



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**DIVERSIDAD DE HORMIGAS (Hymenoptera: Formicidae)
EN POLICULTIVOS DE NARANJA DULCE**

TESIS

Que presenta:

Andrés Isidoro Villarreal Guerrero

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Directora de tesis:

Dra. Alejandra del Socorro González Moreno

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2025



TecNM



Conkal, Yucatán, México a 8 de diciembre de 2025

El comité de tesis del candidato a grado: Biol. Andrés Isidoro Villarreal Guerrero, constituido por los CC. Dra. Alejandra del Socorro González Moreno, Dr. José María Tun Suárez, y Dra. Lizette Cicero Jurado, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **DIVERSIDAD DE HORMIGAS (Hymenoptera: Formicidae) EN POLICULTIVOS DE NARANJA DULCE**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dra. Alejandra del Socorro González Moreno
Directora de Tesis

Dr. José María Tun Suárez
Asesor de Tesis

Dra. Lizette Cicero Jurado
Co-directora de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 8 de diciembre de 2025

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Andrés I. Villarreal Guerrero

Biol. Andrés Isidoro Villarreal Guerrero

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría y poder llevar a cabo este proyecto de investigación.

A la Dra. Alejandra González Moreno por aceptarme como estudiante y como mi directora de tesis, y en especial por su tiempo y paciencia en estos dos años de posgrado.

A la Dra. Lizette Cicero Jurado por permitirme participar en este proyecto, por su asesoría, apoyo, tiempo, consejos y sobre todo por la gran experiencia adquirida en el campo del control biológico.

Al Dr. José María Tun Suarez por aceptar ser parte de mi comité como asesor y por su aportaciones y comentarios.

Al equipo de trabajo del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Yucatán (CESVY) por su acompañamiento y apoyo durante la ejecución del proyecto.

A todos mis amigos y compañeros que han estado conmigo a lo largo de mi vida y en especial a mis compañeros de maestría Adriana, Alfredo, Alix, Brandon, Daniel, Maryjose y Ramón, y a Daniela Higuera.

Al equipo ECOBI-INIFAP conformado por Daniel Sandoval y María Rosel por su apoyo y ayuda tanto en campo como en el laboratorio durante la ejecución del proyecto.

A mi gran amiga María por su apoyo, cariño y comprensión, en el trascurso de esta travesía.

Por último, a mi familia por alentarme a seguir adelante cada día.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi padre, Juan Villarreal, por su cariño, comprensión, mentoría y sabios consejos a lo largo de mi vida. A mi madre, que, aunque ya no está físicamente, siempre me acompaña en cada uno de mis logros; gracias a ellos sigo —y seguiré— enfrentando mis temores, incluso cuando dude de mis capacidades.

Con cariño y amor, a mi pedacito de cielo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
CAPITULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.2.1 Agroecosistemas y su contexto	3
1.2.1.1 Conservación del hábitat y servicios ecosistémicos.....	3
1.2.1.2 Agroecosistemas	4
1.2.1.3 Biodiversidad en los agroecosistemas.....	4
1.2.1.4 Los agroecosistemas de cítricos y sus problemáticas	6
1.2.1.5 Agroecosistema de naranja dulce en México y Yucatán	7
1.2.2 Importancia de las hormigas	8
1.2.2.1 Diversidad de hormigas.....	8
1.2.2.2 Hormigas en México y Yucatán	9
1.2.2.3 Roles ecológicos de las hormigas	9
1.2.2.4 Hormigas en agroecosistemas	11
1.3 HIPÓTESIS.....	13
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 Objetivo general	14
1.4.2 Objetivos específicos	14
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	15
1.6 LITERATURA CITADA.....	16
CAPÍTULO 2	27
DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y FUNCIONAL DE HORMIGAS EN POLICULTIVOS DE NARANJA DULCE	27
RESUMEN.....	27
ABSTRACT	28

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1	1
Figura 1.1. Diagrama de la respuesta de la biodiversidad a su entorno, impulsando el funcionamiento del ecosistema.	3
Figura 1.2. Descripción conceptual de cómo la diversificación a escala de campo, mediante rotaciones de cultivos, especies o mezclas varietales tienen implicaciones en el funcionamiento del sistema agrícola (obtenido de Kernecker <i>et al.</i> , 2024).....	6
Figura 1.3. Esquema experimental para llevar a cabo el proyecto.	15
 CAPÍTULO 2	 27
Figura 2.1. Ubicación geográfica de las huertas de naranja dulce en la zona citrícola del sur del Yucatán.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.2. Curva de acumulación de especies de hormigas observadas y estimadas.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.3. Análisis PLS-R de la relación entre las variables que caracterizan las huertas y la riqueza de hormigas.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.4. Curvas de rango-frecuencia (Whittaker) para las especies de hormigas en los diferentes niveles de policultivo en huertas de naranja dulce en el sur del estado de Yucatán..	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.5. Comparación de la riqueza predicha entre los niveles de policultivo.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.6. Diversidad de Hill (orden q) por nivel de policultivo: q_0 = riqueza de especies, q_1 = especies comunes y q_2 = especies dominantes en la comunidad.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2.7. Curvas de rango-frecuencia (Whittaker) a partir de la frecuencia de captura por grupos funcionales en los tres niveles de policultivo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.8. Comparación de la riqueza de especies entre grupos funcionales y entre niveles de policultivo.....	¡Error! Marcador no definido.
 MATERIAL SUPLEMENTARIO	 64
Figura 2.S1. Método de muestreo, A) selección de árboles de naranja dulce. B) Muestreo vegetal a partir de los árboles seleccionados de naranja dulce seleccionados.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.S2. Riqueza temporal de hormigas por grupo funcional para los tres niveles de policultivo.	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

CAPITULO 1	1
Cuadro 1.1. Definiciones y representación de los sistemas agrícolas. Resumido de Jones <i>et al.</i> , (2023).....	5
 CAPÍTULO 2	 27
Cuadro 2.1. Características de las huertas de naranja dulce en la zona citrícola del sur de Yucatán.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2.2. Especies observadas (EO), especies exclusivas (EE), estimadores de riqueza de especies Chao 2 (Índice de Chao 2) y Jack 1 (Índice de Jackknife de primer orden), y porcentaje de completitud del muestreo para los tres niveles de policultivo.....	¡Error! Marcador no definido.
 MATERIAL SUPLEMENTARIO	 64
Cuadro 2.S1. Listado florístico de los cultivos asociados a las huertas de naranja dulce de la zona citrícola del sur de Yucatán.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2.S2. Lista de claves taxonómicas utilizadas	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2.S3. Lista de especies y grupos funcionales de hormigas presentes en los árboles de naranja dulce en huertas de naranja de la zona citrícola del sur de Yucatán..	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

Las hormigas son organismos frecuentes en los agroecosistemas y proveen servicios ecosistémicos esenciales como la bioturbación del suelo y la regulación de las poblaciones de insectos. El tipo de manejo en los agroecosistemas influye en la complejidad y diversidad de nichos ecológicos y, en consecuencia, en la diversidad de especies. El presente estudio tiene como objetivo analizar la diversidad taxonómica y funcional de hormigas en árboles de naranja dulce en niveles de policultivos con diferente riqueza vegetal. Se realizaron muestreos en la zona citrícola al sur del estado de Yucatán en 15 huertas de naranja dulce clasificadas en tres niveles ascendentes de policultivo según su riqueza vegetal: P_nivel 1, P_nivel 2 y P_nivel 3. La colecta de hormigas se realizó manualmente cada quince días en diez árboles por huerta durante un año. Se identificaron 18,308 individuos pertenecientes a siete subfamilias, 29 géneros y 72 especies/morfoespecies (60 /12). La mayor riqueza se registró en P_nivel 2 (58), seguido de P_nivel 3 (53) y P_nivel 1 (50). Se obtuvo un esfuerzo de muestreo con más de 80 % de las especies estimadas, siendo *Crematogaster torosa* y *Ectatomma tuberculatum* las especies más frecuentes en los tres niveles de policultivo. Se encontraron diferencias en la riqueza predicha, pero no en las diversidades del orden 0 (riqueza), y 1 (especies comunes). En la diversidad del orden 2 (especies dominantes), existe una diferencia marginal entre P_nivel 1 (18.17 ± 0.65) y P_nivel 3 (20.45 ± 0.54 especies), este último también presentó la mayor equidad ($E_1 = 0.53$, $E_2 = 0.39$). Los resultados sugieren que las huertas más diversas en cuanto cultivos no necesariamente incrementan la diversidad total de hormigas, sí favorecen una mayor riqueza de especies, una composición funcional más rica y una mayor estabilidad temporal. Como se ha reportado en otros estudios, la diversificación de los cultivos brinda condiciones más estables. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los grupos funcionales, esto puede ser algo positivo, debido a la gran cantidad de registros de especies depredadoras y omnívoras arbóreas quienes podrían estar actuando como controladores biológicos. En conclusión, los sistemas diversificados representan importantes reservorios de diversidad tanto taxonómica como funcional. Sin embargo, se requiere mayores investigaciones para dilucidar los efectos de las comunidades de hormigas en las huertas citrícolas de Yucatán.

Palabras clave: Formicidae, agroecosistemas, cítricos, diversidad funcional, ecología.

