



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Distribución altitudinal de hormigas en una vertiente de la
Sierra Montenegro, Morelos, México.

TESIS PROFESIONAL

**B I Ó L O G O
P R E S E N T A:
SAMUEL ANTONIO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**

DIRECTOR: DR. FERNANDO VARELA HERNÁNDEZ

CUERNAVACA, MORELOS

NOVIEMBRE, 2020

Cuernavaca, Mor., __a__29 de octubre de 2020__

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES, UAEM.
P R E S E N T E.

Por este conducto comunico a Usted, que he revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **C. SAMUEL ANTONIO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**, con el título del trabajo **Distribución altitudinal de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro, Morelos, México**. En calidad de miembro de la comisión revisora, expreso la siguiente decisión:

VOTO A FAVOR: a favor

VOTO EN CONTRA: _____

NECESITA AGREGAR O ELIMINAR ALGO: _____

COMENTARIOS: _____

A T E N T A M E N T E

DR. FERNANDO VARELA HERNÁNDEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FERNANDO VARELA HERNANDEZ | Fecha:2020-10-29 10:34:47 | Firmante

VXK1t6EUngT+fN4kX7jPwT9V4Yt3WseZQrPEuH19LGWBXru71632si1non93CPPxRXDvd+R9yIFfNo6xHV5HGxmC5o5RG4Gcuelgybq+RZIAEW8AsWCtvqmr0y1DSBgVugXzwMZ82TAvGWzsD0uG4CFWF4fD1FjX52pd/41QS/Teg+dzP8w7do8ZrA/CCfNqt9UG41L5v6cQhf6eqQqzf9DkqrV2ZE8snAjWzvHlx7NwinOdcIwmzL/IGFHdHGslch9gm9oumPG/NHBJ2B70f9Xg+z8CaQCjDHqt1DHcckLwsBYdpCTpecdUHpx9/DgWR4YYF21fFM8G01cCbasxQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ytXTvH

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/7207LpTTddr8z6iqldMLo0gFYL3Pnaby>



Cuernavaca, Mor., ____3 de noviembre de 2020____

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES, UAEM.
P R E S E N T E.

Por este conducto comunico a Usted, que he revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **C. SAMUEL ANTONIO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**, con el título del trabajo **Distribución altitudinal de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro, Morelos, México**. En calidad de miembro de la comisión revisora, expreso la siguiente decisión:

VOTO A FAVOR: _____ **SI** _____

VOTO EN CONTRA: _____

NECESITA AGREGAR O ELIMINAR ALGO: _____

COMENTARIOS: _____

ATENTAMENTE



DR. FRANCISCO RIQUELME ALCANTAR



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FRANCISCO RIQUELME ALCANTAR | Fecha:2020-11-04 10:34:49 | Firmante

L6kd6g1VRg4mvRvUi3IUqo+XegydmUVNAf3izZGY7NycNExcjGYQqYxlypRpJBB0ZvkTZbnTyljSpPsVS0TFwomjwGLEEjaUDQ/tW5TPu+iLpotrkDq4YYrc6uy6UFTXIPCKidzmtc
svD1KoLILcVWw+yIrlE8FgqUdZTqhLxhf5JCqa5q5fEIO7ex5f+vBDQFle1G0admCD98mlUw3sSxn5+NjSSbzbeDxNbRxUxjau/RW5HEW5FZg+0BtjENLkjlSeQxvZoT2aEYTH6GPa
DPg76TsoplStkNgh8oqQgmmluz4naZfumkgBp2QzvfTYDFy0XkiY6NOolqOoJd0XSw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



DX86mc

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/APWObhSNSqY7R1uBjVnbfIXhb9m05Z1f>



Cuernavaca, Mor., a 09 de noviembre de 2020

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES, UAEM.
P R E S E N T E.

Por este conducto comunico a Usted, que he revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **C. SAMUEL ANTONIO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**, con el título del trabajo **Distribución altitudinal de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro, Morelos, México**. En calidad de miembro de la comisión revisora, expreso la siguiente decisión:

VOTO A FAVOR: **X** _____

VOTO EN CONTRA: _____

NECESITA AGREGAR O ELIMINAR ALGO: _____

COMENTARIOS: _____

A T E N T A M E N T E

DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

EFRAIN TOVAR SANCHEZ | Fecha:2020-11-09 14:54:06 | Firmante

xG4sKXWhaRNubK0m5J+32YA2Fj+9FGCSHSZ1xEEogWEDUL8iVR28TdNitZqbvHex0TLCLicMRIT52pz2koReBS5IDhW5zwzbg5gU3ifq5ecPopaqVtLtb2dsL9VL5+duBy80fo
dhx+Xv8LAt/HheBaTqJRLwpYSnemnEhfcAut5NgTEdqmeD/Pc/9d0WzjuuRNqP+5B1n/KEk02cGJVGu1Hj5lIp7IbMpKriBsVVsHNDtOztuxqEHVVrIT0o4Qp9gbUTjSztU2fQqdWk
tU0mxaYpEfwqeEtD7ZrwgBmhFAkrJLCXFP0lhZMPv7vJgl4JO6D1/VLgEPTQWhFFuQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[jqdiDY](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/yvIrDkU92Q62pfnAlqavis31PNrD2S2U>



Cuernavaca, Mor., a 29 de octubre de 2020

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES, UAEM.
P R E S E N T E.

Por este conducto comunico a Usted, que he revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **C. SAMUEL ANTONIO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**, con el título del trabajo **Distribución altitudinal de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro, Morelos, México**. En calidad de miembro de la comisión revisora, expreso la siguiente decisión:

VOTO A FAVOR: A FAVOR

VOTO EN CONTRA: _____

NECESITA AGREGAR O ELIMINAR ALGO: _____

COMENTARIOS: _____

A T E N T A M E N T E

DR. JUAN MANUEL RIVAS GONZÁLEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JUAN MANUEL RIVAS GONZALEZ | Fecha:2020-10-29 15:43:41 | Firmante

blnXtHvWZHTbTGhy3mZ4UddV+k6KvMthetqlyOWKailSQBQpQdix7FRm3Pj0LKnLMDspEeGS6qr9C0/sxziBR9D1p4zKXcngCeWb8W17ZXVoKnBYAclddisTQtx0oWT++VKoFog
O5FdUw2NehckzY5CLRvU4YVET1qpdkj9rrhytJxwChk60WqbSNQJ8JH9eMnNMO52qFzA3/RKWWlBcqmpaMFi8bEqO9dVJnLx+IwI4UOcOXgguKiIVjfdflzPunKa3rqzZwOoVAUj
vhHclXFr9cfmFL6Etqqvs/bRDqIR8ZJqnj0hOOKWx+q7FzansqPws89Uryg2joV8Vssbkrq==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



E34NLR

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/OM8hJFyI87hHmbvbLgVdTv3bMPDNpYSk>



Cuernavaca, Mor., 09 de noviembre de 2020

DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE
DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES, UAEM.
P R E S E N T E.

Por este conducto comunico a Usted, que he revisado el documento que presenta el Pasante de Biólogo: **C. SAMUEL ANTONIO HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**, con el título del trabajo **Distribución altitudinal de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro, Morelos, México**. En calidad de miembro de la comisión revisora, expreso la siguiente decisión:

VOTO A FAVOR: Si

VOTO EN CONTRA: _____

NECESITA AGREGAR O ELIMINAR ALGO: _____

COMENTARIOS: _____

A T E N T A M E N T E

BIÓL. JOSÉ ERNESTO GASPAR DOMÍNGUEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JOSE ERNESTO GASPAR DOMINGUEZ | Fecha:2020-11-09 14:30:25 | Firmante

PQK9goEORMBVY9WG6dWAmnJQeunFLu0I3jGOyC2uhWYGV2MaXbN8qBVrdJdPEE6sk0FrC+a69YRTic2aEDA0SInNI9qsYXhCX80YufgoKWf/YZHhUAtBkbnL7P1q5PNShJ+9Gs+IRBD8HwqHWqQmiiQ3RxuejvSHpK2IYXCbfe5O2H1h43/Bf0IJz9gxJSSkPBTEYnJoQ1F6X0+U2OhFRhbWxkyYNO5KkDjAtwgowDSTmVTI35hxKejz7IPzsXNKJHONgBN6mH/vxvJunNQf6KryOWNPOmKCCJQ0khTeD6LLtm+wbD+Bz9G/pPyS7jLE+gzxJ8kYzAxLLQuFJzzw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



AtC04K

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/tJZOVrif6QKAxdJ8KP9cZgsVxVYXLxQi>



Dedicado a los genios del L' Atelier

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi director de tesis, Dr. Fernando Varela por la dedicación que me ha brindado para concluir con este trabajo.

A mis sínodos, Dr. Efraín Tovar, Dr. Manuel Rivas, Dr. Francisco Riquelme y Biól. Ernesto Gaspar por sus valiosas observaciones.

A mis tíos, Jesús y Roberto por ser tan pacientes conmigo y por brindarme su apoyo incondicionalmente.

A mi amigo el Dr. Jaime Hernández que me proporcionó material para realizar mis recolectas y me dedicó unas horas de su tiempo en enseñarme a utilizar algunos programas.

Al Dr. Fortis por el tiempo que me dedicó en esclarecerme las dudas en bioestadística.

Al Biól. Juan Rodríguez por enseñarme la ruta de muestreo.

A mis negros (Ányelo y David), al chilango (Neftali) y al Ramses, los amigos que me acompañaron y ayudaron a realizar las recolectas.

Por último, quiero agradecer a Riot Games por mantener su juego de manera gratuita ya que me sirvió en los momentos de bloqueo, estrés y ansiedad.

