS

**Figura 1**

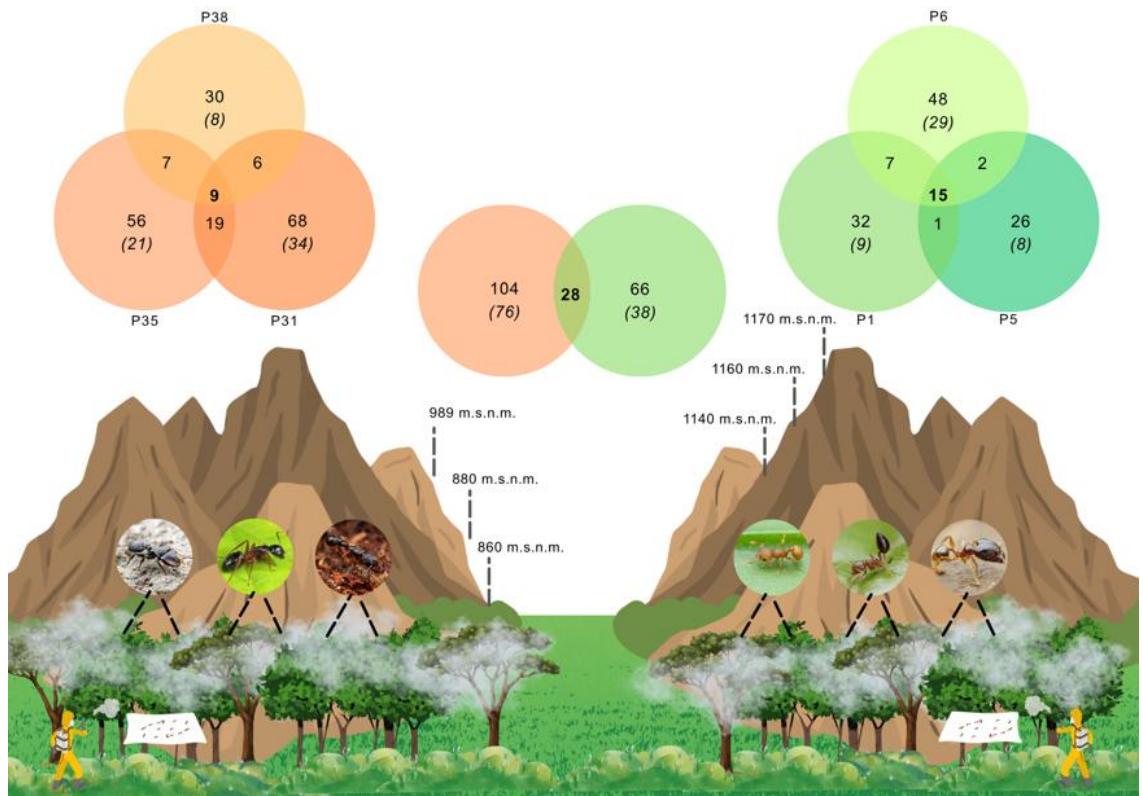
Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de fogging en la provincia de Azuay y Morona Santiago.



*Nota.* El mapa realizado con el software de QGIS v.3.22.11 permite visualizar a ambos lados de la cordillera las 3 parcelas correspondientes con las altitudes en las que se realizó el muestreo de fumigación de dosel en la localidad de *La Iberia* en el caso de la provincia de Azuay y en *Domono* en Morona Santiago. El mapa contiene la información del tipo de ecosistema, latitud, longitud y límites provinciales y cantonales de ambas zonas de muestreo.