ABSTRACT

Ants are common organisms in agroecosystems and provide essential ecosystem services such as soil bioturbation and the regulation of insect populations. The type of management practiced in agroecosystems influences the complexity and diversity of ecological niches and, consequently, species diversity. The objective of this study was to analyze the taxonomic and functional diversity of ants in sweet orange trees under polyculture systems with different levels of plant richness. Sampling was conducted in the citrus-growing region in the southern part of Yucatán State, across 15 sweet orange orchards classified into three ascending levels of polyculture according to their plant richness: P_level 1, P_level 2, and P_level 3. Ants were manually collected every fifteen days from ten trees per orchard over the course of one year. A total of 18,308 individuals were identified, belonging to seven subfamilies, 29 genera, and 72 species/morphospecies (60/12). The highest species richness was recorded in P_level 2 (58), followed by P_level 3 (53) and P_level 1 (50). Sampling coverage exceeded 80% of the estimated species, with *Crematogaster torosa* and *Ectatomma tuberculatum* being the most frequent species across the three polyculture levels. Differences were found in predicted richness, but not in diversity of order 0 (richness) and order 1 (common species). For order 2 diversity (dominant species), a marginal difference was observed between P_level 1 (18.17 ± 0.65) and P_level 3 (20.45 ± 0.54 species); the latter also showed the highest evenness ($E_1 = 0.53$, $E_2 = 0.39$). The results suggest that more diverse orchards in terms of crop composition do not necessarily increase the overall diversity of ants; however, they do promote greater species richness, a richer functional composition, and higher temporal stability. As reported in previous studies, crop diversification provides more stable environmental conditions. Although no significant differences were found among functional groups, this may be a positive outcome, given the high number of records of predatory and arboreal omnivorous species, which could be acting as biological control agents. In conclusion, diversified systems represent important reservoirs of both taxonomic and functional diversity. Nevertheless, further research is required to elucidate the effects of ant communities on citrus orchards in Yucatán.

Keywords: Formicidae, agroecosystems, citrus, functional diversity, ecology

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

En los sistemas conservados, la diversidad asociada conlleva una gama de servicios ecológicos que beneficia tanto a la fauna y flora como a los procesos químicos y físicos del entorno (Van Der Plas, 2019). Sin embargo, en los últimos años, el incremento en la demanda de productos agrícolas ha acelerado el cambio del uso del suelo, ocasionando el aumento de los sistemas antropogénicos (Ferreira, 2024). Esto ha provocado la pérdida de biodiversidad, principalmente por las prácticas intensivas de manejo, que transforman el entorno en sistemas simplificados (Emmerson *et al.*, 2016,).

Dentro de la diversidad biológica de los sistemas naturales y los agroecosistemas, las hormigas adquieren una relevancia particular debido a los múltiples procesos en los que participan, cómo la polinización (De Vega y Gómez, 2014; Delnevo *et al.*, 2020), la dispersión de semillas (Reyes, 2000; De Almeida *et al.*, 2020; Ortiz *et al.*, 2021), la mejora de los suelos (Rojas, 2001; Sofo *et al.*, 2020), la protección de las plantas (Diamé *et al.*, 2018) y la regulación de poblaciones de insectos plaga (Offenberg, 2015). No obstante, algunas especies pueden comportarse como plagas debido a sus hábitos alimenticios, como las cortadoras de hojas (Canedo-Júnior *et al.*, 2019), o aquellas que establecen relaciones mutualistas con insectos chupadores de savia, aumentando sus poblaciones (Montoya-Lerma *et al.*, 2012).

Debido a la gran variedad de roles ecológicos que desempeñan, las hormigas se han clasificado en grupos funcionales de acuerdo con su tipo de alimentación, sus preferencias de hábitat o por el tipo de estrategias que emplean (Brandão *et al.*, 2012; Silvestre, 2003). Esta clasificación, además de identificar el rol de cada especie, permite evaluar el estado de “salud” de los ecosistemas a partir de su diversidad (Santos *et al.*, 2021). Esto se debe a que sus poblaciones se ven afectadas tanto por factores bióticos (Hölldobler y Wilson, 1990; Guzmán-Mendoza *et al.*, 2014; Piedra *et al.*, 2016) como abióticos (Lozano-Zambrano *et al.*, 2009), lo que puede alterar sus funciones ecológicas.

Entre los sistemas agrícolas, la producción de cítricos es de gran importancia a nivel global por su valor nutrimental, gastronómico e industrial (WCO, 2022). México se encuentra entre los cinco principales países productores, generando ingresos estimados de 55,462,894.39 mil millones de pesos, principalmente de limón y naranja (USDA, 2024; SIAP, 2025). En este

contexto, Yucatán se ubica entre los diez estados de mayor producción, con una superficie sembrada de 22,203.33 hectáreas, de las cuales 14,437.11 ha corresponden a naranja dulce, alcanzando una producción de 203,228.27 toneladas (SIAP, 2025).

La citricultura en el estado se caracteriza por la diversificación de cultivos dentro de las huertas, satisfaciendo la necesidad de ampliar las fuentes de ingreso. Por lo que es común encontrar sistemas con diferentes tipos de manejo (monocultivos, policultivos, agrosilvopastoriles, agroforestales, entre otros), encontrando distintas variedades de cítricos, árboles frutales, especies maderables e incluso animales en una sola huerta, a diferencia de otras regiones citrícolas que producen principalmente en monocultivo (Padilla-Vega *et al.*, 2015; Ávila, 2021).

La heterogeneidad de los sistemas citrícolas de Yucatán podría estar contribuyendo a la conservación de la biodiversidad, dado que la complejidad vegetal se relaciona con una mayor presencia de organismos benéficos, como polinizadores, bioturbadores del suelo y depredadores (Ferreira, 2024), quienes pueden influir en la sostenibilidad de los cultivos (Duffy *et al.*, 2007; Vandermeer y Perfecto, 2012; Snyder, 2019).

Sin embargo, a pesar de la importancia ecológica de las hormigas y del alto valor económico de la citricultura, los estudios sobre las comunidades de hormigas en huertas de naranja son aún escasos, particularmente la relación entre la diversidad taxonómica y la funcional, vinculada a la heterogeneidad de los sistemas agrícolas. Este vacío de conocimiento con énfasis en el estado de Yucatán limita la comprensión de cómo la composición y el manejo de las huertas puede influir en la provisión de servicios ecosistémicos clave, como el control biológico. Por ello, el objetivo de esta investigación fue analizar la diversidad taxonómica y funcional de hormigas en árboles de naranja dulce en huertas con diferente riqueza vegetal en el sur del estado de Yucatán. Este estudio aporta información fundamental para comprender el papel que desempeñan las hormigas en estos sistemas diversificados y seguir avanzando hacia un manejo agroecológico más sustentable.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Agroecosistemas y su contexto

1.2.1.1 Conservación del hábitat y servicios ecosistémicos

Los trópicos concentran cerca del 75 % de la biodiversidad global, lo que se traduce en una elevada diversidad taxonómica, funcional y genética, que conforma redes ecológicas altamente complejas (Barlow et al., 2018). Es conocido que la biodiversidad responde a las condiciones ambientales y puede impulsar el funcionamiento y la resiliencia de los ecosistemas (Van Der Plas, 2019) (Fig. 1.1). En este sentido, una alta heterogeneidad estructural ofrece protección y refugio a la diversidad de especies, garantizando la provisión de servicios ecosistémicos mediados por ellas (Duffy et al., 2007).

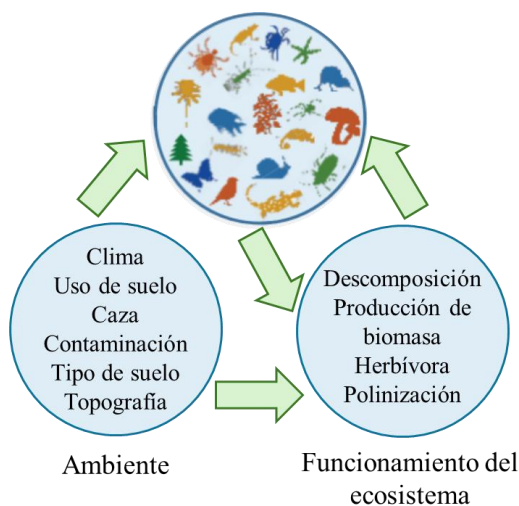


Figura 1.1. Diagrama de la respuesta de la biodiversidad a su entorno, impulsando el funcionamiento del ecosistema.

Si bien la diversidad taxonómica es relevante, Van Der Plas (2019) señala que la diversidad funcional suele ser un predictor más sólido del funcionamiento del ecosistema. De este modo, la presencia de determinados grupos funcionales, puede tener implicaciones más drásticas que la riqueza y equidad de especies.

Estos grupos funcionales se pueden clasificar con base en los gremios tróficos, debido a que desempeñan un papel crucial en las relaciones interespecíficas y en la estructura del ecosistema (Silvestre *et al.*, 2003). Tan solo la pérdida de un nivel trófico puede generar efectos radicales en el equilibrio y los procesos del ecosistema debido a las cascadas tróficas (Duffy *et al.*, 2007). No obstante, el crecimiento de las poblaciones humanas ha provocado

una acelerada transformación de los ecosistemas naturales en sistemas antropogénicos, provocando una alteración a la biodiversidad, a partir de la pérdida de especies.