Índice

Resumen:	1
Efecto de los factores físicos y procesos biológicos sobre las comunidades bióticas en gradientes altitudinales	2
Importancia ecológica de las hormigas	5
Grupos funcionales	9
Ubicación taxonómica y morfología externa de las hormigas	11
Antecedentes	13
Justificación	15
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos particulares	16
Hipótesis	16
Materiales y métodos	16
Área de estudio	16
Trabajo de campo	18
Trabajo de gabinete	19
Análisis de datos	20
Resultados	23
Discusión	33
Literatura citada	44
Anexos	61

Resumen:

Los gradientes altitudinales se definen como la elevación en la que se encuentra un sitio con respecto al nivel del mar y donde diversos factores físicos y biológicos afectan la distribución de la biodiversidad, lo que genera que esta no se comporte de manera homogénea, sino más bien de manera heterogénea siguiendo determinados patrones. Las hormigas forman un excelente modelo de estudio en los gradientes altitudinales, ya que se son abundantes, ocupan diferentes estratos de la vegetación y taxonómicamente han sido uno de los grupos de insectos más estudiados. Algunas especies son consideradas claves dentro de los ecosistemas debido a las interacciones que establecen con otros animales y plantas, cuentan con una gran diversidad de grupos funcionales, así como sitios de nidificación. A nivel ecológico participan en la aireación del suelo, la herbivoría, la dispersión de semillas y control de otros insectos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la altitud sobre las comunidades de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro. La recolecta se llevó a cabo con trampas de caída. El material recolectado se separó a morfoespecies, se contaron y se montaron para su identificación. Se capturó un total de 2681 ejemplares pertenecientes a 7 subfamilias, 18 géneros y 33 especies, siendo Myrmicinae la subfamilia mayor representada. No hubo una diferencia significativa en cuanto a abundancia relativa entre niveles altitudinales, pero sí hubo diferencia significativa entre la composición; siendo *Solenopsis* sp. 1, *Pheidole morelosana*, *Pheidole tolteca*, *Pheidole* sp. 1 y *Solenopsis geminata* las más abundantes. Se concluyó que la Sierra Montenegro cuenta con sitios de forrajeo, anidación y alimento óptimos para las comunidades de hormigas, por lo cual los patrones de distribución no se presentan de manera heterogénea, por último, se observó que el sitio de muestreo conserva diversos recursos bióticos para mantener la biodiversidad de diversos organismos entre ellos los insectos que contribuyen a la cadena trófica.

Palabras clave: Biodiversidad, grupos funcionales, hormigas, niveles altitudinales, patrones de distribución, Sierra Montenegro.

Introducción

Efecto de los factores físicos y procesos biológicos sobre las comunidades bióticas en gradientes altitudinales

Los gradientes altitudinales se definen como la elevación en la que se encuentra un sitio con respecto al nivel del mar y se han visto como análogos a los gradientes latitudinales, ya que existen ciertos factores físicos y procesos biológicos que son comparables tanto altitudinal, como latitudinalmente. Algunos de estos factores y/o procesos son el clima, la productividad primaria, la disponibilidad de hábitat, las interacciones bióticas, la historia evolutiva de los organismos (Rahbek, 1995; Morales-Catilla y García Valdés, 2014; Dunn et al., 2009). Estos factores y/o procesos hacen que la distribución de la biodiversidad no se comporte de una forma homogénea, sino que presente una heterogeneidad que se comporte siguiendo determinados patrones (Gaston, 2000; Koleff et al., 2008). Rahbek (1995) y McCain (2009), por ejemplo, proponen cuatro patrones de distribución de la riqueza de especies para niveles altitudinales, los cuales se enlistan a continuación:

- 1.- La riqueza disminuye monótonicamente con el aumento de la elevación.
- 2.- La riqueza es máxima y constante en las partes bajas y posteriormente disminuye monótonicamente con la elevación.
- 3.- La riqueza es alta en elevaciones bajas, alcanza su máximo a la mitad del gradiente y después disminuye.
- 4.- La riqueza es máxima a la mitad del gradiente y disminuye hacia las partes bajas y altas.

De acuerdo con McCain y Grytnes (2010) los patrones más frecuentes observados en los niveles altitudinales han sido el 1 y 3, con respecto a las aves, mamíferos y diversos grupos de invertebrados (Kaspari y Kercher, 2000; Sanders y Gordon, 2003). No obstante, mamíferos de gran tamaño, algunas especies de aves y anfibios suelen ser más diversos en elevaciones más altas (Meiri y Dayan, 2003; Hu et al., 2011). Las diversas variables que afectan la distribución de estos organismos se deben a las variaciones climáticas, la disponibilidad de alimento, tipos de suelo, la humedad, la vegetación, la disponibilidad de agua e interacciones como la depredación y el parasitismo (Morales-Castilla y García-Valdés, 2014). Entre los grupos de invertebrados que se ven afectados por las variaciones entre los niveles altitudinales se encuentran los insectos. Lawton et al., (1987) sugieren cuatro razones por las que la riqueza de especies de insectos (entre ellos las hormigas) disminuye conforme aumenta los niveles altitudinales: menor extensión territorial de hábitat, menor diversidad de recursos, ambientes cada vez más desfavorables y productividad primaria reducida.

Tomando como variables la altitud y la aridez de los ecosistemas en diferentes escenarios, Kusnezov (1957), observó una disminución de especies de hormigas conforme se incrementa la altitud. También observó que la mayor abundancia de especies de hormigas se encuentra en las selvas tropicales.

La temperatura y la precipitación también están relacionadas respecto a los gradientes altitudinales. En el caso de la precipitación, por ejemplo, una abundante precipitación reduce las estacionalidades dentro del ecosistema creando diferentes

microclimas, lo que afecta a las comunidades de pequeños invertebrados (Amarasekare y Coutinho, 2014; Longino et al., 2019).

Otra de las hipótesis por la que se ve afectada la diversidad y abundancia de las hormigas en ambientes tropicales es la de “dominación” que trata sobre como comunidades de hormigas se ven afectadas por la disposición de alimento y la variación de metabolismo de cada especie, donde la especie más abundante dentro de una comunidad es la que tiene mayor fuente de alimento y la que menor gasto energético produce, esta variación metabólica en los niveles altitudinales se ve afectada por tres factores físicos: estacionalidad, temperatura y humedad (Blackburn y Gaston, 1997; Kaspari y Weiser, 2012; Longino et al., 2014).

McCain (2007) menciona que la energía disponible en los consumidores como las hormigas se basa en la productividad es decir los recursos bióticos y abióticos que componen el ecosistema, por ello, mientras mayor sea la altitud, menor será la productividad. Esta hipótesis fue cuestionada por Szewczyk y McCain (2019), ya que no aplica para elevaciones medias al predecir picos de diversidad observados en muchos estudios de hormigas en gradientes altitudinales y donde se concentra una mayor cantidad de cobertura vegetal.

Por último, se hipotetiza que la riqueza, diversidad y abundancia de hormigas está relacionada con su filogenia y el conservadurismo de nichos de las diferentes especies de hormigas en los gradientes altitudinales. Esta hipótesis ha sido la más aceptada para determinar la riqueza, abundancia y diversidad de hormigas, ya que aplica para elevaciones al nivel del mar como en elevaciones medias (Smith, 2015).

Aunque se han registrado especies de hormigas en montañas con niveles altitudinales de más de 4, 800 metros (Mani, 1968; Kusnezov, 1957), se sabe que en ambientes tropicales la mayor abundancia de hormigas por metro cuadrado se encuentra entre el nivel del mar hasta los 1500 m s.n.m y la mayor diversidad se concentra entre los 400 y 500 metros hasta los 1800 y 2000 m s.n.m , después de esto disminuye hasta el punto de encontrarse con parches libres de hormigas, esto se debe al cambio de clima, a las altas temperaturas en niveles altitudinales de más de 2000 metros, a la historia evolutiva de algunas especies y a la producción de recursos bióticos. En elevaciones a nivel del mar la diversidad de hormigas se ve reducida por la fragmentación del hábitat, una mayor presencia humana y mayor número de especies introducidas (Mani, 1968; Longino y Colwell, 2011; Achury et al., 2012; Longino, 2019).

Importancia ecológica de las hormigas

La variedad de sitios de nidificación, las interacciones que establecen con otros animales y plantas, así como una gran diversidad de grupos funcionales hacen que las hormigas sean consideradas especies clave, es decir, son muy importantes dentro de la cadena alimenticia y contribuyen más que otras especies de animales a mantener los procesos y equilibrio ecológico en un ecosistema (Folgarait, 1998).

Diversas especies de hormigas son terrestres por excelencia, por lo que es fácil encontrarlas distribuidas en el suelo (Rojas, 2001). Muchas de estas especies construyen túneles subterráneos que pueden estar divididos en tres tipos: 1) Nidos subterráneos. No muestran indicación alguna de su presencia, donde las especies se desarrollan completamente en el subsuelo y no forrajea en el exterior, en esta categoría se encuentran géneros como *Solenopsis*, *Hypoponera*, *Brachymyrmex* y

Acropyga; 2) Nidos parcialmente subterráneos. En este caso, las hormigas crean montículos en el suelo con tierra o con otros materiales orgánicos en los que viven gran parte de la colonia, por ejemplo, hormigas del género *Formica*, *Lasius* y algunas especies de *Solenopsis*. 3) Nidos subterráneos con orificio de salida. En esta categoría se encuentra la mayor parte de las especies de hormigas terrestres con obreras que forrajean en el exterior, sus nidos pueden estar rodeadas o no, de material orgánico como ramas, hojas secas y tierra. (Torossian y Humbert, 1982; Rojas 2003).

Cabe mencionar que los nidos (hormigueros) tienen gran importancia ecológica en el suelo ya que gracias a la creación de los túneles subterráneos contribuyen en la aireación y remoción del suelo, mismos donde transportan su alimento, depositan restos de comida y sus heces, por esta forma de vida provocan la alteración física y química del suelo beneficiando a las plantas y a otros organismos (Jones et al., 1994; Folgarait, 1998; Choate y Brummond, 2011). Hormigas como *Atta mexicana*, que son cortadoras de hojas, crean grandes parches de hormiguero que se convierten en pequeñas islas donde nacen ciertas especies de plantas que se diferencian de las plantas que se encuentran alrededor de ellos (Rojas, 2003; Rico- Gray y Oliveira, 2007).

Estudios realizados por Petal (1978) y Elmes (1991) demostraron que algunas especies de hormigas son muy resistentes en ambientes áridos y en sitios perturbados son de gran importancia ecológica, ya que son capaces de recuperar y restaurar los nutrientes del suelo. En este tipo de hábitat se encuentran presentes en mayor abundancia las hormigas recolectoras de semillas. Las plantas se ven beneficiadas por estas hormigas si la semilla es desechada durante el trayecto al nido, si se abandonan en graneros subterráneos poco profundos o se arrojan en pilas de desechos de

hormigas donde están protegidas del fuego y/o de otros depredadores y luego pueden germinar (Gorb y Gorb, 2003; Rico-Gray y Oliveira, 2007).