**Figura 2**

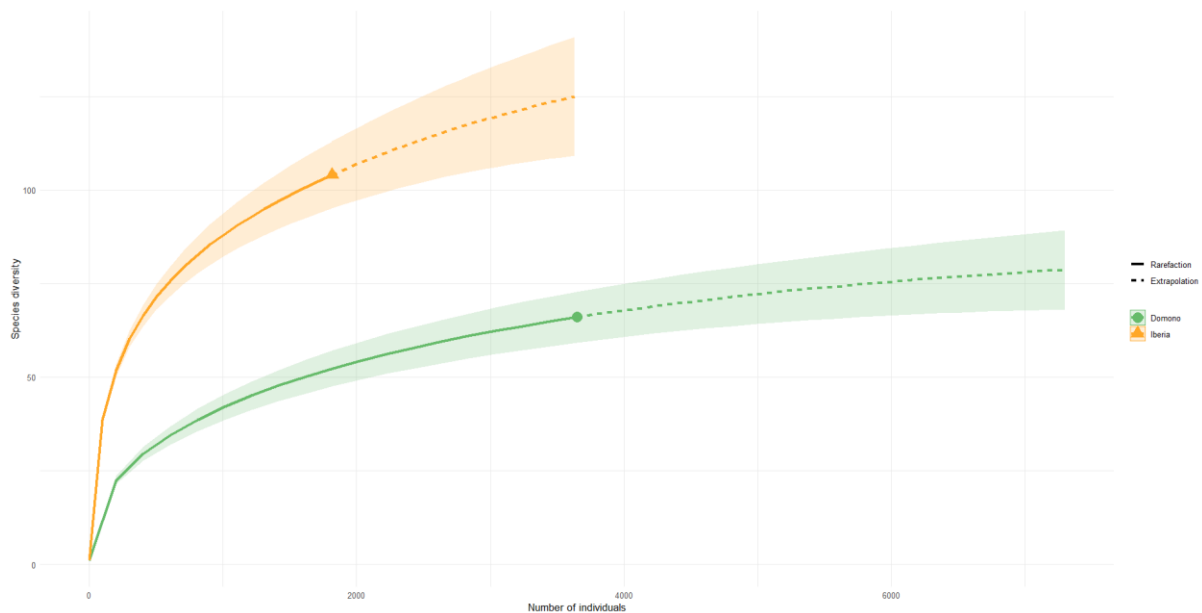
*Representación ilustrativa de la metodología de Fogging empleada en dosel.*



*Nota.* La ilustración muestra la metodología empleada para la recolección de especímenes del grupo formicidae en las localidades de La Iberia (izquierda) y Domono (derecha), mostrando sus respectivas altitudes de muestreo. Los diagramas de Venn que se encuentran en la parte superior muestran las morfoespecies encontradas (valor superior morfoespecies totales, valor inferior en *italica* morfoespecies únicas) en su respectivo código de parcela, los valores de las intersecciones se refieren a las morfoespecies compartidas según las parcelas. Este diagrama permite una mayor facilidad en el entendimiento de la aplicación metodológica y de los resultados de abundancia del muestreo.

### Figura 3

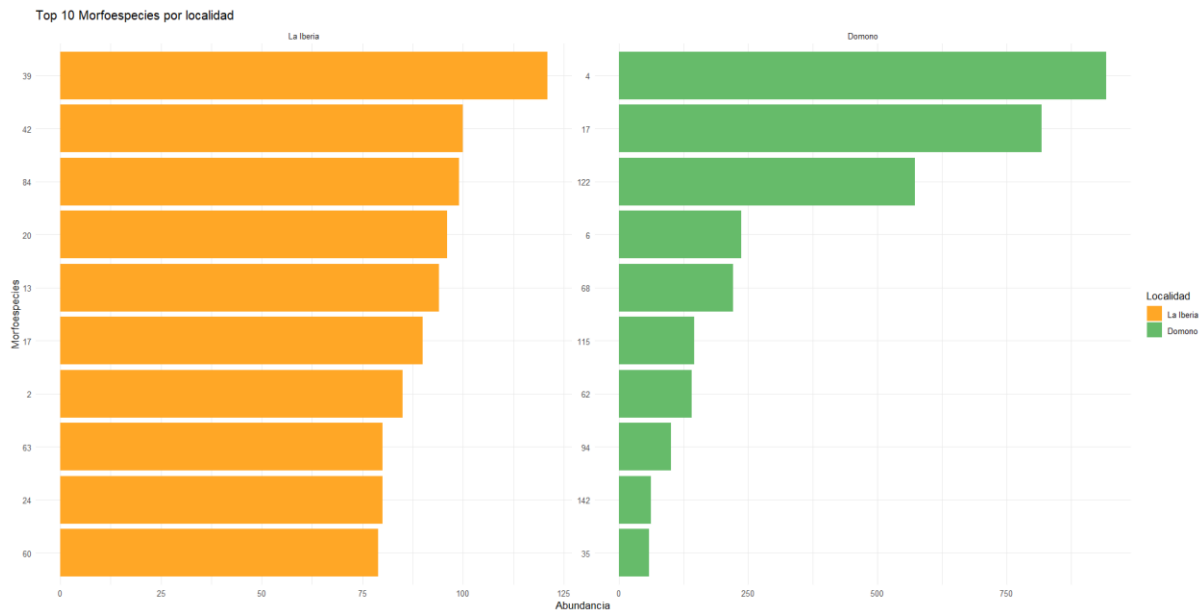
Curva de rarefacción con extrapolación (x2) de la localidad de Domono (Morona Santiago) y La Iberia (Azuay).