1.2.1.2 Agroecosistemas

Se estima que la superficie agrícola ocupa alrededor de 4,800 millones de hectáreas, lo que equivale al 37 % de la superficie terrestre (Ritchie y Roser, 2019). Este incremento responde al crecimiento poblacional y a la mayor demanda de productos agrícolas, lo que ha impulsado la transformación de ecosistemas naturales en sistemas agrícolas para satisfacer las necesidades de los consumidores. Sin embargo, esta expansión ha generado una creciente homogeneización del paisaje (Emmerson et al., 2016; Ferreira, 2024).

Los agroecosistemas son ecosistemas modificados intencionalmente con el propósito de obtener bienes y servicios productivos (agrícolas, pecuarios o forestales). Se caracterizan por la interacción de diversas poblaciones de especies, donde por lo menos una posee utilidad agrícola, y el conjunto es activamente regulado y controlado por el manejo humano bajo prácticas agronómicas, pueden clasificarse en tres tipos: (I) aquellos basados en sistemas de cultivo (que pueden ser anuales, perennes, forestales, etc.); (II) aquellos centrados en un subsistema de producción animal; y (III) los que combinan cultivos y animales en un mismo sistema (Hart, 1985).

Dentro de los sistemas de cultivo, la clasificación puede refinarse de acuerdo con el tipo de manejo aplicado, la diversidad de cultivos asociados o especies vegetales presentes en la parcela y la forma de aprovechamiento (Manson *et al.*, 2008; Jones *et al.*, 2023) (**Cuadro 1.1**).

1.2.1.3 Biodiversidad en los agroecosistemas

En los agroecosistemas, la biodiversidad puede entenderse de dos formas: la planeada, que corresponde a las especies introducidas por decisión del agricultor, y la asociada, integrada por los organismos que llegan de manera espontánea al cultivo (Vandermeer y Perfecto, 2012; Snyder, 2019). En este sentido, la diversificación de cultivos, la adición de cultivos perenes, y la integración de vegetación natural en los sistemas agrícolas, son estrategias que favorecen el incremento de la biodiversidad (Jones et al., 2023).

De este modo, la complejidad vegetal promueve la presencia de organismos en diferentes grupos funcionales, fortaleciendo la productividad y la estabilidad del sistema agrícola. Estos son aspectos fundamentales para la sostenibilidad, generando así beneficios a los

productores, sin afectar de manera significativa el rendimiento (Duffy et al., 2007; Kernecker et al., 2024) (Fig. 1.2).

Cuadro 1.1. Definiciones y representación de los sistemas agrícolas. Resumido de Jones *et al.*, (2023).

Sistema agrícola	Práctica agrícola	Definición
Agricultura simplificada	Cultivo simplificado	Monocultivos, definidos como una sola especie o variedad de cultivo, cultivada en la misma parcela, al mismo tiempo o de forma continua durante diferentes estaciones.
	Cultivos diversificados	Policultivos, definidos como un sistema agrícola en el que se cultivan dos o mas especies de plantas en el mismo espacio y tiempo, clasificados por las características y prácticas de manejo.
	Agroforestería	En la agroforestería al menos dos especies de plantas interactúan biológicamente, una de las plantas es perenne leñosa, y la otra tiende a ser una planta que se maneja para la producción de forrajes, cultivos anuales o perennes.
	Asociación de cultivos	En este sistema además del sembrar el cultivo principal se cultivan otras plantas con fines agronómicos o ambientales, cumpliendo una función específica, como repeler plagas, mejorar la salud del suelo o reducir la erosión.
Agricultura diversificada	Rotación de cultivos	Especies o variedades de cultivos cultivados en sucesión en una parcela de tierra, de forma estacional o anual.
	Mezclas de cultivares	Múltiples cultivares de la misma especie cultivados simultáneamente en el mismo campo.
	Cultivo intercalado	Cultivos simultáneos en la misma área, de dos o más especies, variedades o cultivares, durante todo o parte de su ciclo de crecimiento.
	Prácticas combinadas	Combinaciones de prácticas agrícolas individuales y diversificadas, como la rotación de cultivos o sistemas integrados de producción de cultivos y animales.
	Vegetación natural integrada	Tierras agrícolas utilizadas para fines no productivos y donde se siembra vegetación natural o seminatural o se permite que se regenere naturalmente junto a tierras productivas o como parte de un ciclo de rotación de cultivos, generalmente con fines ambientales.

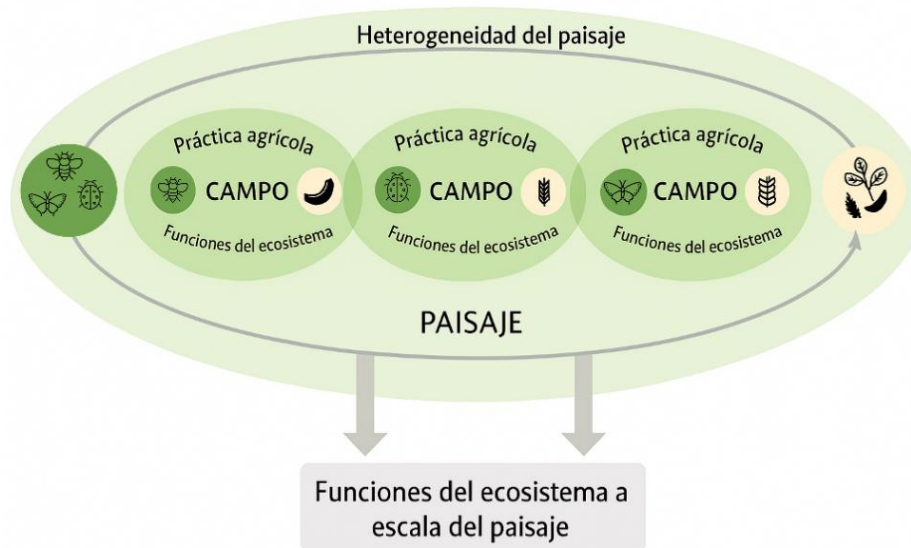


Figura 1.2. Descripción conceptual de cómo la diversificación a escala de campo, mediante rotaciones de cultivos, especies o mezclas varietales tienen implicaciones en el funcionamiento del sistema agrícola (obtenido de Kernecker *et al.*, 2024).

La heterogeneidad en los campos agrícolas constituye un elemento clave para la riqueza y equidad de los enemigos naturales, al reducir la probabilidad de depredación intragremial. Esto favorece la coexistencia de especies y aumenta su eficacia en la regulación de poblaciones de plagas, aportando beneficios en términos de control biológico y regulación de las enfermedades asociadas (Snyder, 2019).

Es por ello que la diversidad taxonómica y funcional resultan particularmente relevantes en sistemas agrícolas, donde la presencia de plagas y enfermedades constituyen una de las principales limitantes para la productividad (Urbaneja *et al.*, 2020).

1.2.1.4 Los agroecosistemas de cítricos y sus problemáticas

Los campos citrícolas son de los agroecosistemas frutícolas más importantes a nivel mundial, manejándose en más de 140 países (FAO, 2016). En el año 2022, se estimó una producción de 158.5 millones de toneladas, incluyendo naranjas dulces, mandarinas, limones, limas, toronjas, entre otras frutas ácidas y cidras (WCO, 2022).

Las prácticas intensivas, como la mecanización, las altas densidades de siembra y la eliminación de vegetación natural circundante, son características comunes de los monocultivos. Sin embargo, estas condiciones pueden favorecer la dispersión de enfermedades fitopatógenas, el aumento de organismos plaga y la proliferación de arvenses

(Ferreira, 2024). Ante este escenario, los productores suelen recurrir al uso prolongado de agroquímicos, cuyo impacto negativo está relacionado con su residualidad en el ambiente (Emmerson *et al.*, 2016).

Los mayores desafíos en la citricultura son las plagas y enfermedades (Tennant *et al.*, 2009). A nivel mundial se enlistan más de 100 insectos con efectos perjudiciales en los cítricos (Urbaneja *et al.*, 2020). En América, destacan los áfidos y escamas (Hemiptera: Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha), las mosquitas blancas (Aleyrodidae), las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae), los trips (Thysanoptera: Thripidae), los minadores (Lepidoptera: Gracillariidae), los gorgojos de la raíz (Coleoptera: Curculionidae) y diversos ácaros (Trombidiformes: Eriophyidae, Tenuipalpidae, Tetranychidae) (León, 2012; Urbaneja *et al.*, 2020).

En México, tres invertebrados son particularmente devastadores, debido a que además de dañar directamente las plantas al alimentarse de la savia, actúan como vectores de enfermedades: *Diaphorina citri* (psílido asiático de los cítricos) considerada la plaga más nociva, al transmitir la bacteria *Candidatus Liberibacter spp.* causante del Huanglongbing (HLB), el pulgón café *Toxoptera citricida*, principal trasmisor del Virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC), cuyas razas pueden ser altamente destructivas, y los ácaros del género *Brevipalpus*, transmisores de la leprosis de los cítricos (SENASICA, 2020).

Tradicionalmente, el control de estas plagas se ha basado en insecticidas de síntesis química. Sin embargo, el uso excesivo de estos productos genera impactos negativos en el ambiente, la biodiversidad e incluso en la salud humana (Badii y Varela, 2008). Además, favorece la aparición de poblaciones resistentes, lo que puede aumentar drásticamente la abundancia de plagas. Otro efecto crítico es que no son selectivos y alteran las poblaciones de los insectos benéficos, perturbando las cadenas tróficas naturales (Ansari *et al.*, 2014; Jayaprakas *et al.*, 2023).