El dosel de los árboles, también sostiene muchas especies de hormigas que secundariamente se adaptaron para ocupar esos nichos y que difieren en composición y conducta de las hormigas terrestres (Simanca y Martínez, 2010). Algunos géneros de hormigas como *Azteca*, *Camponotus*, *Crematogaster*, *Dolichoderus*, *Monomorium* y *Solenopsis* forman asociaciones mutualistas con plantas epífitas, esta conglomeración de hormigas con las epífitas es llamada comúnmente “jardines de hormigas”, que consiste en que las hormigas se hospedan en la planta, a cambio la planta le ofrece alimento, por lo regular a través de su semilla denominado eleosoma y/o a través de los nectarios extraflorales, ambos organismos planta-insecto resultan beneficiados, en este caso, las hormigas ayudan a la planta a alejar a los depredadores, mantenerla limpia de los desechos que la misma planta genera, pero sobre todo le ayuda proporcionándole los nutrientes que la planta requiere para sobrevivir (Hölldobler y Wilson 1990; Delabie et al., 2003).

Respecto a las interacciones biológicas que establecen con otros grupos, estas pueden ser antagónicas (competencia, depredación y parasitismo), mutualistas o neutras (Hölldobler y Wilson, 1990; MacMahon et al., 2000; Itino et al., 2001). Por ejemplo, intervienen en la polinización donde se tienen registrados al menos 3000 especies de plantas con flores (angiospermas) que pertenecen a 67 familias (Gorb y Gorb, 2003; Rico-Gray y Oliveira, 2007; Vaga et al., 2009; Rostás y Tautz, 2010). Contribuyen a la composición, abundancia y distribución de la vegetación a través de la dispersión y remoción de semillas (Davidson, 1977; Davidson et al., 1984; Mull y

MacMahon, 1996; Gorb y Gorb, 2003; Rico-Gray y Oliveira, 2007). En otros casos forman asociaciones mutualistas con las plantas, las protegen de patógenos fúngicos y de otras plantas que compiten por el mismo recurso, en un proceso llamado mirmecofilia (Blatrix et al., 2009; Cruz et al., 2017), de tal manera que funcionan como controladoras de otros insectos, reduciendo la abundancia de herbívoros que afectan directamente a las plantas reduciéndoles el daño e incrementando su crecimiento (Stadler y Dixon, 2005). Gracias a esta interacción con las plantas las hormigas son capaces de restaurar los sitios que han sido perturbados de manera antropogénica.

Existen especies de hormigas que forman asociaciones mutualistas con otros insectos a los que ofrecen su cuidado a cambio de alimento (trofobiosis), como lo son las hormigas del género *Lasius* con áfidos del género *Aphis*, donde estos brindan una recompensa a las hormigas a través de una sustancia llamada melaza (Delabie y Fernández, 2003; Standler y Dixon, 2005; Miñarro et al., 2010). En los ecosistemas tropicales las hormigas defoliadoras de árboles cumplen una función muy importante ya que reducen el 17% de la producción anual de hojas regulando el ecosistema (Costa et al., 2008). Muchas especies de estas hormigas usan las hojas defoliadas para cultivar hongos que participan directamente en la descomposición de nutrientes de basura orgánica generada en los bosques (Folgarait, 1998; Rojas, 2001).

En sitios agroforestales las hormigas son excelentes controladoras de plagas, esto debido a su alta efectividad de forrajeo y sus hábitos depredadores, alimentándose de otros órdenes de insectos como Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Lepidoptera y Orthoptera en diferentes estados de desarrollo (huevo, larva o adulto). Lo que podría beneficiar a los cultivos anuales y perennes como frutas, verduras, plantas

ornamentales, cultivos de cereales, café, caña de azúcar, algodón, cacao, entre otros (Choate y Brummond, 2011; Picanço, 2014). Un ejemplo de éxito donde las hormigas han jugado un papel muy importante como controladores de plagas es en los sembradíos de cítricos en China con la especie *Oecophylla smaragdina* donde incluso se ha llegado a comercializar (Huang y Yang, 1987).

A pesar de la gran importancia ecológica que tienen las hormigas, algunas especies se consideran perjudiciales para los humanos, causando malestar dentro de los asentamientos como casas y hospitales, donde pueden ser vectores de diversos patógenos (Fowler et al., 1993) y afectar plantaciones de cultivo, por ello es necesario hacer una evaluación muy detallada si se requiere realizar un control de plagas de forma natural a través de las hormigas (Choate y Brummond, 2011; Herz et al., 2007).

Grupos funcionales

Entre la variedad de grupos funcionales, es decir, el grupo de especies que explota un mismo recurso (Andersen, 1997), se encuentran las nectívoras (Farji Brenerl et al., 1992; Falibene y Josens, 2011), granívoras (MacMahon et al, 2000; Davidson, 1977), fungívoras (Mueller et al, 2017), carroñeras y/o depredadoras que pueden ser, a su vez, especialistas o generalistas (Wilson, 1958; Wilson, 1959; Carroll y Janzen, 1973; Way y Khoo, 1992).

El uso de grupos funcionales para las hormigas es otra herramienta que sirve para la identificación de la estructura de los ecosistemas y estos se basan en una gama de atributos morfológicos y de comportamientos (Andersen, 1995; 1997). Aunque originalmente se presentó una propuesta para sitios agroforestales australianos, sistemas naturales, ambientes en rehabilitación y otros sistemas de manejo de la tierra

(Greenslade, 1978), esta se ha ido adaptando para especies de hormigas de América del Norte (Andersen, 1997), donde se menciona que son siete los grupos funcionales de hormigas que trabajan a escala global a nivel de género (Roig y Espadaler, 2010).

1.- Dolichoderinae dominantes (DD): predomina en lugares donde experimenta niveles bajos de estrés y perturbación, habita ambientes cálidos y abiertos. Los géneros a los que corresponde son: *Azteca*, *Dolichoderus*, *Linepithema*, *Liometopum* y *Forelius*.

2.- Camponotini subordinadas (SC): Comprende el género *Camponotus*. A pesar de tener mucha presencia, su abundancia relativa en cualquier comunidad es relativamente baja.

3.- Especialistas a determinado clima, cálido (HCS)/ frío (CCS)/ tropical (TCS). Clima cálido (HCS). Hay una abundancia de la subfamilia Dolichoderinae, pero también incluye taxones termófilos y especialistas en recolectar semillas, incluye los géneros *Monomorium*, *Pogonomyrmex*, *Messor*, *Myrmecocystus* y *Solenopsis*. Clima frío (CCS): incluye géneros como *Lasius*, *Leptothorax*, *Stenamma*, *Lasiophanes* y algunas especies de *Formica*. Clima tropical (TCS): comprende la subfamilia Dorylinae, el género *Atta* y *Oecophylla*.

4.- Especies crípticas (C). Son hormigas muy dominantes en hábitats con gran cobertura vegetal, son especies muy pequeñas. Incluye géneros como *Monomorium*, *Hypoponera*, *Strumigenys* y muchas otras pequeñas ponerinas.

5.- Oportunistas (O). Son hormigas poco competitivas y no especializadas. Comprende géneros como *Aphaenogaster*, *Dorymyrmex*, *Ectatomma*, *Lepisiota*, *Myrmica*, *Paratrechina*, *Rhytidoponera*, *Tapinoma*, *Technomyrmex* y *Formica*.

6.- Myrmicinas generalistas (GM). Son hormigas que se encuentran presentes en todas partes y son muy abundantes. Comprende géneros como *Crematogaster*, *Monomorium* y *Pheidole*.

7.- Depredadores especialistas (SP). Comprende hormigas grandes y medianas, son generalmente depredadores de otros artrópodos, tienen poca interacción con otras hormigas debido a su dieta y sus bajas densidades poblacionales, incluye forrajeras solitarias como *Pachycondyla* y otras especies del género *Anochetus*, *Cerapachys*, *Leptogenys*, *Myrmecia* y *Odontomachus*.

Ubicación taxonómica y morfología externa de las hormigas

Las hormigas pertenecen a la familia Formicidae dentro de la superfamilia Vespoidea, del orden Hymenoptera (Rojas, 2001; Hölldobler y Wilson 1990). Las hormigas se reconocen como pertenecientes a la familia debido a 1) la presencia de una glándula metapleural en hembras reproductoras y obreras (reducido o perdido secundariamente en algunos pocos grupos, ausente en machos) (Fernández, 2000; Fernández y Sendoya, 2004; Yek y Mueller, 2010), de hecho, parte de su éxito evolutivo se le ha atribuido a este carácter (Maschwitz et al., 1970); 2) la presencia de una constricción formando una estructura llamada peciolo, ubicada entre el primer segmento torácico (propodeo) y el gáster, aunque también puede presentarse una segunda constricción formando otro anillo llamado postpeciolo, ubicada entre el peciolo y el gáster; 3) la presencia de antenas acodadas, es decir, donde el primer artejo, llamado escapo, más largo (entre el 30 o 45% del tamaño total de las antenas), que el resto de los artejos, se une a estos a través de una articulación en forma de codo (Brady et al., 2006).

Las relaciones filogenéticas de las hormigas están lejos de ser completadas debido a una rama larga que separa a las hormigas del grupo externo más cercano y a la compleja heterogeneidad de sus procesos evolutivos. Las hipótesis más recientes sugieren que las hormigas podrían asociarse más a las familias Ampulicidae y Sphecidae, ya que estos dos grupos comparten genes más estrechamente relacionados con las hormigas y al ser taxones más primitivos dieron paso a comportamientos que abrieron camino a la eusocialidad en himenópteros, tales como la creación de nidos y el aprovisionamiento de alimentos (Ward, 2014) y no a Scoliidae y Vespidae como se ha propuesto previamente (Brothers y Carpenter, 1993).

Como todos los insectos, las hormigas se encuentran constituidas morfológicamente por un esqueleto externo y dividido en tres segmentos que son la cabeza, el tórax y el abdomen o gáster. Entre el tórax y el abdomen se encuentra el peciolo que forma una cintura y puede estar dividido en uno o dos anillos (postpeciolo) (Plowes y Patrock, 2000).

La cabeza de las hormigas varía de muchas formas según la especie y puede ser elíptica, rectangular o triangular. En esta región se encuentran un par de ojos compuestos, ausentes en algunas especies y los ocelos; las mandíbulas de las hormigas son de formas muy variadas y son del tipo hipognatos es decir que su mandíbula se dirige hacia abajo (Wheeler, 1910; Hölldobler y Wilson, 1990; Gullan y Cranston, 2005).

El tórax que forma la parte media de la morfología de las hormigas se encuentra dividido en tres estructuras que son el protórax, mesotórax y metatórax. El protórax es la región más pequeña del tórax donde se articula el par de coxas del primer par de

patas delanteras. La morfología de las patas son de poco valor taxonómico ya que no muestra mucha variación taxonómica y se divide en coxa, trocánter, fémur, tibia y tarsos (Hölldobler y Wilson, 1990).