*Nota.* Curva de rarefacción de ambas localidades realizado en RStudio con *iNEXT* y *ggplot2* que muestra la acumulación de morfoespecies en función del número de individuos muestreados. Domono representada en color verde y La Iberia con color anaranjado, las curvas se encuentran graficadas con un eje “y” que muestra la diversidad de especies ascendiendo de 0 a más de 100, y el eje “x” muestra el número de individuos muestreados y con potencial incremento que va de 0 a 6000. Cada una de las curvas muestra una sombra que hace referencia a los intervalos de confianza de cada curva y las líneas punteadas muestran la extrapolación. Las curvas permiten visualizar como conforme las especies se van registrando las asíntotas ascienden de forma pronunciada y empiezan a descender dado que cada vez se encuentran menos especies nuevas, indicando que se está cubriendo gran parte del muestreo, la sombra de cada curva permite generar un rango en el cual se encuentran los resultados definitivos y la extrapolación nos muestra que tan cerca esta de estabilizarse la asíntota con más esfuerzo de muestreo.

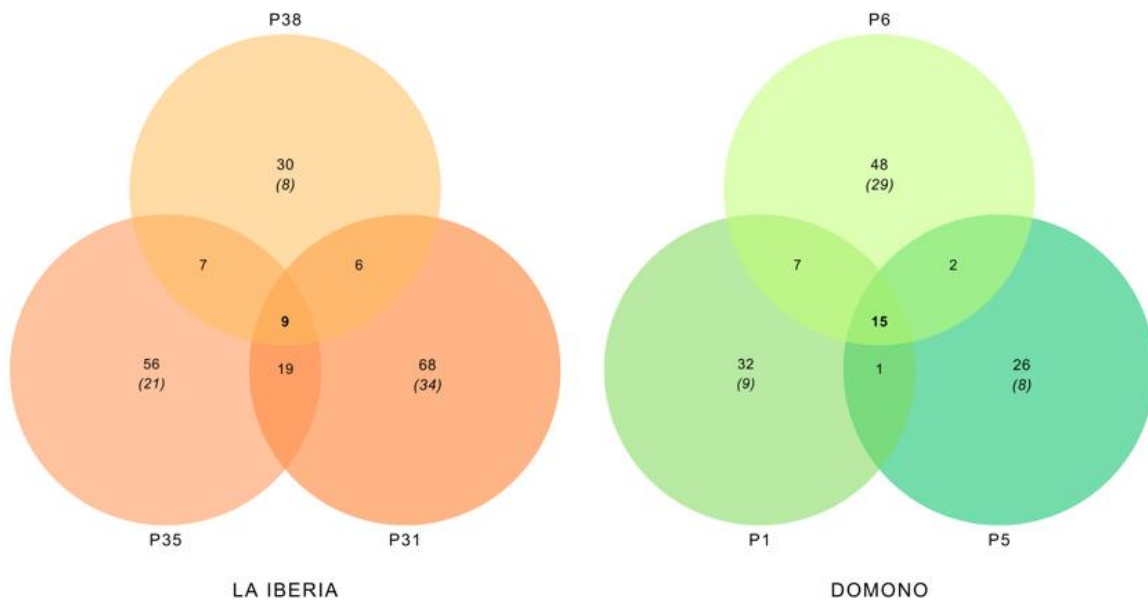
### Figura 4

Representación gráfica de la abundancia de morfotipos registrados de la familia Formicidae en Domono y La Iberia.



*Nota.* Gráfico realizado en RStudio con ggplot2 que demuestra los 10 morfotipos más representativos de las localidades de Domono (gráfico verde) y La Iberia (gráfico anaranjado). El eje “y” muestra el número designado de los morfotipos más abundantes a menos abundantes de cada localidad, el eje “x” muestra la abundancia de los morfotipos.

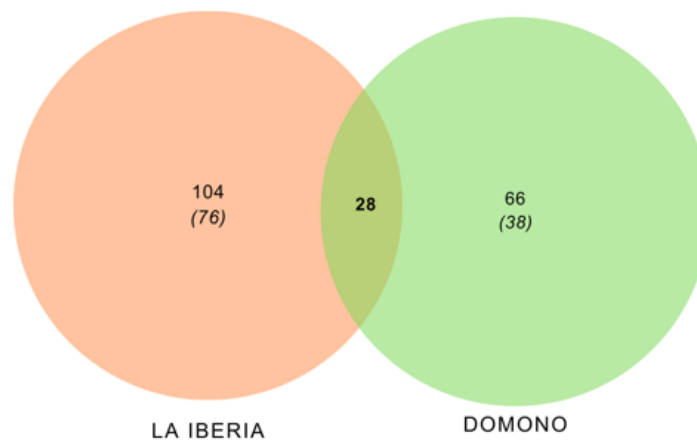
**Figura 5**  
*Diagramas de Venn de la localidad Domono y La Iberia.*



*Nota.* Los diagramas de Venn muestran las morfoespecies encontradas (valor superior morfoespecies totales, valor inferior en *itálica* morfoespecies únicas) en cada altitud y localidad, indicando en color verde la localidad de Domono y en anaranjado La Iberia. Los valores de las intersecciones se refieren a las morfoespecies compartidas según las altitudes de cada localidad indicadas en la parte externa de cada esfera.