1.2.1.5 Agroecosistema de naranja dulce en México y Yucatán

Gran parte del territorio mexicano está destinado a la producción agrícola, en este contexto, la citricultura destaca como una de las actividades más relevantes, con 627,977.55 hectáreas cultivadas en 28 estados durante el año 2024 (SIAP, 2025). En el estado de Yucatán, se registran 22,203.33 ha de cítricos, sobresaliendo la naranja dulce con 14,437.11 ha y un valor de producción estimado de 1,184,694.31 mil millones de pesos (SIAP, 2025), representando una importante actividad económica para la región.

A diferencia de otras regiones cítricas caracterizadas por el monocultivo, en Yucatán, los productores suelen organizarse en unidades de manejo. Dichas unidades, están conformadas en promedio por 30 agricultores, y cada productor administra superficies que van desde un mecate (20 x 20 m) hasta los 10,000 m² (Ávila, 2021). Estas huertas se caracterizan por la presencia de múltiples cultivos, lo cual permite un uso más eficiente del espacio y una diversificación de ingresos (Lozano y Jasso, 2012).

En la región se han identificado cinco tipos de agroecosistemas diversificados: sistemas agroforestales multipropósito abandonados, sistemas agroforestales multipropósito activos, sistemas agrosilvícolas, huertas cítricas y sistemas agrosilvopastoriles. Entre ellos, los sistemas agroforestales multipropósito destacan por su amplia extensión (Padilla-Vega *et al.*, 2015). Se han documentado hasta 40 especies vegetales cultivadas en las huertas, pertenecientes a 28 géneros y 19 familias, donde el zapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) y el Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn) destacan como los frutales más frecuentes por debajo de la naranja dulce (*Citrus sinensis*) (Padilla-Vega *et al.*, 2015).

La heterogeneidad del paisaje de estas huertas, junto con su proximidad con áreas de vegetación semiconservada (INEGI, 2024), puede constituir una matriz espacial clave para la biodiversidad de la región, (Snyder, 2019; Urbaneja *et al.*, 2020).

1.2.2 Importancia de las hormigas

1.2.2.1 Diversidad de hormigas

Se estima que más del 10 % de la biomasa animal del planeta está representada por las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) (Keller y Gordon, 2006), y la región tropical alberga la mayor diversidad, llegando a representar hasta el 50 % de los insectos de un ecosistema (Moreau y Bell, 2013; Jiménez *et al.*, 2008). A nivel mundial se registran más de 15,000 especies y subespecies pertenecientes a 333 géneros, distribuidos en 16 subfamilias (Guénard *et al.*, 2012).

Son organismos eusociales, es decir tienen una estructura social donde diferentes generaciones conviven en un mismo nido o colonia. Se organizan en castas adaptadas morfológica, fisiológica y etológicamente para llevar a cabo funciones específicas dentro de la colonia (Hölldobler y Wilson, 1990).

Su distribución está influenciada por diversos factores como las condiciones climáticas (Guzmán-Mendoza *et al.*, 2014; Piedra Campoverde *et al.*, 2016), la orografía (Castro

Delgado *et al.*, 2008) y las interacciones mutualistas y antagonistas con otros organismos (Armbrecht y Armbrecht, 1997). Sin embargo, la fragmentación de los hábitats es de los factores más influyentes en la composición y estructura de las comunidades de hormigas (Lozano-Zambrano *et al.*, 2009), alterando la diversidad (riqueza y abundancia) y el comportamiento de las especies (Loreau *et al.*, 2001; Koleff *et al.*, 2008).

Las prácticas intensivas en los sistemas productivos alteran la diversidad de hormigas debido a las actividades de manejo (Roeder y Harmon-Threatt, 2022; Torchote *et al.*, 2010). Sin embargo, los sistemas diversificados y el uso regulado de agroquímicos pueden reducir estos efectos (Thomas *et al.*, 2021, Azevedo *et al.*, 2024). Sin embargo, Aunque se ha investigado este campo, aún se dispone de información limitada sobre las comunidades de hormigas y los roles que cumplen en los diferentes agroecosistemas (Philpott y Armbrecht, 2006; Anjos *et al.*, 2022).

1.2.2.2 Hormigas en México y Yucatán

En México, a través de proyectos de recopilación de información, se han elaborado listas de las especies presentes por entidades federativas (Vásquez-Bolaños, 2015). Sin embargo, la mayoría de los trabajos están enfocados en estados donde se encuentran especialistas, por lo que la riqueza de especies podría estar subestimada.

Hasta el momento, se han reportado, 1,104 especies de hormigas, en 105 géneros, distribuidas en diez subfamilias (Rodríguez *et al.*, 2023). La región neotropical de México es la que presenta la mayor cantidad de registros (Dáttilo *et al.*, 2020), siendo los ambientes más estudiados, aquellos que no presentan impactos antropogénicos (Rodríguez *et al.*, 2023).

En este sentido, Yucatán cuenta con un registro de 165 especies y 56 géneros en 8 subfamilias (Vásquez-Bolaños, 2015; Guénard *et al.*, 2017 [Antmaps]; Dáttilo *et al.*, 2019; Villarreal, 2021). Sin embargo, son pocos los trabajos enfocados en agroecosistemas, destacándose principalmente estudios en cuevas (Morton Wheeler, 1938; Reddell y Cokendolpher, 2001) y en selvas (Rodríguez-Garza, 2008; Villarreal, 2021), a pesar del impacto ecológico que estos organismos representan en el ambiente.

1.2.2.3 Roles ecológicos de las hormigas

Las hormigas participan en diversos procesos ecológicos gracias a su amplia variedad de estrategias alimenticias (nectarívoras, fungívoras, granívoras, depredadoras, omnívoras, entre otras) y a su comportamiento gregario, lo que les ha permitido adaptarse a distintos hábitats y estratos (Hölldobler y Wilson, 1990). Esta plasticidad ecológica las convierte en

actores clave dentro de los sistemas, ya que contribuyen de manera significativa en la dinámica de estos (Roeder y Harmon-Threatt, 2022), efectuando roles irremplazables (Griffiths et al., 2017).

Entre los servicios ecosistémicos que ofrecen, destaca su papel en la mejoría de los suelos, favoreciendo la descomposición de la materia orgánica e incorporando nutrientes, incrementando su fertilidad (Rojas, 2001; Sofo *et al.*, 2020). Asimismo, mantienen relaciones mutualistas con plantas, actuando como protectoras y polinizadoras secundarias (De Vega y Gómez, 2014; Diamé *et al.*, 2018; Delnevo *et al.*, 2020), participando también en la dispersión de semillas, proceso fundamental en la restauración ecológica (Reyes López, 2000; De Almeida *et al.*, 2020; Ortiz *et al.*, 2021).

Si bien las hormigas cumplen funciones ecológicas esenciales en los ecosistemas naturales, su papel adquiere particular relevancia en los agroecosistemas, donde pueden contribuir tanto al mantenimiento de las huertas como a la generación de problemáticas asociadas a las plagas. En este sentido, el gremio trófico es un rasgo funcional clave para comprender su actividad en estos sistemas. Por ejemplo, las especies cultivadoras de hongos como las especies de los géneros *Atta* y *Acromyrmex*, son consideradas plagas directas. Estas hormigas alteran la estructura de los agroecosistemas al defoliar plantas para cultivar el hongo del cual se alimentan, llegando a causar daños económicos significativos. No obstante, en ecosistemas naturales, estas mismas cumplen funciones relevantes al reciclar la biomasa y modificar el suelo (Della, 2003; Montoya-Lerma *et al.*, 2012).

Otras especies pueden considerarse plagas secundarias al establecer relaciones mutualistas con insectos chupadores de savia. Estas especies, ofrecen cuidado y protección hacia sus enemigos naturales a cambio de secreciones azucaradas, lo que puede favorecer el aumento de las poblaciones de estos insectos fitófagos (Canedo-Júnior *et al.*, 2019). No obstante, esta relación depende de las especies involucradas, la calidad de los azúcares producidos y las condiciones del entorno (Anjos *et al.*, 2021). También se encuentran las especies que pueden desplazar especies nativas debido a su dominancia, acaparando grandes extensiones y recursos alimenticios (Fontenla y Alfonso-Simonetti, 2018).

Por otra parte, algunas especies pueden ofrecer beneficios importantes al presentar comportamientos de depredación, y, al ser de los grupos de insectos más representativos en el dosel (Kaspari, 2003), pueden reducir las poblaciones de insectos plaga (Philpott y Armbrrecht, 2006). Asimismo, las señales químicas que emiten pueden actuar como un

repelente natural (señales de advertencia) para ciertos insectos (Van *et al.*, 2009; Lamine *et al.*, 2017). Por lo que, excluirlas, puede afectar el equilibrio ecológico de las huertas, ya que su presencia también contribuye a mejorar el rendimiento de ciertos cultivos (Offenberg, 2015). Adicionalmente, su sensibilidad a cambios ambientales las convierte en bioindicadores ideales para evaluar el estado de conservación de los sistemas, mediante el análisis de su diversidad taxonómica y funcional (Silvestre, 2003; Brandão *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2021).