La tercera estructura morfológica de las hormigas es el abdomen y esta comienza desde el propodeo. Suele estar dividido en 8 segmentos cuando se presenta pecíolo y pospecíolo y siete cuando sólo se presenta el pecíolo, en el gáster solo cuatro segmentos son visibles en las hormigas trabajadoras y cinco en las hormigas reproductoras (reinas) (Wheeler, 1910; Gullan y Cranston, 2005).

Antecedentes

Son pocos los trabajos ecológicos realizados para el estudio del ensamblaje de hormigas en los gradientes altitudinales en México en general y Morelos en particular. Uno de los primeros trabajos sobre niveles altitudinales de hormigas en México fue el de García-Pérez et al. (1992), quienes realizaron un muestreo de hormigas en el Parque Nacional Chipinque en un gradiente altitudinal que va de los 700 hasta los 1400 m, donde se observó una disminución de especies conforme incrementaba la altitud y cambiaba la vegetación.

Posteriormente, de acuerdo con Quiroz-Robledo y Valenzuela-González (2007), quienes evaluaron la distribución de hormigas poneromorfas en elevaciones que van de los 890 y 3500 m s.n.m, observaron que la mayor diversidad y abundancia de hormigas se encontró entre los 890 y 1 600 m. s.n.m., mientras que en niveles intermedios se encontraron cuatro especies de hormigas y en la parte más alta se colectó una especie,

con lo que se concluyó que a mayor altitud, menor es el número de especies de hormigas presentes.

Salcido-López et al., (2012) realizaron un estudio de la mirmecofauna en el Cerro de la Culebra, Aranda, Jalisco. Los niveles altitudinales del sitio de recolecta fueron de los 1935 hasta los 2228 m s.n.m, cuya vegetación en la parte baja era bosque tropical caducifolio perturbado, en la zona media (2098 m) era una zona de transición entre el bosque tropical caducifolio y el bosque de encino y la zona alta (2228 m) constaba de bosque de encino. Observaron que la mayor diversidad de hormigas se encontró en la zona más alta del sitio de colecta, concluyendo que esto se debía al alto grado de perturbación en las zonas bajas y entre el sitio de transición de la zona media, haciendo el lugar más apto y con más recursos la zona alta de bosque de encino.

Por otro lado, Valenzuela-González et al. (2013), en un estudio de comunidades de hormigas en tres tipos de paisajes, uno que va de 300 a 500 m s.n.m, otro que va de los 2 300 a 2 600 m s.n.m y otro de los 3000 a 3200 m s.n.m, concluyeron que había una mayor riqueza y diversidad en lugares bajos y con alturas medias, mientras que se presentaba una disminución de especies conforme aumentaba la altitud.

En un estudio realizado por Pérez-Domínguez et al.(2015) sobre hormigas ponerinas en la Sierra de Quila y Sureste de Jalisco, entre los 1300 a los 2560 m s.n.m, conformada por diferentes tipos de vegetación, encontraron que la mayor diversidad de este grupo de hormigas se encuentra en las altitudes medias que va de los 1326 hasta los 2024 m s.n.m, reportando que especies como *Hypoponera punctatissima*, *Odontomachus brunneus*, *Leptogenys elongata* y *Gnamptogenys striatula* fueron los más comunes en los diversos gradientes altitudinales.

Justificación

Existen diversos trabajos realizados en el estado de Morelos enfocados principalmente en la caracterización taxonómica de las especies de hormigas (Vásquez-Bolaños, 2011; 2015; Ríos-Casanova, 2014). En cuanto a la distribución espacial y los niveles altitudinales solo se ha evaluado al grupo de las Dorylinae y poneromorfas (Quiroz-Robledo y Valenzuela-González, 2006; 2007). Sin embargo, en la parte ecológica no se ha realizado un estudio del ensamble de las comunidades de hormigas en los niveles altitudinales que nos indique cuan distribuidas, diversas y abundantes se encuentran estas comunidades en diferentes niveles altitudinales de una misma vegetación como lo es la selva baja caducifolia. Este tipo de vegetación es el más abundante del estado de Morelos, que representa el 80% (Dorado et al., 2005). De la misma manera, el conocimiento sobre los grupos funcionales presentes en gradientes altitudinales es escaso o no se ha estudiado y no se sabe si se distribuyen heterogéneamente en los diferentes niveles altitudinales, si existe mucha competencia por los recursos, o si son muy marcadas las diferencias en cuanto al sitio de anidación y forrajeo.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el efecto de la altitud sobre las comunidades de hormigas en una vertiente de la Sierra Montenegro.

Objetivos particulares

Correlacionar los atributos de las comunidades de hormigas (diversidad, composición, abundancia relativa, riqueza de especies y grupo funcional) con su distribución altitudinal.

Comparar los atributos de las comunidades de hormigas (diversidad, composición abundancia relativa, riqueza de especies y grupo funcional) de una vertiente de la Sierra Monte Negro en función del gradiente altitudinal.

Hipótesis

Se espera encontrar diferencias significativas de los atributos de las comunidades de hormigas conforme aumenta la altitud. En particular, se espera que la composición, riqueza y diversidad disminuyan conforme incrementa la altitud, pero que algunos grupos de hormigas se vuelvan dominantes conforme aumente la altitud y, por lo tanto, la abundancia relativa presente diferencias significativas en los pisos altitudinales más altos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estado de Morelos se encuentra ubicado entre los paralelos 18° 20' y 19° 07' latitud Norte y los meridianos 98° 37' y 99° 30' longitud Oeste de Greenwich. Ocupa una de las 32 entidades federativas de la república mexicana y es el segundo estado más pequeño después de Tlaxcala. Cuenta con una extensión territorial de 4 892.2 km², lo cual representa el 0.25% de la superficie del país (Guerrero et al., 2015).

Colinda al norte con el Estado de México y la ciudad de México; al este y sureste con Puebla; al sur y suroeste con Guerrero y al oeste con el Estado de México.

Dentro del centro del estado de Morelos se encuentra la Sierra Montenegro, una de las dos reservas estatales con una extensión territorial de 7,538.51 ha de las cuales 4,521.12 ha corresponden a la zona de amortiguamiento; la zona de amortiguamiento es el límite que comprende las áreas naturales protegidas que conforman espacios de transición entre las zonas protegidas y el entorno, ya sean asentamientos humanos o carreteras (Lalana, 2010) y 3,017.39 ha corresponden a la zona núcleo. Colinda al noroeste con el municipio de Emiliano Zapata, al oeste con Tepetzingo, al este se localiza la población de Ticumán y al sur el municipio de Tlaltizapán. Tiene un gradiente altitudinal que va desde los 1,000 m hasta los 1,775 m s.n.m en la parte más alta.

La vegetación dominante es selva baja caducifolia, es decir, que depende de los cambios estacionales ya que se reflejan las marcadas diferencias entre lluvias y secas. La precipitación (P) media anual es de 900 mm (800-1,000 mm), temperatura (T) media anual mayor de 22° C y cociente P/T menor de 43.2. Ocurre un periodo de sequía de noviembre a mayo y un periodo de lluvias de junio a septiembre, con la máxima precipitación de 200 mm en septiembre (Castro-Franco y Bustos, 2016). Cuenta con árboles caducifolios que van desde los 7 a 8 metros de alto, aunque pueden encontrarse árboles de hasta 15 metros, también existe un denso estrato arbustivo. En las cañadas más protegidas, existen sitios con mayor humedad. Gracias a la formación de corrientes de aguas intermitentes y perennes, es posible encontrar el bosque de galería. A comparación de la selva baja caducifolia, los bosques de galería no pierden

completamente sus hojas en la época de lluvia, manteniéndose así con una gran cantidad de follaje (CEAMA. 2010; Castro-Franco, 2016).

El tipo de suelo del que se compone la Sierra es en su mayoría rendzina, asociada con litosol, lo cual presenta poco espesor y poca materia orgánica, lo que da como resultado la presencia de perfiles poco desarrollados. También cuenta con cadenas de roca calcárea ya que se localiza dentro de la Sierra volcánica transversal, la mayoría de las laderas tienen una inclinación de casi 45 grados y tienen una orientación de ladera en Este y Oeste (32%), Sur (25%) y una gran proporción de las laderas (43%) tienen cierto grado de orientación Norte. Las laderas orientadas al sur tienen mayor incidencia solar a comparación de las laderas orientadas al norte (CEAMA, 2010).

Trabajo de campo

El trabajo de recolecta se realizó a mediados de marzo y principios de abril del 2018, dentro de la temporada de seca, cuando la vegetación característica de la selva baja caducifolia pierde sus hojas. Para ello, se seleccionaron seis niveles altitudinales de una de las laderas de la montaña de la Sierra Montenegro que comprende la zona de amortiguamiento y cuya inclinación es de 45 grados con orientación hacia el norte, lo cual va de 1097 metros hasta los 1577 m s.n.m. Cada transecto por nivel altitudinal se dividió en tres sitios separados cada 68 metros. En cada sitio se colocaron 6 trampas de caída separadas entre sí a un metro de distancia, de tal manera que hubo 18 trampas por nivel y 108 trampas en total.

Las trampas consistieron en recipientes de plástico de 14 centímetros de diámetro y 6 centímetros de profundidad con los bordes internos lisos. Las trampas se

enterraron a ras de suelo y una vez colocadas se les agregó 300 ml de una mezcla con una proporción 70-30 de propilenglicol y agua. Se utilizó el propilenglicol ya que tiene muchas ventajas como la baja tasas de evaporación, es amigable con el ambiente y además ayuda a la preservación de los organismos de cuerpo blando y mantiene el color del insecto (Hussain et al., 2018). Posteriormente, las trampas se cubrieron con platos planos de plástico, dejando espacio entre el borde del recipiente y el plato para la entrada de cualquier insecto al recipiente. Las trampas se dejaron activas durante 7 días, después de las cuales se recuperó el contenido y se llevó al laboratorio para su tratamiento. Este método de captura es muy eficaz principalmente para hormigas que se encuentran en el suelo y es el más indicado para regiones áridas, áreas abiertas con poca cobertura vegetal y hojarasca poco densa (Hussain et al., 2018).