**Figura 6**

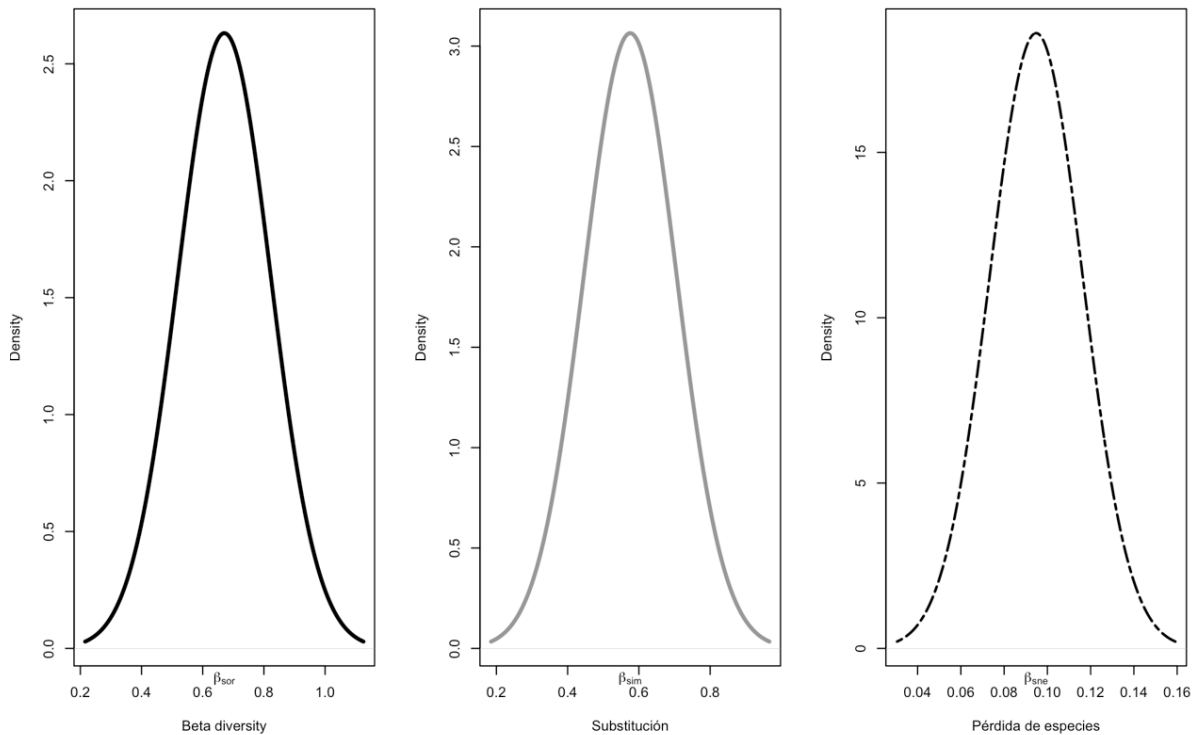
*Diagrama de Venn de morfoespecies presentes en la localidad de La Iberia (Azuary) y Domono (Morona Santiago).*



*Nota.* Diagrama de Venn realizado en canva con valores obtenidos en R. El gráfico presenta dos esferas que representan las localidades estudiadas (Domono en verde, La Iberia en anaranjado) con una intersección, en este caso dentro de cada una se representan datos de morfoespecies, mostrando los registros totales por localidad como valor principal (superior) y las morfoespecies exclusivas como valor inferior (en itálica). La intersección muestra las morfoespecies presentes en ambas localidades.