La clasificación de las hormigas en grupos funcionales puede realizarse a partir de los rasgos taxonómicos: la morfología de las especies, el tamaño corporal, la forma de las mandíbulas o el tamaño de los ojos, entre otros rasgos, o en las características del nicho: la ubicación del nido, las estrategias en la búsqueda de alimento, la preferencia hacia un tipo de hábitat o la tolerancia ambiental (Andersen, 1997; Silvestre *et al.*, 2003; Brandão *et al.*, 2012; Groc *et al.*, 2014; Fontenla y Alfonso-Simonetti, 2018). De entre estos, el gremio trófico y la ubicación de los nidos, suelen ser los criterios más accesibles para su clasificación (Groc *et al.*, 2014).

En este contexto, resulta interesante analizar la diversidad taxonómica y funcional de las hormigas en los agroecosistemas citrícolas, donde pueden desempeñar diferentes roles ecológicos.

1.2.2.4 Hormigas en agroecosistemas

Dado que las hormigas cumplen funciones ecológicas contrastantes en los agroecosistemas, es necesario conocer con mayor detalle su diversidad taxonómica y funcional en distintos cultivos. En México, el conocimiento sobre este tema se limita a unos cuantos trabajos. Por ejemplo, en Hidalgo, en zonas agrícolas con distintos sistemas de riego, se han registrado 39 especies y 21 géneros clasificados en ocho grupos funcionales (Hernández-Ruiz *et al.*, 2009). En Actopan, Veracruz, se documentaron 89 especies agrupadas en diez grupos funcionales (García-Martínez *et al.*, 2015a). En guayabos en Aguascalientes, se reportan 28 géneros y 41 especies en diez grupos funcionales (Rodríguez, 2019). Otros trabajos se han enfocado solo en la diversidad taxonómica, como en cultivos de nopal, reportando entre siete y 25 especies (Gómez-Otamendi *et al.*, 2018; Acuña-Soto *et al.*, 2023). En huertas de cítricos, destaca el trabajo de Martínez (2021) en Huejutla, Hidalgo, con siete especies y cinco géneros en sistemas de naranja, y el de Avendaño-Gutiérrez *et al.*

(2022) en cultivos de limón mexicano en el valle de Apatzingán, Michoacán, registrando 15 géneros con la misma cantidad de especies.

En contraste, en el ámbito internacional existen algunos reportes más amplios: registrándose cerca de 300 especies de hormigas asociadas a los agroecosistemas citrícolas (Haney 1988 citado por Zina *et al.*, 2017). Por ejemplo, en Colombia, Lozano *et al.* (2013) documentan en la zona citrícola del norte del país, ocho subfamilias, 44 géneros y 122 especies. En Brasil Azevedo *et al.*, (2024) reporta 54 especies, mientras que Alvis y García-Mari (2006), encontraron 13 especies en Valencia, España, sin embargo, no reportan los grupos funcionales. Por su parte, Larrea *et al.*, (2022) en Corrientes, Argentina, reportan cinco subfamilias, 13 géneros y 26 especies en nueve grupos funcionales. Zina *et al.*, (2017) reportan en Portugal, cinco subfamilias, 12 géneros y 21 especies, pertenecientes a cinco grupos funcionales.

Lo anterior resalta la importancia ecológica de las hormigas en los agroecosistemas y, al mismo tiempo evidencia la escasa información en México. Por ello, conocer las especies de hormigas en las huertas de naranja dulce resulta fundamental, ya que estos organismos actúan tanto de manera benéfica como perjudicial. Disponer de información detallada sobre la estructura de sus comunidades y grupos funcionales es clave para comprender sus implicaciones agronómicas. Para ello, resulta crucial identificar a las especies al máximo nivel taxonómico, pues su identidad puede vincularse directamente con los roles ecológicos que desempeñan.

En este contexto, la estructura del paisaje agrícola adquiere un papel importante. La heterogeneidad del paisaje generada por las prácticas agrícolas (como la diversificación de cultivos), puede aumentar la disponibilidad de microhábitats y nichos ecológicos, favoreciendo no solo una mayor riqueza de especies de hormigas, sino también una mayor diversidad funcional. Esto se traduce en la posibilidad de potenciar servicios ecológicos clave. Por lo que, estudiar cómo se relaciona la diversidad taxonómica y funcional de las hormigas con el nivel de policultivo de las huertas de naranja dulce en el sur de Yucatán, permitirá avanzar hacia estrategias de manejo agroecológico sustentable, al registrar la comunidad las hormigas y los roles ecológicos que desempeñan en las huertas.

1.3 HIPÓTESIS

La diversidad taxonómica y funcional de hormigas será mayor en policultivos de naranja dulce con mayor riqueza vegetal, ya que una mayor complejidad vegetal proporciona una mayor diversidad de nichos ecológicos, favoreciendo la presencia de más grupos funcionales.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Analizar la diversidad taxonómica y funcional de hormigas en árboles de naranja dulce en policultivos con diferente riqueza vegetal en el sur del estado de Yucatán.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las especies de hormigas presentes en árboles de naranja dulce en huertas del sur de Yucatán con diferente riqueza vegetal.
- Determinar la característica de la composición vegetal que se relaciona con la riqueza de hormigas.
- Describir la estructura de las comunidades de hormigas en los tipos de huerta con diferente riqueza vegetal.
- Comparar la riqueza específica de los grupos funcionales más representativos entre los tipos de huerta con diferente riqueza vegetal.
- Describir y comparar la variación temporal de la riqueza específica y los grupos funcionales de las hormigas entre los tipos de huerta con diferente riqueza vegetal.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

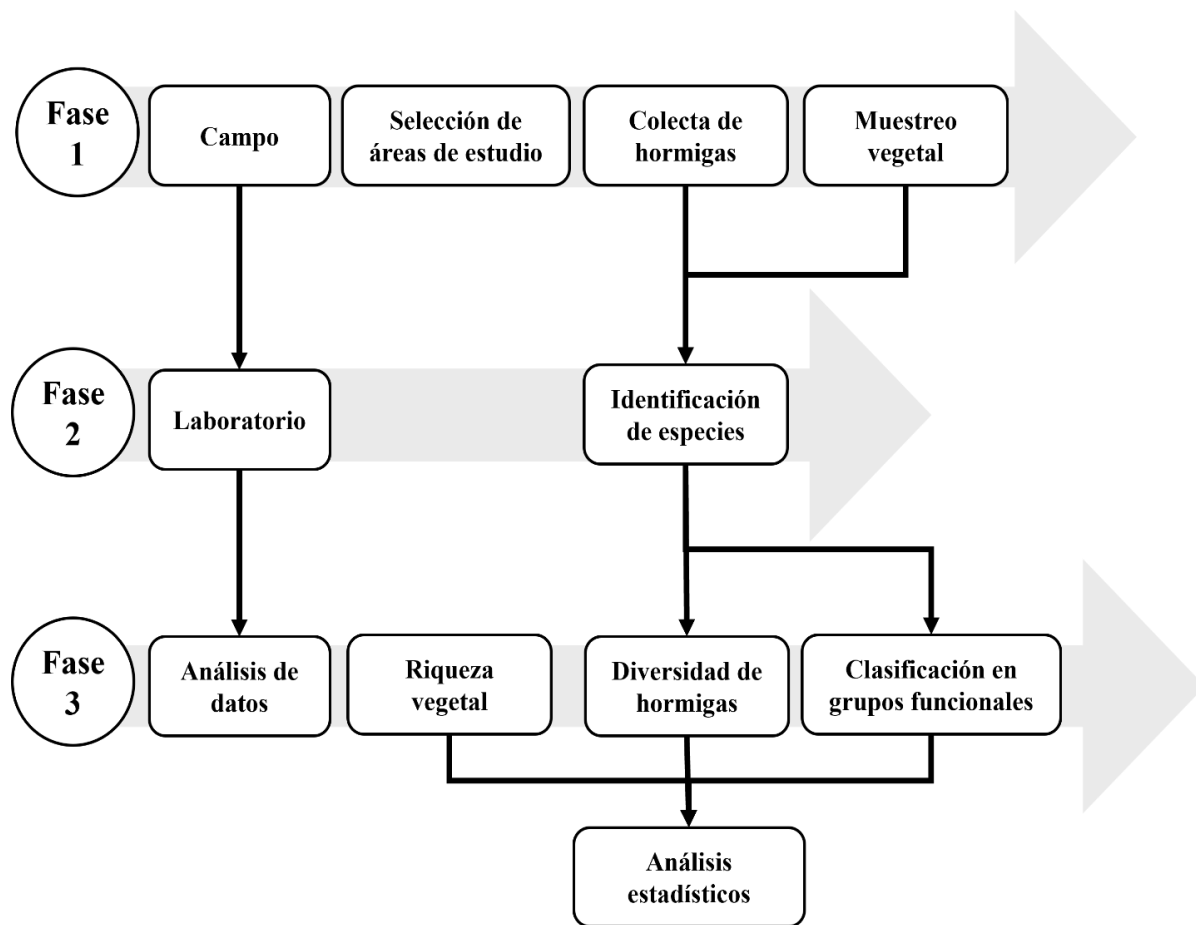


Figura 1.3. Esquema experimental para llevar a cabo el proyecto.