Trabajo de gabinete

Primeramente, las muestras se procesaron separando las hormigas de otros insectos colocándolas en viales con alcohol al 96%. Posteriormente, las hormigas se separaron en diferentes morfoespecies, de las que se montó al menos un ejemplar de cada una de ellas. Después de separarlas en morfoespecies se procedió a su montaje (Lattke, 2003). Una vez montados, para su identificación se usó un microscopio estereoscópico Olympus modelo AZ con un micrómetro U-OCM10/100 1 de mm con intervalos de 0.1 mm. Se usaron las claves de identificación disponibles en Antwiki. Para nivel de subfamilias se siguió a Fisher y Cover (2007), Baccaro et al. (2015). Para nivel de género se usaron las claves de MacKay y MacKay (1989). Para la identificación a nivel de especie se emplearon las siguientes claves: Ortíz-Sepúlveda et al., (2019) para *Brachymyrmex* (Mayr 1868); Cuezco y Guerrero (2012) para

Dorymyrmex (Mayr 1866), Watkins (1976) para *Eciton* (Latreille, 1804), *Labidus* (Jurine 1807), *Neivamyrmex* (Borgmeier, 1940) y *Nomamyrmex* (Borgmeier, 1936); Kallal and LaPolla (2012) para *Nylanderia* (Jurine 1807), Pacheco y MacKay (2013) para *Solenopsis* (Westwood 1840). Para las especies de *Pheidole* se usó el programa Lucid (V. 3.3) para *Pheidole* del Nuevo Mundo, disponible en <https://sites.google.com/site/newworldpheidole/>. También se usó Antweb como herramienta para comparar los ejemplares determinados con las imágenes disponibles en la página. Finalmente, para la determinar la nomenclatura actualizada se consultó Antcat (Bolton, 2020). Después de identificar los ejemplares se generó una lista de las subfamilias y especies.

Análisis de datos

Para calcular la riqueza del esfuerzo de muestreo se utilizaron los estimadores no paramétricos Chao-2 basado en la incidencia, cuya fórmula es $S = S + (L^2/2M)$ y Jack-1 para reducir los sesgos en el tamaño de las muestras con la fórmula $S = S + L(m-1/m)$, mediante el programa Estimates versión 9.1.0. Posteriormente se elaboró una curva de acumulación para determinar el esfuerzo de recolecta.

Se determinó el tipo de distribución de la variable de respuesta a partir de la abundancia absoluta de hormigas registradas en cada nivel altitudinal con el análisis de la distribución de la probabilidad con la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta determina la distribución cuando el tamaño muestral observado es igual o menor que 50. Mediante la fórmula $WC = b_2 / nS^2$, donde b_2 es la suma de las diferencias corregidas y S^2 la varianza muestral los resultados obtenidos en el registro del número de hormigas presentan una tendencia “No normal” ($P \approx 0$); por lo que se utilizaron estadísticos no

paramétricos para los siguientes análisis. Como resultado se obtuvo un histograma (Anexo C) construido a partir de la abundancia absoluta de las hormigas colectadas en la Sierra Montenegro. El análisis de la distribución de la probabilidad y el histograma fueron realizados a partir de una n muestral (n) igual a 2,680. El estadístico se realizó con el programa Statistica 7.

Para ajustar los errores de muestreo en las colectas de hormigas se desarrolló la abundancia relativa utilizando la fórmula de Lindsey y Skinner (2001), la cual evalúa la abundancia de hormigas por estación de muestreo mediante la fórmula: $AA = A * (O/100)$. Donde A corresponde al número total de individuos de cada especie y O es el número de ocurrencia, es decir, las veces en las que se presenta la especie en cada trampa de caída. Con los datos obtenidos de la abundancia relativa se obtuvieron los índices de diversidad de Shannon–Wiener cuya fórmula es $H' = - \sum p_i \ln p_i$, donde p_i es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) y los índices de dominancia de Simpson con la fórmula $D = \sum (n/N)^2$ donde n es igual a el número total de organismos de una especie en particular y N es el número total de organismos de todas las especies. Para evaluar los resultados de diversidad y dominancia se realizó un Análisis de Varianza de una sola vía (ANOVA) mediante prueba de Kruskal-Wallis y suma de rangos con signo Wilcoxon. Estos resultados se obtuvieron en el programa PAST V. 3. Y JMP v15 de SAS Institute.

Se determinó el tipo de distribución de la variable de respuesta a partir de la abundancia absoluta de hormigas registradas en cada nivel altitudinal con el análisis de la distribución de la probabilidad con la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta determina

la distribución cuando el tamaño muestral observado es igual o menor que 50, mediante la fórmula $WC = b^2 / nS^2$, donde b^2 es la suma de las diferencias corregidas y S^2 la varianza muestral. Los resultados obtenidos en el registro del número de hormigas presentaron una tendencia “No normal” ($P \approx 0$); por lo que se utilizaron estadísticos no paramétricos para los siguientes análisis. Como resultado se obtuvo un histograma (apéndice) construido a partir de la abundancia absoluta de las hormigas colectadas en la Sierra Montenegro. El análisis de la distribución de la probabilidad y el histograma fueron realizados a partir de una n muestral (n) igual a 2,680. El estadístico se realizó con el programa Statistica 7.

Adicionalmente se obtuvo un dendograma de similitud aplicando el índice de Jaccard con ayuda de una matriz de datos de presencia-ausencia combinada y el método de ligamiento completo con la fórmula $L_{clas} = 2J_{clas} / (J_{clas} + 1)$ utilizando el programa PAST V. 3, para observar qué tan similares se encuentran las comunidades de hormigas de un nivel a otro.

Para evaluar los grupos funcionales se utilizó el criterio propuesto por Andersen (1995; 1997). Para observar la composición taxonómica de los diferentes grupos funcionales de hormigas, se calcularon los índices de similitud de Kulckzynski con los datos de presencia-ausencia, cuya fórmula es $I_K = \{S_C / 2\} \{ \{ [1 / (S_C / S_A)] + [1 / (S_C + S_B)] \}$ donde I_K : es el coeficiente de similitud que va desde cero a uno, donde valores igual a cero no son significativos o no se comparten y valores igual a uno son significativos o se comparten los grupos; S_A es la riqueza de especies acumuladas en un grupo A; S_B es la riqueza de especies acumuladas en un grupo B; S_C es el número de especies compartidas entre los grupos A y B. Para representar las matrices de similitud de

Kulckzynski (Ik) entre los grupos funcionales, se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico y aglomerativo con la técnica de ligamiento UPGMA (Método de Agrupamiento de Pares no Ponderados usando Medias Aritméticas). Se determinó el coeficiente cofenético que varía de 0 a 1 para conocer la proporción de la estructura de similitud explicada por el dendograma en el programa PAST V. 3.

Resultados

Se muestrearon seis sitios a diferentes niveles altitudinales donde se recolectaron 2681 individuos, pertenecientes a siete subfamilias, 18 géneros y 33 especies. La subfamilia mayormente representada fue Myrmicinae con siete géneros y 15 especies, seguida de Formicinae con tres géneros y nueve especies. Para las subfamilias Dolichoderinae, Dorylinae, Ectatomminae y Ponerinae se encontraron dos géneros y dos especies, por último, Pseudomyrmecinae con un género y una especie (Fig. 1)

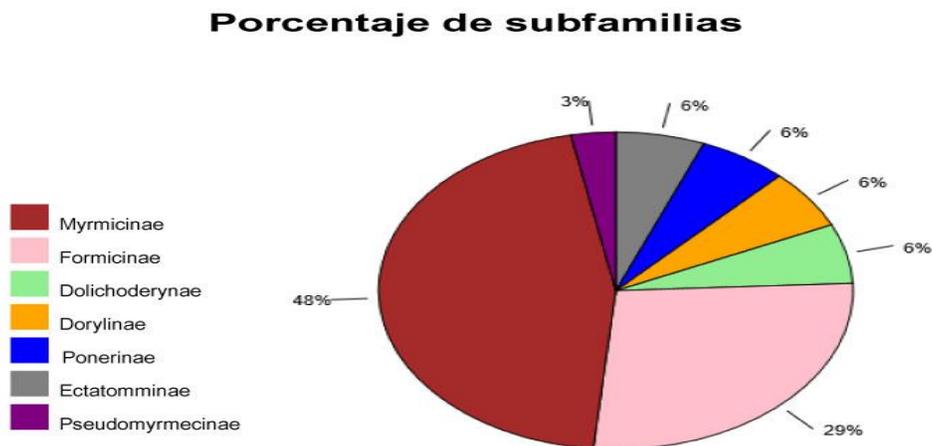


Figura 1. Gráfica de pastel que representa el porcentaje de hormigas por subfamilia

De las especies recolectadas (Anexo A), hubieron algunas con mayor porcentaje de representatividad, por ejemplo, *Solenopsis geminata* (24%), *Solenopsis* sp.1 (16%), *Pheidole* sp. 1 (12%), *Pheidole tolteca* (12%), *Pheidole morelosana* (11%), *Pheidole* sp.2 (6%), *Brachymyrmex heeri* (5%) y *Temnothorax* sp. 1 (4%), las que en conjunto representan el 90% de todo el esfuerzo de recolecta (Fig. 2).