### Figura 7

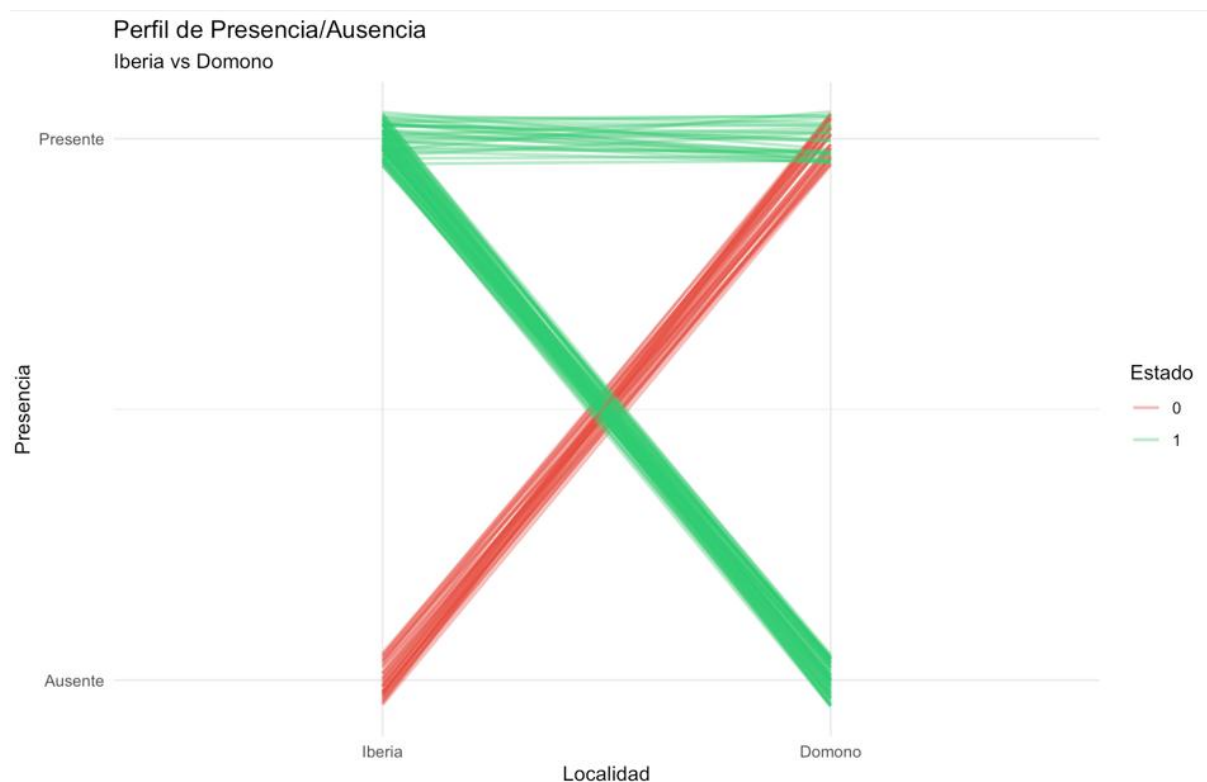
Partición de la diversidad beta basada en el índice de Sørensen ( $\beta_{SOR}$ ) en sus componentes de recambio de especies ( $\beta_{SIM}$ ) y anidamiento ( $\beta_{SNE}$ ).



*Nota.* Curvas de densidad de los componentes de la diversidad beta  $\beta_{SOR}$  (primer panel),  $\beta_{SIM}$  (segundo panel) y  $\beta_{SNE}$  (tercer panel). El eje “x” representa valores de disimilitud entre pares de los sitios, mientras que el eje “y” indica la frecuencia relativa de los valores de diversidad beta. El primer panel muestra una curva con alta concentración en valores altos (0.6-1) mostrando una alta disimilitud entre sitios. El panel 2 nos indica igualmente valores altos (tasa de reemplazo de especies) y el panel 3 indica una concentración cercana a de 0,16 mostrando anidamiento casi nulo. Estas curvas permiten visualizar la distribución de la disimilitud y comparar la contribución relativa del recambio de especies y el anidamiento en la estructura de las comunidades.

### Figura 8

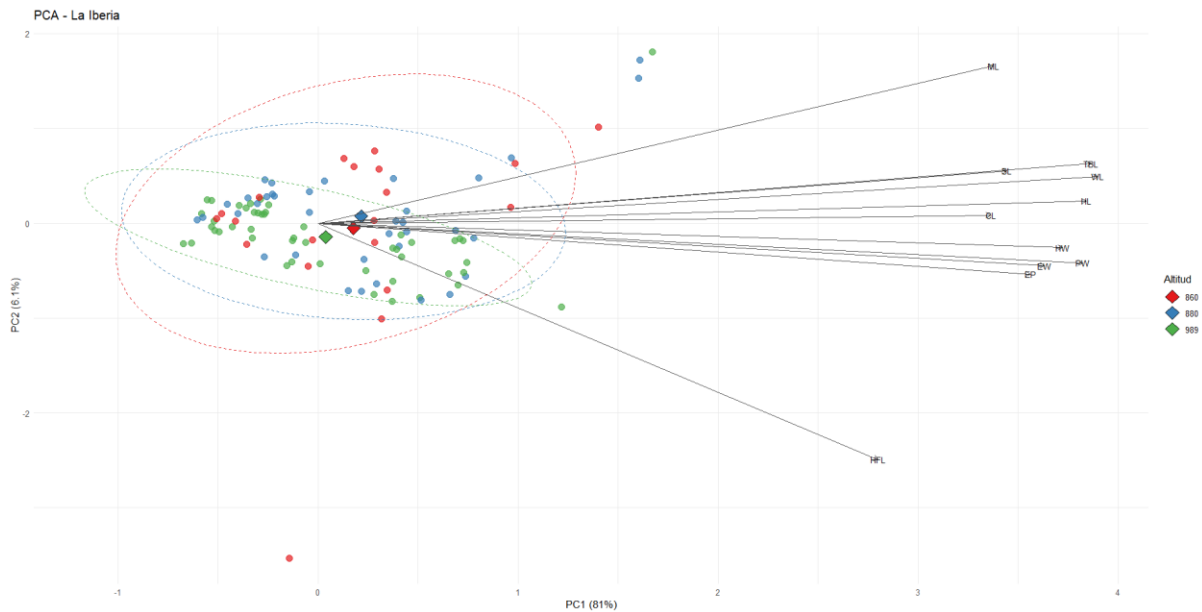
Gráfico de presencia-ausencia de los morfotipos de Domono y La Iberia.