1.6 LITERATURA CITADA

- Abadía Lozano, J. C., Arcila Cardona, Á. M., y Chacón de Ulloa, P. (2013). Hormigas en cultivos de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) de la costa Caribe de Colombia. *Biota Colombiana*, 14(3), 13–19. Recuperado de <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/299>.
- Acuña-Soto, J., Grifaldo-Alcántara, F. P., Muñoz-Viveros, A. L., y Vanegas-Rico, J. M. (2023). Ants associated with prickly pear cactus crop in Texcoco, State of Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 25. Recuperado de <https://jpacd.org/jpacd/article/view/510>.
- Alvis, L., y García-Marí, F. (2006). Identification and abundance of ants (Hymenoptera: Formicidae) in citrus trees from Valencia (Spain). *IOBC/WPRS Bulletin*, 29(3), 111.
- Andersen, A. N. (1997). Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: A comparison with Australia. *Journal of Biogeography*, 24(4), 433–460.
- Anjos, D. V., Tena, A., Torezan-Silingardi, H. M., Pekas, A., y Janssen, A. (2021). Ants affect citrus pests and their natural enemies in contrasting ways. *Biological Control*, 158, 104611. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104611>.
- Anjos, D. V., Tena, A., Viana-Junior, A. B., Carvalho, R. L., Torezan-Silingardi, H., Del-Claro, K., y Perfecto, I. (2022). The effects of ants on pest control: a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1981). <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1316>.
- Ansari, M., Moraiet, M., y Ahmad, S. (2014). Insecticides: impact on the environment and human health. En A. Malik, E. Grohmann, y R. Akhtar (Eds.), *Environmental Deterioration and Human Health* (cap. 6). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0_6.
- Armbrecht, I., y Armbrecht, H. (1997). Observaciones sobre la variación espacial y temporal de hormigas en un bosque del Chocó, Colombia (Arusi). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 5(2), 15–33.
- Avendaño-Gutiérrez, F. J., Escalante-Jiménez, A. L., Hernández Núñez, J. C., Reyes González, B., Vásquez-Bolaños, M., y Morales Guerrero, A. (2022). First report about ants associated with *Diaphorina citri* Kuwayama in Mexican lime (*Citrus aurantiifolia*

- Swingle) in the Apatzingán Valley, Michoacán, México. *AgroProductividad*, 15(4), 180–187. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2260>.
- Ávila Dorantes, J. A. (2021). Estrategia de los productores del sur de Yucatán para insertarse en la economía de mercado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 331–344. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2544>.
- Azevedo, F., de Freitas, D. D. S., Beltrame, W. S., & Feitosa, R. D. S. M. (2024). Diversidade de formigas epígeas em cultivo orgânico e convencional de *Citrus sinensis* na região noroeste do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 19(1), 38–52. <https://doi.org/10.33240/rba.v19i1.51711>.
- Badii, M. H., y Varela, S. (2008). Insecticidas organofosforados: efecto sobre la salud y el ambiente. *CULCyT-Toxicología de insecticidas*, 5(28), 5–17.
- Barlow, J., Franña, F., Gardner, T. A., Hicks, C. C., Lennox, G. D., Berenguer, E., Castello, L., Economo, E. P., Ferreira, J., Guánard, B., Gontijo Leal, C. L., Isaac, V., Lees, A. C., Parr, C. L., Wilson, S. K., Young, P. J., y Graham, N. A. J. (2018). The future of hyperdiverse tropical ecosystems. *Nature*, 559, 517–526. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0301-1>.
- Boina, D. R., Onagbola, E. O., Salyani, M., y Stelinski, L. L. (2009). Antifeedant and sublethal effects of imidacloprid on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Pest Management Science*, 65, 870–877.
- Bolton, B., Palacio, E. E., y Fernández, F. (2003). Morfología y glosario. En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Brandão, C. R. F., Silva, R. R., y Delabie, J. H. C. (2012). Neotropical Ants (Hymenoptera) Functional Groups: Nutritional and Applied Implications. En A. R. Panizzi y J. R. P. Parra (Eds.), *Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management* (pp. 213–236). CRC Press.
- Calabuig, A., García-Marí, F., y Pekas, A. (2015). Ants in citrus: impact on the abundance, species richness, diversity and community structure of predators and parasitoids. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 213, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.024>.
- Canedo-Júnior, E. O., Monteiro, Â. B., de Queiroz, A. C. M., y Silva, G. S. (2019). Aphid-tending ants and their effects on natural enemies used in biological control. En *Natural*

Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems: Biological Control and Functional Biodiversity (pp. 523–533). Elsevier.

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

Dáttilo, W., Vásquez-Bolaños, M., Ahuatzin, D. A., Antoniazzi, R., Chávez-González, E., Corro, E., Luna, P., Guevara, R., Villalobos, F., Madrigal-Chavero, R., Falcão, J. C. D. F., Bonilla-Ramírez, A., Romero, A. R. G., de la Mora, A., Ramírez-Hernández, A., Escalante-Jiménez, A. L., Martínez-Falcón, A. P., Villarreal, A. I., Sandoval, A. G. C., Aponte, B., Juárez-Juárez, B., Castillo-Guevara, C., Moreno, C. E., Albor, C., Martínez-Tlapa, D. L., Huber-Sannwald, E., Escobar, F., Montiel-Reyes, F. J., Varela-Hernández, F., Castaño-Meneses, G., Pérez-Lachaud, G., Pérez-Toledo, G. R., Alcalá-Martínez, I., Rivera-Salinas, I. S., Chairez-Hernández, I., Chamorro-Florescano, I. A., Hernández-Flores, J., Toledo, J. M., Lachaud, J., Reyes-Muñoz, J. L., Valenzuela-González, J. E., Horta-Vega, J. V., Cruz-Labana, J. D., Reynoso-Campos, J. J., Navarrete-Heredia, J. L., Rodríguez-Garza, J. A., Pérez-Domínguez, J. F., Benítez-Malvido, J., Ennis, K. K., Sáenz, L., Díaz-Montiel, L. A., Tarango-Arámbula, L. A., Quiroz-Robedo, L. N., Rosas-Mejía, M., Villalvazo-Palacios, M., Gómez-Lazaga, M., Cuautle, M., Aguilar-Méndez, M. J., Baena, M. L., Madora-Astudillo, M., Rocha-Ortega, M., Pale, M., García-Martínez, M. A., Soto-Cárdenas, M. A., Correa-Ramírez, M. M., Janda, M., Rojas, P., Torres-Ricario, R., Jones, R. W., Coates, R., Gómez-Acevedo, S. L., Ugalde-Lezama, S., Philpott, S. M., Joaqui, T., Marques, T., Zamora-Gutierrez, V., Martínez Mandujano, V., Hajian-Forooshani, Z., y MacGregor-Fors, I. (2020). Mexico ants: incidence and abundance along the Nearctic-Neotropical interface. *Ecology*, 101(4), e02944. <https://doi.org/10.1002/ecy.2944>.

De Almeida, T., Blight, O., Mesléard, F., Bulot, A., Provost, E., y Dutoit, T. (2020). Harvester ants as ecological engineers for Mediterranean grassland restoration: impacts on soil and vegetation. *Biological Conservation*, 245, 108547. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108547>.

De Vega, C., y Gómez, J. M. (2014). Polinización por hormigas: conceptos, evidencias y futuras direcciones. *Ecosistemas*, 23(3), 48–57.

- Della Lucia, T. M. C. (2003). Hormigas de importancia económica en la región Neotropical. En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Instituto Alexander von Humboldt.
- Delnevo, N., van Etten, E. J., Clemente, N., Fogu, L., Pavarani, E., Byrne, M., y Stock, W. D. (2020). Pollen adaptation to ant pollination: a case study from the Proteaceae. *Annals of Botany*, 126(3), 377–386. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa058>
- Diamé, L., Rey, J. Y., Vayssières, J. F., Grechi, I., Chailleux, A., y Diarra, K. (2017). Ants: Major functional elements in fruit agro-ecosystems and biological control agents. *Sustainability*, 10(1), 23. <https://doi.org/10.3390/su10010023>.
- Duffy, J. E., Cardinale, B. J., France, K. E., McIntyre, P. B., Thébault, E., y Loreau, M. (2007). The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecology Letters*, 10(6), 522–538. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01037.x>.
- Emmerson, M., Morales, M. B., Oñate, J. J., Batary, P., Berendse, F., Liira, J., Aavik, T., Guerrero, I., Bommarco, R., Eggers, S., Pärt, T., Tschardtke, T., Weisser, W., Clement, L., y Bengtsson, J. (2016). How agricultural intensification affects biodiversity and ecosystem services. *Advances in Ecological Research*, 55, 43–97.
- Ferreira, M. I. (2024). Enhanced species diversity unlocked by habitat conservation in agricultural landscapes: New perspectives on ecological weed management and sustainable intensification species diversity and habitat conservation. *Open Journal of Ecology*, 14(8), 585–603.
- Fisher, B., y Ward, P. S. (2018). AntWeb. California Academy of Sciences. Recuperado de <https://www.antweb.org/>.
- Fontenla, J. L., y Alfonso-Simonetti, J. (2018). Classification of Cuban ants (Hymenoptera: Formicidae) into functional groups. *Poeyana*, 506, 21–30.
- Food and Agriculture Organization. (2016). *Citrus Fruit Statistics 2015*. Recuperado de [https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/food-and-agriculture-market-analysis-\(FAMA\)/citrus/3/en](https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/food-and-agriculture-market-analysis-(FAMA)/citrus/3/en).
- García-Martínez, M. Á., Martínez-Tlapa, D. L., Pérez-Toledo, G. R., Quiroz-Robledo, L. N., Castaño-Meneses, G., Laborde, J., y Valenzuela-González, J. E. (2015). Taxonomic, species and functional group diversity of ants in a tropical anthropogenic landscape.