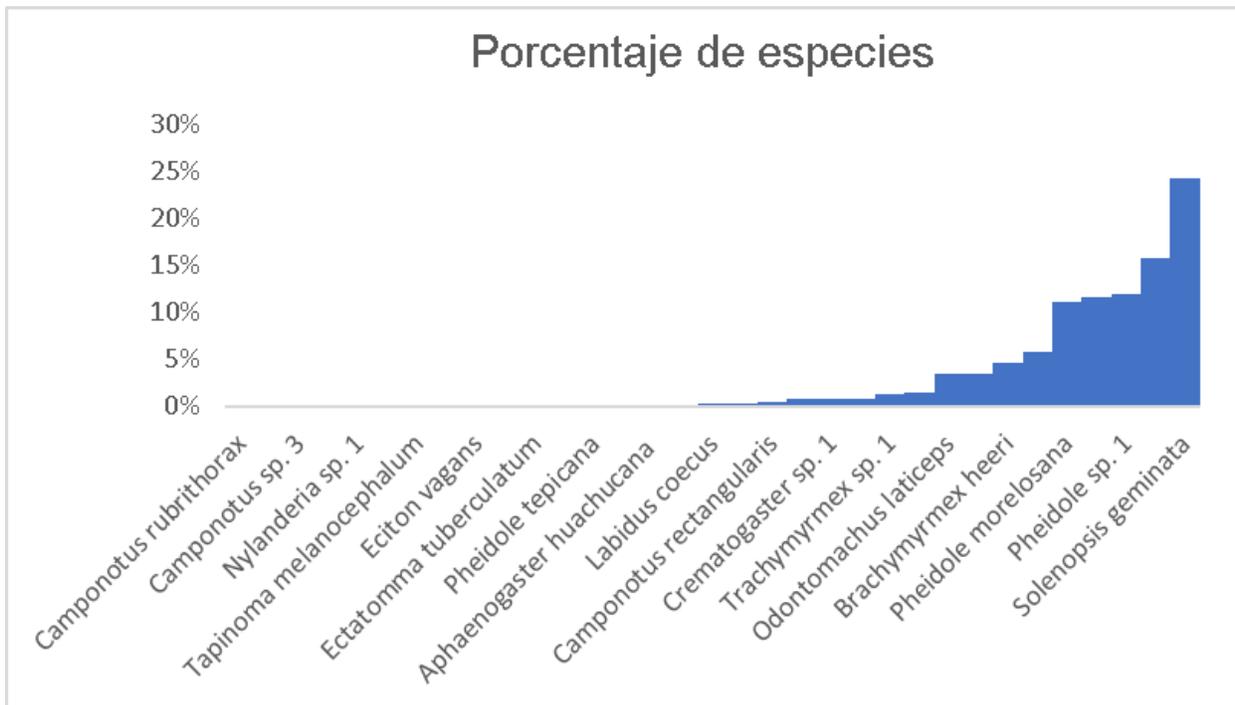


Figura 2. Gráfica de barras que corresponde al porcentaje de especies de hormigas colectadas. N= 2681

De acuerdo con las pruebas no paramétricas de Chao-2 y Jack-1, las estimaciones de la riqueza de especie por nivel altitudinal quedó de la siguiente manera: para el nivel 1 (1097 m s.n.m), 16 especies con una estimación de 24 para Chao-2 y 22 para Jack-1; nivel 2 (1193 m s.n.m), 14 especies con una estimación de 14.57 para Chao-2 y 16.67 para Jack-1; nivel 3 (1289 m s.n.m), 15 especies con una

estimación de 14 para Chao-2 y 14.67 para Jack-1; nivel 4 (1385 m s.n.m), 19 especies con una estimación de 26.5 para Chao-2 y 25.67 para Jack-1; nivel 5 (1481 m s.n.m), 21 especies con una estimación de 24.11 para Chao-2 y 26.33 para Jack-1; por último, el nivel 6 (1577 m s.n.m), 20 especies con una estimación de 22.33 para Chao-2 y 24.67 para Jack-1. De manera general se obtuvieron 33 especies con una estimación de 53.78 para Chao-2 y 44.33 para Jack-1 (Fig. 3).

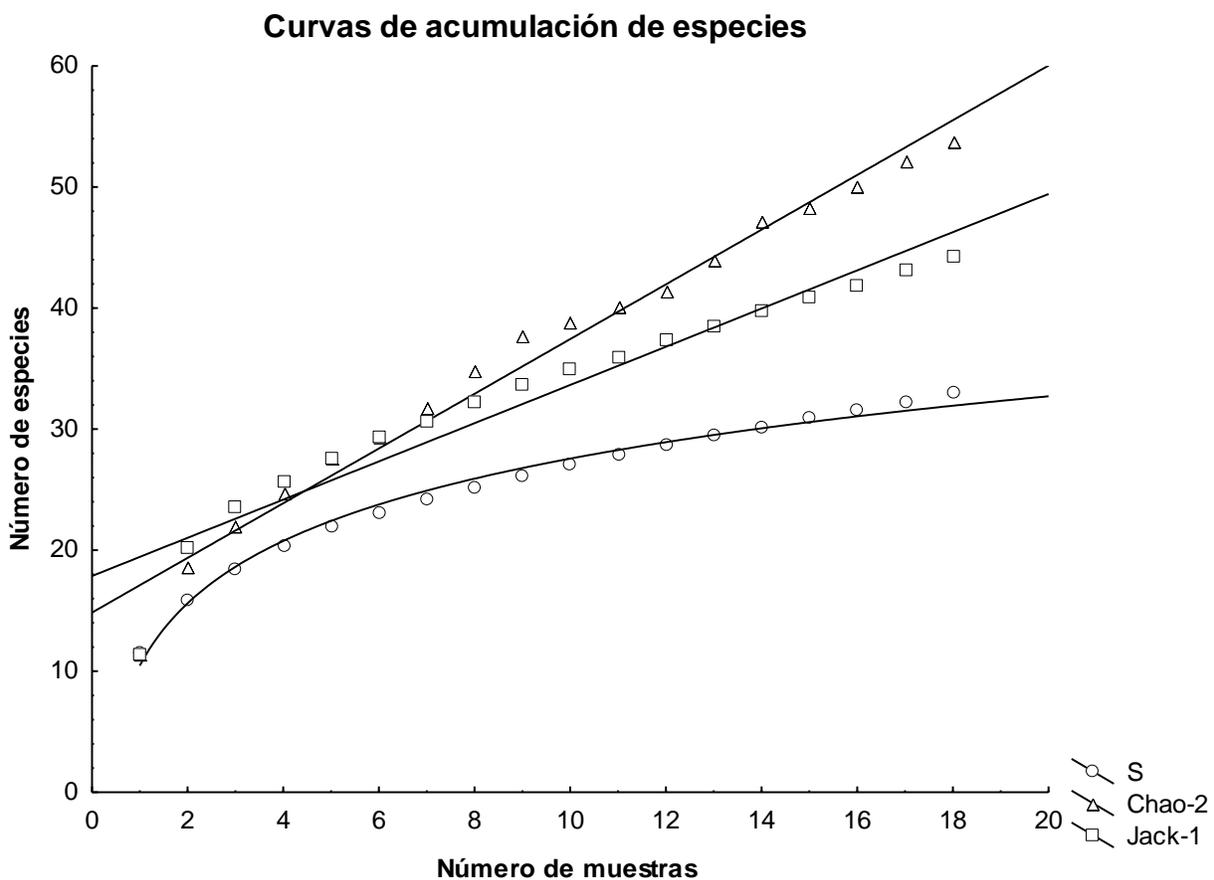


Figura 3. Curvas de acumulación de especies de especies de hormigas. S= número de especies obtenidas en los diferentes niveles altitudinales colectados en la Sierra Montenegro, Morelos.

Se realizó una tabla de abundancia absoluta (Anexo B) de hormigas recolectadas en las trampas de caída donde se puede observar que el mayor número

de ejemplares de especies se encontró en el nivel 6 (n=813), seguido del nivel 5 (n=689) y el nivel 1 (n=437). El número con menor registro de hormigas fue el nivel 2 (n=171) (Fig. 4). Para contrastar las diferencias de los resultados obtenidos de la abundancia absoluta, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk cuyo resultado $P \approx 0$ nos indica una tendencia de no normalidad por lo cual se utilizaron pruebas no paramétricas en los análisis de diferenciación (Anexo C).

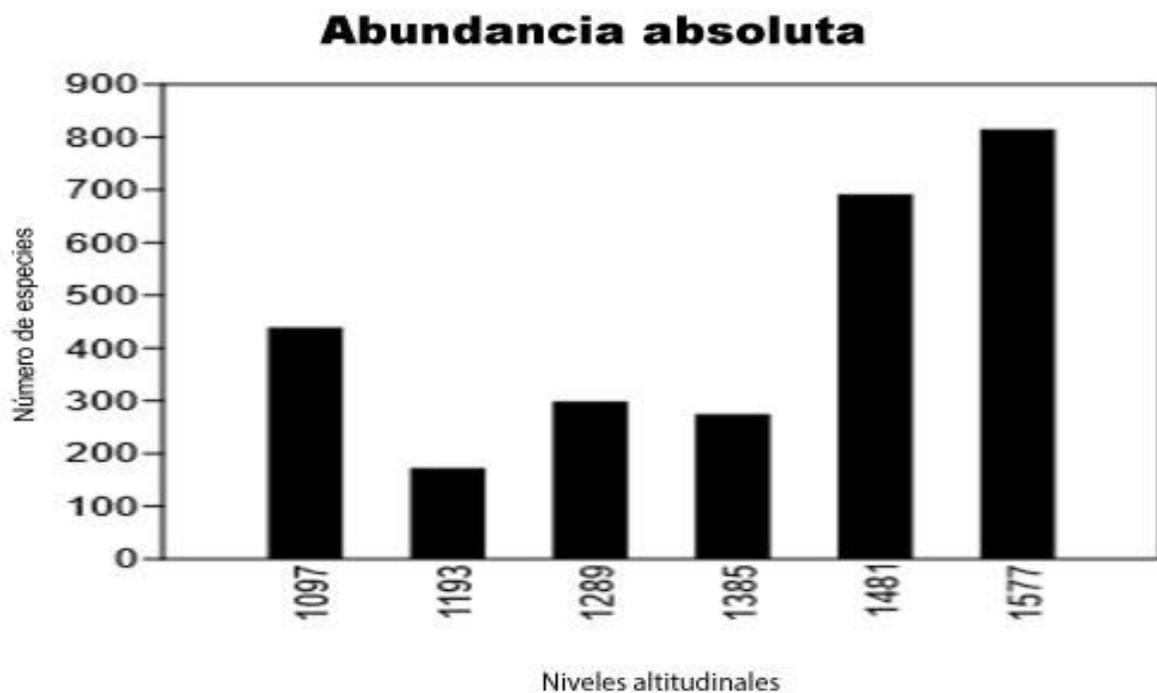


Figura 4. Gráfica de barras donde se indica las diferencias por nivel altitudinal de la abundancia absoluta de hormigas recolectadas en la Sierra Montenegro, Morelos.

Para corregir los errores de muestreo debido a los hábitos de forrajeo de las hormigas, se aplicó la fórmula de Lindsey y Skinner para obtener la abundancia relativa: $AA = A * (O/100)$, donde A corresponde al número total de individuos de cada especie y O es el número de ocurrencia, es decir, las veces en las que se presenta la especie en cada trampa de caída (Anexo D). La mayor abundancia relativa fue para el

nivel 6 (67.57%), seguido del nivel 1 (54.41%) y por último el sitio con menor abundancia relativa fue el nivel 2 (11.02%). El nivel 3 y 5 se mantienen con un 30.8 % de abundancia relativa y solo con una diferencia del 6.11% con el nivel 4 (Fig. 5).