*Nota.* Gráfico tipo *slope graph* que representa el recambio de morfoespecies mediante datos de presencia-ausencia entre localidades. El eje Y indica la presencia (1) o ausencia (0) de cada morfotipo, mientras que el eje X corresponde a las localidades evaluadas. Cada línea representa un morfotipo. Las líneas horizontales en el nivel superior (1 a 1) indican las morfoespecies compartidas entre localidades. Las líneas diagonales descendentes desde La Iberia (1) hacia Domono (0) representan morfoespecies presentes en La Iberia pero ausentes en Domono. Por el contrario, las líneas diagonales ascendentes (0 a 1) indican morfoespecies ausentes en La Iberia pero presentes en Domono. En conjunto, el cruce de líneas refleja el recambio de especies entre ambas localidades.

## Figura 9

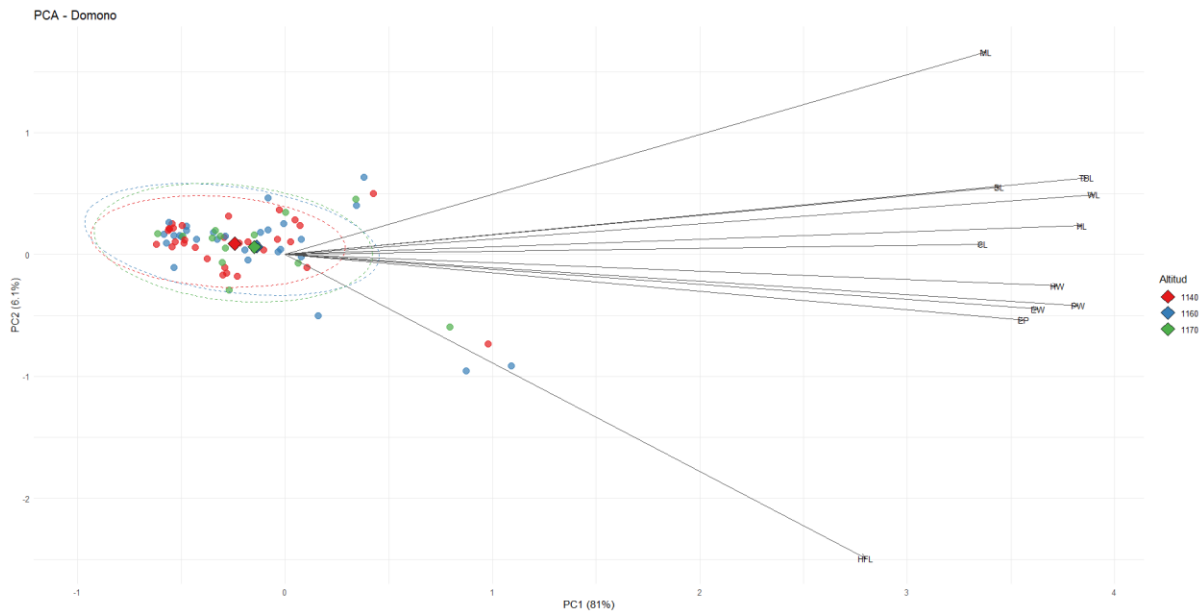
*Análisis de Componentes Principales de la Localidad de La Iberia, Azuay.*



*Nota.* Las flechas representan los rasgos morfológicos incluidos en el análisis. La dirección de cada vector indica el sentido en el que aumenta el valor del rasgo dentro del espacio funcional, mientras que su longitud refleja su contribución relativa a la variación total. El ángulo entre vectores indica la relación entre rasgos (vectores paralelos: correlación positiva; vectores opuestos: relación negativa; vectores perpendiculares: independencia). Cada punto corresponde a un individuo, cuya posición está determinada por la combinación de rasgos que presenta. Los individuos ubicados en la misma dirección que un vector presentan valores relativamente más altos de ese rasgo. Los colores representan las distintas altitudes dentro de la localidad.