- Gómez-Otamendi, E., Ortiz-Arteaga, Y., Ávila-Gómez, E. S., Pérez-Toledo, G., Valenzuela, J., y Moreno, C. E. (2018). Diversidad de hormigas epigeas en cultivos de nopal tunero (*Opuntia albicarpa*) y matorrales de *Opuntia* spp. del estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(2), 454–465. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2293>.
- Griffiths, H. M., Ashton, L. A., Walker, A. E., Hasan, F., Evans, T. A., Eggleton, P., y Parr, C. L. (2018). Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. *Journal of Animal Ecology*, 87(1), 293–300. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12728>.
- Groc, S., Delabie, J. H. C., Fernández, F., Leponce, M., Orivel, J., Silvestre, R., Vasconcelos, H. L., y Dejean, A. (2014). Leaf–litter ant communities (Hymenoptera: Formicidae) in a pristine Guianese rain-forest: stable functional structure versus high species turnover. *Myrmecological News*, 19, 43–51.
- Guénard, B., Weiser, M., Gómez, K., Narula, N., y Economo, E. P. (2017). The Global Ant Biodiversity Informatics (GABI) database: synthesizing data on the geographic distribution of ant species (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 24, 83–89.
- Guzmán-Mendoza, R., Zavala-Hurtado, J. A., Castaño-Meneses, G., y León-Cortés, J. L. (2014). Comparación de la mirmecofauna en un gradiente de reforestación en bosques templados del centro-occidente de México. *Madera y Bosques*, 20(1), 71–83.
- Hart, R. D. (1985). Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hernández-Ruiz, P., Castaño-Meneses, G., y Cano-Santana, Z. (2009). Composition and functional groups of epiedaphic ants (Hymenoptera: Formicidae) in irrigated agroecosystem and in nonagricultural areas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(8), 904–910.
- Hölldobler, B. y Wilson, E. (1990). *The Ants*. The Belknap Press of Harvard University Press Cambridge, Massachusetts.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2024: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Jayaprakas, C. A., Tom, J., y Sreejith, S. (2023). Impact of insecticides on man and environment. En P. V. Mohanan y S. Kappalli (Eds.), *Biomedical Applications and*

- Toxicity of Nanomaterials. (28, pp. 751–768). Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-19-7834-0_28.
- Jiménez, E., Fernández, F., Arias, T. M., y Lozano-Zambrano, F. H. (2008). Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Jones, S. K., Sánchez, A. C., Beillouin, D., Juventia, S. D., Mosnier, A., Remans, R., y Carmona, N. E. (2023). Achieving win-win outcomes for biodiversity and yield through diversified farming. *Basic and Applied Ecology*, 67, 14-31.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.12.005>.
- Kaspari, M. (2003). Introducción a la ecología de las hormigas. En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical* (pp. 233-260). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Keller, L., y Gordon, E. (2006). *La vie des Fourmis*. Odile Jacob: Paris, France.
- Kernecker, M., Felipe Lucía, M., Westphal, C., y Hass, A. (2024). Managing agrobiodiversity: Integrating field and landscape scales for biodiversity-yield synergies. *Basic Appl. Ecol.*, 75, 26-30, <https://doi.org/10.1016/j.baae.2024.01.001>.
- Koleff, P., Soberón, J., Arita, H. T., Dávila, P., Flores Villela, O., Golubov, J., Halffter, G., Lira Noriega, A., Moreno, C. E., Moreno, E., Munguía, M., Navarro-Sigüenza, A. G., Téllez, O., Ochoa-Ochoa, L., Peterson, A. T., y Rodríguez, P. (2008). Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En J. Soberón, G. Halffter, y J. Llorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad (pp. 323-364). CONABIO, México.
- León, G. (2012). Insectos de los cítricos. En Corporación Universitaria Lasallista (Eds.), *Cítricos: cultivo, postcosecha e industrialización* (Cap. 5, pp. 129-161). Serie Lasallista Investigación y Ciencia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural / CORPOICA y Universidad de Antioquia. Colombia.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D., Huston, M., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., y Wardle, D. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294(5543), 804-808. <https://doi.org/10.1126/science.1064088>.

- Lozano, C. M. G., y Jasso, A. J. (2012). Identificación de enemigos naturales de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en el estado de Yucatán, México. *Fitosanidad*, 16(1), 5-11.
- Lozano-Zambrano, F. H., Ulloa-Chacón, P., y Armbrrecht, I. (2009). Hormigas: relaciones especies-área en fragmentos de bosque seco tropical. *Neotropical Entomology*, 38(1), 44-54. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000100004>.
- Manson, R. H., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S., y Mehlreter, K. (2008). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México.
- Martínez Hernández, E. (2021). Diversidad de Formícidos asociados a agroecosistemas de maíz, café y naranja en Huejutla, Hidalgo. [Tesis de licenciatura, Instituto tecnológico de Huajutla].
- Montoya-Lerma, J., Giraldo-Echeverri, C., Armbrrecht, I., Farji-Brener, A., y Calle, Z. (2012). Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. *International Journal of Pest Management*, 58(3), 225-247. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.663946>.
- Moreau, C. S., y Bell, C. D. (2013). Testing the museum versus cradle tropical biological diversity hypothesis: Phylogeny, diversification, and ancestral biogeographic range evolution of the ants. *Evolution*, 67(8), 2240-2257. <https://doi.org/10.1111/evo.12105>
- Offenberg, J. (2015). Ants as tools in sustainable agriculture. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1197-1205. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12496>.
- Ortiz, D. P., Elizalde, L., y Pirk, G. I. (2021). Role of ants as dispersers of native and exotic seeds in an understudied dryland. *Ecological Entomology*, 46(3), 626-636. <https://doi.org/10.1111/een.13010>.
- Padilla-Vega, J., Jiménez Osornio, J. J., y Estrada Medina, H. (2015). Análisis de la estructura vegetal de huertas frutícolas del sur de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7), 1443-1454.
- Parker, J., y Kronauer, D. J. C. (2021). How ants shape biodiversity. *Current Biology*, 31(19), 1208-1214. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.015>.
- Pérez-Rodríguez, J., Pekas, A., Tena, A., y Wäckers, F. L. (2021). Sugar provisioning for ants enhances biological control of mealybugs in citrus. *Biological Control*, 157, 104573. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104573>.

- Philpott, S. M., y Armbrrecht, I. (2006). Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology*, 31(4), 369-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x>.
- Piedra Campoverde, G., Lattke Bravo, J., y Santín, J. R. (2016). Patrones de diversidad de hormigas en el bosque nublado de las reservas arcoíris y el madrigal, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*. 6(2): 16-31.
- Reddell, J. R., y Cokendolpher, J. C. (2001). Ants (Hymenoptera: Formicidae) from the caves of Belize, Mexico, and California and Texas (U.S.A.). *Texas Memorial Museum Speleological Monographs*, 5, 129–154.
- Reyes López, J. L. (2000). Dispersión secundaria de semillas por hormigas (Hymenoptera: Formicidae): nuevos ejemplos en ecosistemas mediterráneos. *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 24(3-4), 201-203.
- Ritchie, H., y Roser, M. (2019). Land Use. How is humanity using the Earth's land? And how can we decrease our land use so that more land is left for wildlife. *Our World in Data*. Recuperado de <https://ourworldindata.org/land-use>.
- Rodríguez de León, I. R., Venegas Barrera, C. S., Gaona García, G., Azuara Domínguez, A., y Rosas Mejía, M. (2023). Ants of Mexico: Distribution and species richness in environments with varying levels of human impact. *Biodiversity Data Journal*, 11, e109794. <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e109794>.
- Rodríguez Elizalde, I. de J. (2019). Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en zonas de uso forestal y agroecosistemas del municipio de Calvillo, Aguascalientes, México: composición, grupos funcionales y tratamiento sistemático [Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara].
- Rodríguez-Garza, J. A. (2008). Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del estado de Yucatán: nuevos registros. *Entomología Mexicana*, 7, 1006-1008.
- Roeder, K. A., y Harmon-Threatt, A. N. (2022). Woody perennial polycultures increase ant diversity and ant-mediated ecosystem services compared to conventional corn-soybean rotations. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 336, 108025. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108025>.
- Rojas, P. (2001). Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), Número especial, 1, 189-238.

- Santos, de J., R., Dodonov, P., y Delabie, J. H. C. (2021). Effects of habitat conversion on ant functional groups: A global review. *Sociobiology*, 68(2), e6071. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i2.6071>.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., de la Maza, J., Pisanty, I., Urquiza, T., Ruiz, S., y García, G. (2017). Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2020). Plagas reglamentadas de los cítricos. Consultado el 01 junio 2025, Recuperado de <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-de-los-citricos-110863>.
- Serna, F., Mera-Rodríguez, D., Ramírez, K., y Gaigl, A. (2019). Hormigas de mayor impacto en la agricultura colombiana. En F. Fernández, T. Delsinne, y R. Guerrero (Eds.), *Hormigas de Colombia* (1115-1148). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2025). Avances de Siembras y Cosechas. Recuperado de <https://www.siap.gob.mx>.
- Silvestre, R., Brandão, C. R. F., y Rosa da Silva, R. (2003). Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical* (pp. 113–148). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- Snyder, W. E. (2019). Give predators a complement: Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. *Biological Control*, 135, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.017>.
- Sofo, A., Mininni, A. N., y Ricciuti, P. (2020). Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agro-systems. *Agronomy*, 10(4), 456. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040456>.
- Swift, M. J., Vandermeer, J., Ramakrishnan, P. S., Anderson, J. M., Ong, C. K., y Hawkins, B. A. (1997). Biodiversity and agroecosystem function. En H. A. Mooney, J. H.