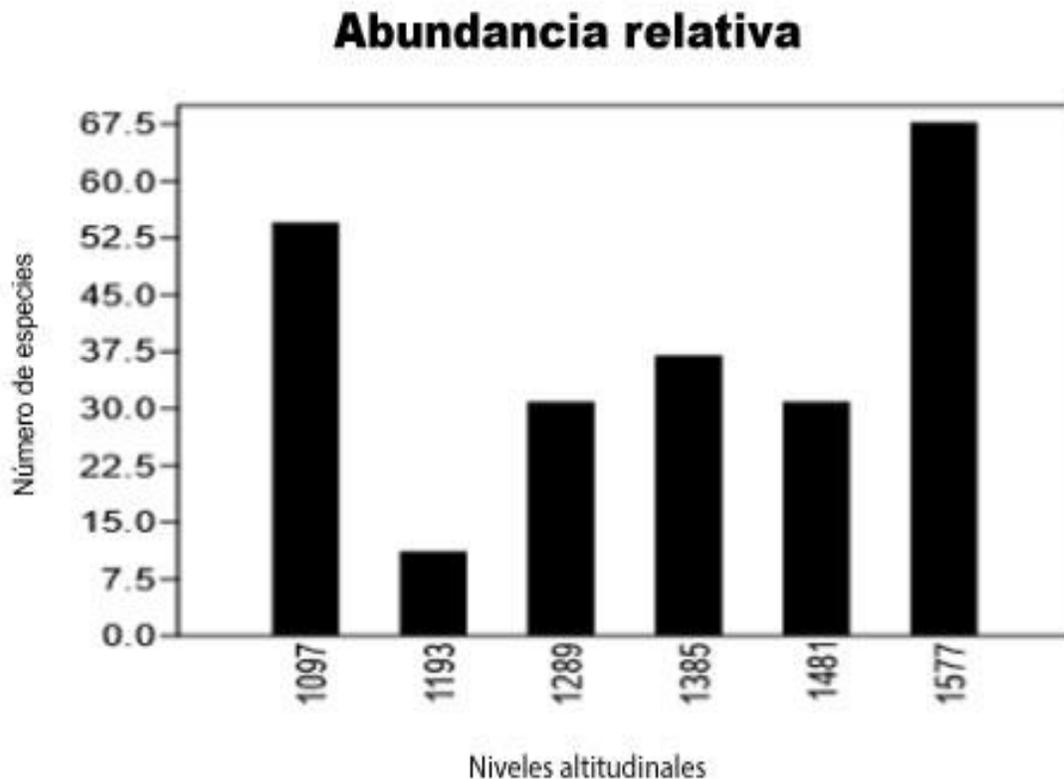


Figura 5. Gráfica de barras donde se indica las diferencias por nivel altitudinal de la abundancia relativa de hormigas recolectadas en la Sierra Montenegro, Morelos.

Con los datos obtenidos de la abundancia relativa se realizó la prueba de diversidad de Shannon-Wiener y la prueba de dominancia de Simpson. Se puede observar que los índices de Shannon-Wiener demuestran que la diversidad de especies de hormigas en cada una de los sitios fue relativamente baja, aunque hubo

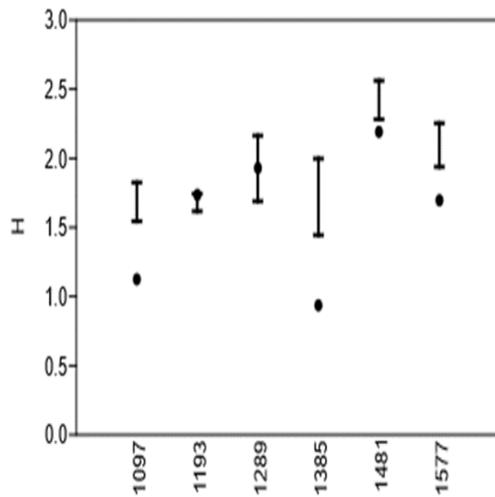


Figura 6. Índice Shannon-Wiener la diversidad es relativamente baja en cada uno de los niveles altitudinales. Valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad.

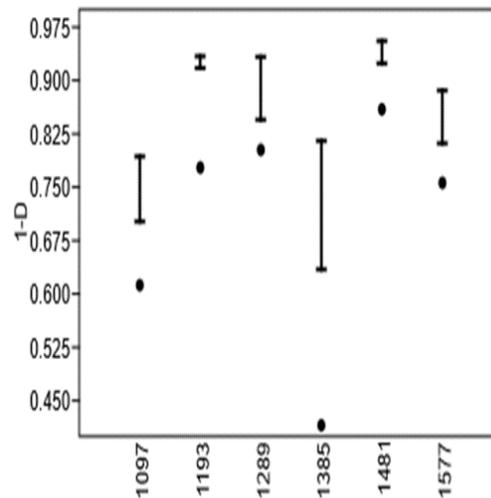


Figura 7. Índice de dominancia de Simpson, la dominancia es alta cuando los resultados se acercan a uno.

diferencia significativa ($p < 0.0001$) en cada uno de los niveles altitudinales, siendo el nivel 1481 (2.16) el más diverso y el nivel 1385 (0.94) el menos diverso (Fig. 6).

Respecto a los índices de dominancia de Simpson se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) entre los niveles altitudinales, siendo el nivel 1481 (0.85) más dominante y el nivel 1193 (0.41) menos dominante con respecto a los demás niveles. Ambos índices indican que el nivel 1481 fue el nivel altitudinal con mayor diversidad y dominancia, mientras que el nivel 1385 fue el menos diverso y dominante (Fig. 7).

Las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y suma de rangos con signo Wilcoxon, muestran que no hubo diferencia estadísticamente significativa (Chi^2 de 4.78 con una diferencia de $p = 0.37$) en la estimación de abundancia relativa obtenida entre los diferentes niveles altitudinales. Sin embargo, sí hubieron diferencias significativas

(Chi² de 125.4 con una diferencia de $p= 1.47E-15$) en la estimación de la abundancia relativa con respecto a las diferentes especies de hormigas recolectadas en cada uno de los niveles altitudinales, siendo *Solenopsis* sp. 1 (56.66), *Pheidole morelosana* (35.83), *Pheidole tolteca* (n=34.88), *Pheidole* sp. 1 (31.19) y *Solenopsis geminata* (29.18) las que registraron diferencias significativas en la estimación con respecto al resto de las demás especies (Fig. 8). Todas estas especies son representantes de la subfamilia Myrmicinae, las cuales se encuentran distribuidas en todo el gradiente altitudinal. Otra especie dentro de esta subfamilia con menor abundancia relativa, distribuida en todos los gradientes altitudinales fue *Temnothorax* sp. 1 (n=8.91), lo cual es representativo para el sitio ya que las especies de este género se presentan con pocos individuos (Kaspari y O'Donnell, 2000).

Para la subfamilia Formicinae se encontraron especies con menor abundancia relativa, pero distribuidas en todas las gradientes altitudinales tales como *Brachymyrmex heeri* (8.29), *Camponotus* sp. 1 (0.4) y *Camponotus rectangularis* (0.6).

La subfamilia Poneriane estuvo representada por *Odontomachus laticeps* (9.25) en todos los niveles altitudinales.

Hormigas como *Pheidole* sp. 2 y *Trachymyrmex* sp. 1 se encontraron distribuidas en la mayoría de los niveles altitudinales con excepción al nivel 4. *Camponotus atriceps* se encontró distribuida en 4 niveles altitudinales que corresponden a los niveles 2, 4, 5 y 6; *Crematogaster* sp. 1 se encontró distribuida en los últimos 4 niveles altitudinales; *Temnothorax* sp. 2 se recolectó en los niveles 2, 4 y 5; *Temnothorax* sp.3 se encontró distribuida en los niveles 3, 4 y 6; *Camponotus pudorosus* se recolectó en los niveles 4 y 5; *Cyphomyrmex flavidus* entre los niveles 2 y 3; *Labidus coecus* en los niveles 1 y 5.

Para cada uno de los niveles altitudinales, a excepción de los niveles 2 y 3, se encontraron especies únicas. Para el nivel 1 se encontraron especies como *Nylanderia* sp. 1, *Tapinoma melanocephalum*, *Camponotus* sp. 2, *Odontomachus clarus* y *Pheidole tepicana* en el nivel 4, *Aphaenogaster huachucana*, *Camponotus* sp. 3, *Eciton vagans* y *Pseudomyrmex gracilis* en el nivel 5, y en el nivel 6, se encontraron *Camponotus rubrithorax*, *Ectatomma tuberculatum*, *Forelius pruinosus*, *Gnamptogenys striatula* y *Temnothorax* sp. 4. La similitud de distribución de las comunidades de hormigas según el índice de Jaccard (Anexo F), indica que las comunidades de hormigas no presentan patrones diferentes en el recambio de especies en los seis niveles altitudinales dentro de la ladera, sin embargo, en el dendograma se puede observar que el nivel altitudinal de 1385 m s.n.m existe menor recambio de especies con respecto a las demás (Tabla 1) (Fig. 8)

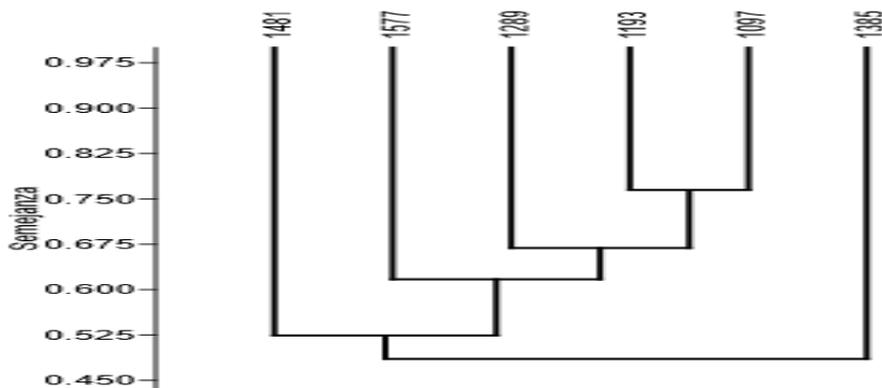


Figura 8. Dendrograma de similitud entre niveles altitudinales de acuerdo al índice de Jaccard. Los valores van de 0 a 1, donde cero nos indica que no existe similitud en las comunidades y uno es la medida que aumenta el número de similitud.

Tabla 1. Cuadro comparativo de los valores del índice de similitud de Jaccard entre los seis niveles altitudinales de la ladera de la Sierra Montenegro.