## Figura 10

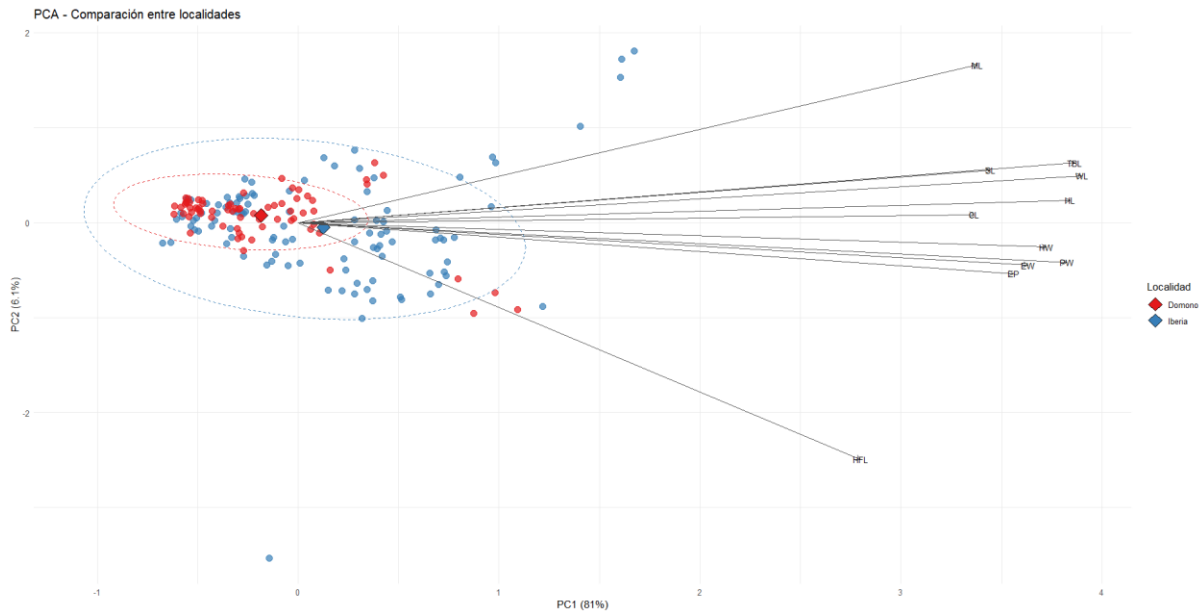
*Análisis de Componentes Principales de la Localidad de Domono, Morona Santiago.*



*Nota.* Las flechas representan los rasgos morfológicos incluidos en el análisis. La dirección de cada vector indica el sentido en el que aumenta el valor del rasgo dentro del espacio funcional, mientras que su longitud refleja su contribución relativa a la variación total. El ángulo entre vectores indica la relación entre rasgos (vectores paralelos: correlación positiva; vectores opuestos: relación negativa; vectores perpendiculares: independencia). Cada punto corresponde a un individuo, cuya posición está determinada por la combinación de rasgos que presenta. Los individuos ubicados en la misma dirección que un vector presentan valores relativamente más altos de ese rasgo. Los colores representan las distintas altitudes dentro de la localidad.

### Figura 11

*Análisis de Componentes Principales entre las localidades de La Iberia (Azúay) y Domono (Morona Santiago).*



*Nota.* Las flechas representan los rasgos morfológicos, donde la dirección indica el aumento del rasgo, la longitud su contribución relativa a la variación y el ángulo entre vectores la relación entre ellos. Los puntos corresponden a individuos y su posición refleja la combinación de rasgos; aquellos ubicados en la dirección de un vector presentan valores relativamente más altos de dicho rasgo. Los colores indican los grupos comparados en cada figura.