- Cushman, E. Medina, O. E. Sala, y E. D. Schulze (Eds.), Functional roles of biodiversity: A global perspective (pp. 261–298). Wiley-Blackwell / Springer-Verlag.
- Tennant, P. F., Robinson, D., Fisher, L., Bennett, S. M., Hutton, D., Coates-Beckford, P., y McLaughlin, W. (2009). Diseases and pests of citrus (*Citrus* spp.). *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 3(2), 81–107.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., y Lecocq, T. (2021). When more is more: Taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews*, 96(2), 767–784. <https://doi.org/10.1111/brv.12677>.
- Torchote, P., Sitthicharoenchai, D., y Chaisuekul, C. (2010). Ant species diversity and community composition in three different habitats: Mixed deciduous forest, teak plantation and fruit orchard. *Tropical Natural History*, 10(1), 37–51.
- Trejo Vázquez, I. (1998). El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones Geográficas*, 39, 40–52.
- Urbaneja, A., Grout, T. G., Gravena, S., Wu, F., Cen, Y., y Stansly, P. A. (2020). Citrus pests in a global world. En M. Talon, M. Caruso, y F. G. Gmitter (Eds.), *The genus Citrus* (Cap. 16, pp. 333–348). Woodhead Publishing, Sawston. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00016-4>.
- U. S. Department of Agriculture (USDA). (2024). Citrus: World markets and trade. Foreign Agricultural Service. Recuperado de <https://www.fas.usda.gov/data/citrus-world-markets-and-trade-07252024>.
- Valencia Sandoval, K., y Duana Ávila, D. (2019). Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica. *Análisis Económico*, 34(87), 269–283.
- Van Der Plas, F. (2019). Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities. *Biological Reviews*, 94(4), 1220–1245. <https://doi.org/10.1111/brv.12499>.
- Van Mele, P., Vayssières, J. F., Adandonon, A., y Sinzogan, A. (2009). Ant cues affect the oviposition behaviour of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Africa. *Physiological Entomology*, 34(3), 256–261. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2009.00685.x>.
- Vandermeer, J. H., y Perfecto, I. (2012). Syndromes of production in agriculture: prospects for social-ecological regime change. *Ecology y Society*, 17(4), 39. <https://doi.org/10.5751/ES-04813-170439>.

- Vásquez-Bolaños, M. (2015). Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. *Métodos en Ecología y Sistemática*, 10(1), 1–53.
- Villarreal Guerrero, A. I. (2021). Variación espacio-temporal de la diversidad de hormigas (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) en dos zonas de selva baja caducifolia en Mérida, Yucatán, México. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán].
- Wheeler, W. M. (1938). Ants from the caves of Yucatán. *Carnegie Institution of Washington Publication*, 491, 251–255.
- World Citrus Organisation (WCO). (2022). Citrus world statistics. Recuperado de <https://worldcitrusorganisation.org/new-citrus-world-statistics-publication-boosts-citrus-sector-information-exchange-in-the-world-citrus-organisation/>.
- Zina, V. M. H. L. F. (2008). Formigas (Hymenoptera, Formicidae) associadas a pomares de citrinos na região do Algarve [Tesis de maestría, Universidade Técnica de Lisboa].
- Zina, V., Branco, M., y Franco, J. C. (2017). Ant community associated to citrus canopy in Southern Portugal over a century after the invasion by the Argentine ant. *Phytoparasitica*, 45, 183–200. <https://doi.org/10.1007/s12600-017-0582-1>

CAPÍTULO 2

DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y FUNCIONAL DE HORMIGAS EN POLICULTIVOS DE NARANJA DULCE

Villarreal Guerrero, A. I.¹⁺, Cicero Jurado L.^{2*}, González Moreno, A.¹⁻, Tun Suárez, J. M¹.

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal. División de estudios de posgrado e investigación. Avenida Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México. C.P. 97345.

²INIFAP, C.E. Mocochoá, km 25 antigua carretera Mérida-Motul, Mocochoá, Yucatán, México. C.P. 97454.

⁺Primer autor: aivguerrero96@gmail.com; ⁻Director de tesis: alejandra.gm@conkal.tecnm.mx; ^{*} Autor de correspondencia: cicero.lizette@inifap.gob.mx

RESUMEN

Las hormigas son organismos frecuentes en los agroecosistemas y proveen servicios ecosistémicos esenciales como la bioturbación del suelo y la regulación de las poblaciones de insectos. El tipo de manejo en los agroecosistemas influye en la complejidad y diversidad de nichos ecológicos y, en consecuencia, en la diversidad de especies. El presente estudio tiene como objetivo analizar la diversidad taxonómica y funcional de hormigas en árboles de naranja dulce en niveles de policultivos con diferente riqueza vegetal. Se realizaron muestreos en la zona citrícola al sur del estado de Yucatán en 15 huertas de naranja dulce clasificadas en tres niveles ascendentes de policultivo según su riqueza vegetal: P_nivel 1, P_nivel 2 y P_nivel 3. La colecta de hormigas se realizó manualmente cada quince días en diez árboles por huerta durante un año. Se identificaron 18,308 individuos pertenecientes a siete subfamilias, 29 géneros y 72 especies/morfoespecies (60 /12). La mayor riqueza se registró en P_nivel 2 (58), seguido de P_nivel 3 (53) y P_nivel 1 (50). Se obtuvo un esfuerzo de muestreo con más de 80 % de las especies estimadas, siendo *Crematogaster torosa* y *Ectatomma tuberculatum* las especies más frecuentes en los tres niveles de policultivo. Se encontraron diferencias en la riqueza predicha, pero no en las diversidades del orden 0 (riqueza), y 1 (especies comunes). En la diversidad del orden 2 (especies dominantes), existe una diferencia marginal entre P_nivel 1 (18.17 ± 0.65) y P_nivel 3 (20.45 ± 0.54 especies), este último también presentó la mayor equidad ($E_1 = 0.53$, $E_2 = 0.39$). Los resultados sugieren que las huertas más diversas en cuanto cultivos no necesariamente incrementan la diversidad

total de hormigas, sí favorecen una mayor riqueza de especies, una composición funcional más rica y una mayor estabilidad temporal. Como se ha reportado en otros estudios, la diversificación de los cultivos brinda condiciones más estables. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los grupos funcionales, esto puede ser algo positivo, debido a la gran cantidad de registros de especies depredadoras y omnívoras arbóreas quienes podrían estar actuando como controladores biológicos. En conclusión, los sistemas diversificados representan importantes reservorios de diversidad tanto taxonómica como funcional. Sin embargo, se requiere mayores investigaciones para dilucidar los efectos de las comunidades de hormigas en las huertas citrícolas de Yucatán.

Palabras clave: Formicidae, agroecosistemas, cítricos, diversidad funcional, ecología.

ABSTRACT

Ants are common organisms in agroecosystems and provide essential ecosystem services such as soil bioturbation and the regulation of insect populations. The type of management practiced in agroecosystems influences the complexity and diversity of ecological niches and, consequently, species diversity. The objective of this study was to analyze the taxonomic and functional diversity of ants in sweet orange trees under polyculture systems with different levels of plant richness. Sampling was conducted in the citrus-growing region in the southern part of Yucatán State, across 15 sweet orange orchards classified into three ascending levels of polyculture according to their plant richness: P_level 1, P_level 2, and P_level 3. Ants were manually collected every fifteen days from ten trees per orchard over the course of one year. A total of 18,308 individuals were identified, belonging to seven subfamilies, 29 genera, and 72 species/morphospecies (60/12). The highest species richness was recorded in P_level 2 (58), followed by P_level 3 (53) and P_level 1 (50). Sampling coverage exceeded 80% of the estimated species, with *Crematogaster torosa* and *Ectatomma tuberculatum* being the most frequent species across the three polyculture levels. Differences were found in predicted richness, but not in diversity of order 0 (richness) and order 1 (common species). For order 2 diversity (dominant species), a marginal difference was observed between P_level 1 (18.17 ± 0.65) and P_level 3 (20.45 ± 0.54 species); the latter also showed the highest evenness ($E_1 = 0.53$, $E_2 = 0.39$). The results suggest that more diverse orchards in terms of crop composition do not necessarily increase

the overall diversity of ants; however, they do promote greater species richness, a richer functional composition, and higher temporal stability. As reported in previous studies, crop diversification provides more stable environmental conditions. Although no significant differences were found among functional groups, this may be a positive outcome, given the high number of records of predatory and arboreal omnivorous species, which could be acting as biological control agents. In conclusion, diversified systems represent important reservoirs of both taxonomic and functional diversity. Nevertheless, further research is required to elucidate the effects of ant communities on citrus orchards in Yucatán.

Keywords: Formicidae, agroecosystems, citrus, functional diversity, ecology.