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexo 1

#### Glosario de medidas funcionales

Para estandarizar la morfometría se siguió la guía de Drager et al. (2023). Las siglas y descripciones corresponden a los estándares internacionales en ecología de hormigas:

1. *Weber's length o Longitud de Weber (WL)*: En vista lateral, distancia en línea recta desde el margen del pronoto (excluyendo el escudo cervical) hasta el ángulo basal posterior de la metapleura. Es el estimador más robusto del tamaño del mesosoma.
2. *Body length o Longitud total del cuerpo (TBL)*: En vista lateral, la suma de las longitudes de la mandíbula izquierda, cápsula cefálica, WL, pecíolo, postpecíolo (si está presente) y gáster.
3. *Hind femur length o Longitud del fémur posterior (HFL)*: Calculada mediante el teorema de Pitágoras como la raíz cuadrada de la suma de la longitud al cuadrado del fémur posterior con el cuerpo en vista dorsal y la altura al cuadrado del fémur posterior (vista lateral).
4. *Max eye width o Ancho máximo del ojo (EW)*: En vista lateral, diámetro máximo del ojo compuesto izquierdo en su eje vertical.
5. *Eye position o Posición del ojo (EP)*: La relación entre la distancia mínima desde el margen anterior del ojo compuesto izquierdo en vista lateral hasta el margen anterior de la cabeza, dividida por HL.
6. *Head length o Longitud de la cabeza (HL)*: En vista frontal/dorsal, la longitud de la cápsula cefálica en línea recta desde el margen posterior (incluyendo lóbulos occipitales) hasta el margen anterior del clípeo, excluyendo las espinas y las mandíbulas.
7. *Head width o Ancho de la cabeza (HW)*: En vista frontal, la distancia máxima a través de la cabeza incluyendo los ojos compuestos.
8. *Mandible length o Longitud de la mandíbula (ML)*: En vista dorsal, la distancia en línea recta desde el diente apical (distal) hasta el punto medio de la base mandibular.
9. *Clypeus length o Longitud del clípeo (CL)*: En vista dorsal, la distancia en línea recta entre los márgenes posterior y anterior del clípeo en su punto medio.
10. *Scape length o Longitud del escapo (SL)*: Raíz cuadrada de la suma de la longitud al cuadrado (vista dorsal) y la altura al cuadrado (vista frontal) del primer segmento

antenal.

11. *Inter-ocular width o Ancho interocular (IOW)*: En vista frontal, la distancia mínima entre los márgenes internos (mediales) de los ojos compuestos.
12. *Pronotum width o Ancho del pronoto (PW)*: En vista dorsal, ancho máximo del pronoto, excluyendo las espinas o proyecciones cuticulares.

## Anexo 2

**Tabla 3.** *Tabla resumen de análisis estadístico.*

<b>Tipo de análisis</b>	<b>Paquetes en R</b>	<b>Objetivo en el estudio</b>
Preparación de datos	dplyr, tidyr, janitor	Limpieza, estandarización y transformación de datos; construcción de matrices de abundancia y presencia–ausencia, y organización por localidad, altitud y morfotipo.
Diversidad taxonómica	vegan, iNEXT	Cálculo de índices de diversidad (Shannon, Simpson), estimadores de riqueza (Chao1) y generación de curvas de rarefacción con extrapolación para evaluar la completitud del muestreo.
Diversidad beta	betapart, vegan	Cálculo de disimilitud entre comunidades (Sørensen, Jaccard) y descomposición en recambio de especies ( $\beta_{SIM}$ ) y anidamiento ( $\beta_{SNE}$ ).
Visualización de composición	ggVennDiagram, ggplot2	Representación gráfica de la composición de morfotipos, incluyendo diagramas de Venn y gráficos de abundancia y estructura comunitaria.
Análisis multivariado	vegan, FactoMineR, factoextra	Evaluación de la estructura del morfoespacio mediante PCA y análisis de diferencias entre grupos (PERMANOVA).
Diversidad funcional	FD, ade4	Cálculo de índices de diversidad funcional (FRic, FEve, FDiv) y análisis de la estructura funcional basada en rasgos morfológicos.
Modelado estadístico	lme4, sjPlot	Evaluación de efectos de variables ambientales (localidad y altitud) sobre los rasgos funcionales y visualización de modelos.

### Anexo 3

**Tabla 4.** Resumen de las 10 morfoespecies más representativas de cada localidad.

Localidad	Morfoespecie	Taxonomía	Abundancia
Domono	4	Wasmannia	944
	17	Crematogaster	818
	122	Pheidole	573
	6	Solenopsis	237
	68	Nylanderia	221
	115	Brachymyrmex	145
	62	Pheidole	140
	94	Brachymyrmex	100
	142	Brachymyrmex	62
	35	Apterostigma	58
<i>Subtotal</i>			3.298
La Iberia	39	Cephalotes	121
	42	Camponotus	100
	84	Gnamptogenys	99
	20	Wasmannia	96
	13	Camponotus	94
	17	Crematogaster	90
	2	Pheidole	85

24	Crematogastera	80
63	Hypoponera	80
60	Odontomachus	79
<hr/>		
<i>Subtotal</i>		<i>924</i>
<hr/>		
<b>Total</b>		<b>4.222</b>
<hr/>		

#### **Anexo 4**

Link de base de datos del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay.

[Base de datos MZUA formicidae.xlsx](#)