Niveles altitudinales	1097	1193	1289	1385	1481	1577
1097	1	0.76	0.63	0.4	0.54	0.56
1193		1	0.7	0.5	0.6	0.6
1289			1	0.54	0.5	0.66
1385				1	0.48	0.5
1481					1	0.46
1577						1

Altos valores significan mayor similitud

Para comparar los grupos funcionales se aplicó el índice de Kulczynski (Anexo G) donde se obtuvo que el grupo funcional más representativo fue el de las oportunistas (30.3 %), seguido de las mirmicinas generalistas (24.2%) y camponotini subordinadas (21.2%). De las hormigas especialistas del clima se obtuvieron dos diferentes, una de clima frío y una de clima cálido, por lo que se les consideró como grupos funcionales diferentes. De los 8 grupos funcionales, cinco se encuentran presentes en toda la ladera (Fig. 9). Como se puede observar en los índices de Kulczynski para los grupos funcionales, los que más se comparten son mirmicinas generalistas (GM), camponotini subordinadas (SC), crípticas (C), seguidas de las oportunistas (O) y las especialistas depredadoras (SP). Las especialistas de clima frío (CCS) se comparten con las mirmicinas generalistas y las que menos se comparten son las especialistas de clima cálido (HCS), las que únicamente se encontraron en los niveles altitudinales 3 y 4. Las Dolichoderinae dominantes (DD) sólo se encontraron en el nivel 6 (Tabla 2).

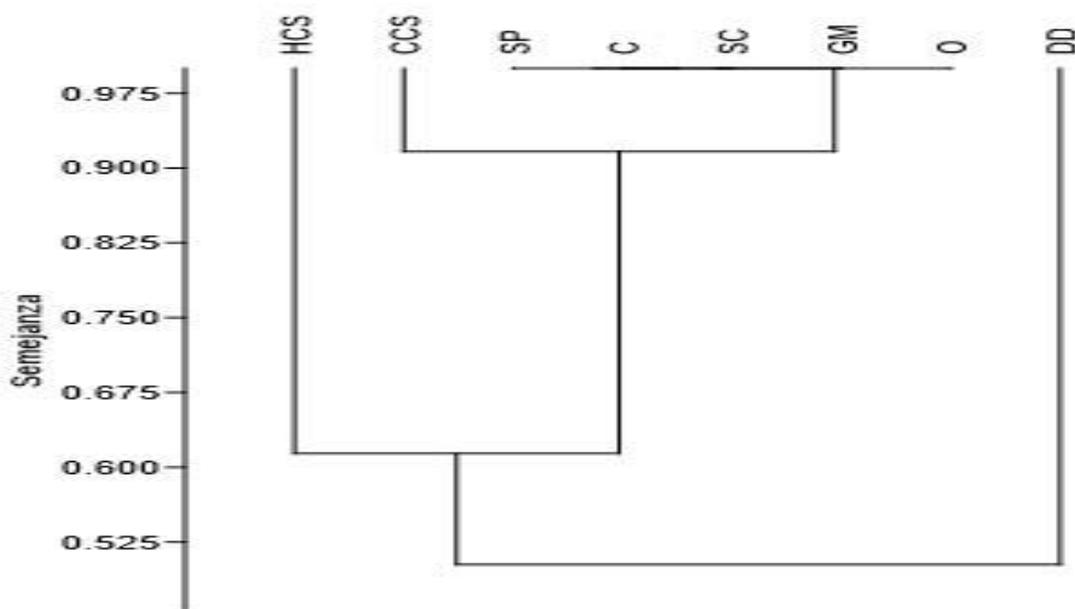


Figura 9. Dendrograma de afinidad entre los grupos funcionales según los índices de Kulczynski.

Tabla 2. Índices de similitud de Kulczynski entre los ocho grupos funcionales de hormigas colectadas en la Sierra Montenegro, Morelos.

Grupos funcionales	SC	C	DD	HCS	CCS	SP	GM	O
SC	1	1	0.58	0.66	0.9	1	1	1
C		1	0.58	0.66	0.9	1	1	1
DD			1	0	0.6	0.58	0.58	0.58
HCS				1	0.35	0.66	0.66	0.66
CCS					1	0.9	0.9	0.9
SP						1	1	1
GM							1	1
O								1

C= Crípticas, **CCS=** Especialista de clima frío, **HCS=** Especialista de clima cálido, **SC=** Camponotini subordinada, **O=** Oportunistas, **DD=** Dolichoderinae dominantes, **SP=** Especialistas depredadoras, **GM=** Myrmicinas generalistas. Los valores se encuentran entre 0 y 1, valores cercanos a 1 son los grupos más compartidos.

Discusión

Taxonómicamente, la mayor riqueza de hormigas está representada por la subfamilia Myrmicinae (48 %) seguida de la subfamilia Formicinae (29 %). Ambas subfamilias cuentan con una amplia distribución geográfica, especialmente en regiones tropicales y pantropicales (Hölldobler y Wilson 1990; Bolton, 1995) y cuentan con extensos grupos funcionales que va desde la recolección de hojas, semillas, insectos hasta el cultivo de hongos (Sudd y Franks 1987; Delabie y Fernández, 2003; Standler y Dixon, 2005; Miñarro et al., 2010). Los datos concuerdan con los datos registrados de formícidos a nivel mundial y a nivel nacional (Brown, 1973; Bolton, 1994, 1995; Hölldobler y Wilson 1990; Folgarait, 1998; Rojas, 2001; Ríos-Casanova, 2014; Vázquez-Bolaños, 2011; 2015; Campbell et al., 2015; Dáttilo et al., 2020). Los géneros de hormigas más ricos en especies fueron *Pheidole*, *Camponotus* y *Temnothorax* los que han sido descritos como los géneros más abundantes y más distribuidos en México (Ríos-Casanova, 2014). Sin embargo, la estimación de la riqueza de especies podría aumentar si se realiza un muestreo en ambas estaciones, es decir, lluvias y secas.

Respecto al esfuerzo de muestreo, se muestra que la heterogeneidad del sitio no fue completamente cubierta, ya que la riqueza de especies se encontró por debajo de la asíntota de los estimadores no paramétricos (Lamas y Harvey 1991). Tal vez la baja riqueza de especies de hormigas que se presenta se deba a que se priorizó a las hormigas terrestres con un solo método de colecta que consistía en las trampas de caída y aunque este método de captura sea eficaz tanto para especies terrestres como arbóreas que se encuentran forrajeando en el suelo (Hussain et al., 2018) se requiere implementar otras técnicas de muestreo para hormigas arbóreas como las del género

Pseudomyrmex y técnicas directas como la recolecta manual (Quiroz-Robledo y Valenzuela-González 2006; 2007). Estos métodos funcionarían para recolectar hormigas que se encuentran forrajeando en las piedras donde no hay suelo factible para colocar las trampas de caída.

Respecto a la abundancia de las comunidades hormigas no se presentaron diferencias significativas en los niveles altitudinales dentro del sitio de muestreo a lo largo de los gradientes, por lo cual se puede deducir que los sitios de forrajeo, anidación y alimento son óptimos para las comunidades de hormigas que se encuentran distribuidas de forma homogénea dentro de la ladera. Los datos no mostraron ninguno de los patrones ecológicos como los mencionados por Rahbek (1995) y McCain (2009), que difieren completamente de otros trabajos donde la abundancia es mayor en los sitios bajos y medios, disminuyendo en las partes altas (Kusnezov, 1957; Lawton et al., 1987; Valenzuela- González, 2013; García-Pérez et al., 1992; Quiroz-Robledo y Valenzuela-González, 2006; 2007). Es decir, la abundancia relativa fue mayor en los extremos del sitio de muestreo demostrando un decremento en los estratos medios, principalmente en el nivel 2 y manteniéndose más o menos constante en los niveles 3, 4 y 5. Esto podría explicarse bajo la hipótesis denominada “dominio medio” que sugiere que las altitudes intermedias de un gradiente pueden presentar condiciones favorables tanto para especies de altitudes bajas como altas y que depende de diferentes factores tanto físicos como biológicos, por ejemplo: la composición estructural del sitio donde existen limitantes de distribución, los determinantes climáticos del área y los límites de rangos de cada taxón (Colwell y Lees, 2000). Algunas objeciones sobre esta hipótesis proponen que el patrón observado se

debe más a una baja deficiencia de muestreo que a un patrón real de distribución de abundancia (Muñoz y Amarillo-Suarez, 2010). Tomando en cuenta a Muñoz y Amarillo-Suárez (2010) para tener un mejor resultado en cuanto a la riqueza, abundancia y diversidad de hormigas, habría que implementar más métodos de recolecta y en diferentes estaciones del año.

Sobre la diversidad de acuerdo con los índices de Shannon-Wiener y la dominancia según el índice de Simpson, el sitio 4 (1385) fue el menos diverso (0.94) y dominante (0.41) con respecto a los demás sitios, en esta parte se encontraban parches de piedras, poca vegetación, poca cobertura vegetal y la incidencia solar era más alta, por lo que se atribuye que la estratificación del suelo así como los nutrientes que podrían encontrarse en esta zona sea la responsable de la baja diversidad y dominancia de las comunidades de hormigas presentes. Los sitios con mayor diversidad y dominancia de especies que presentaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) fueron los que se encontraron en los sitios adyacentes al sitio 4, es decir, el sitio 5 y 3. Tal vez esto se deba a que las condiciones físicas de estos sitios son más óptimas para las hormigas, ya que cuenta con mayor vegetación, mayor cobertura vegetal que brinda la posibilidad de tener más fuentes de alimento, asimismo existe poca incidencia solar, lo cual beneficia al forrajeo óptimo de muchas de las especies de hormigas.

La abundancia de las comunidades de hormigas no fue significativa dentro de los niveles altitudinales, sin embargo, a nivel de especies sí se presentó una diferencia significativa siendo más abundantes *Pheidole morelosana*, *Pheidole tolteca*, *Pheidole* sp. 1, *Solenopsis* sp.1 y *Solenopsis geminata*. *Solenopsis* y *Pheidole* tienen una

distribución cosmopolita por lo cual ocupan diversos nichos, se han adaptado a diversos ecosistemas, son especies generalistas que aprovechan una amplia fuente de alimentos y sitios de anidación (Fisher et al., 2007; Castro et al., 2008; Guerrero y Sarmiento, 2010; Salcido-López et al., 2012; García-Martínez et al., 2013; Vázquez-Bolaños, 2011; 2015; Deyrup, 2017; Dáttilo et al., 2020). Ambos géneros han sido recolectados en diferentes hábitats a niveles altitudinales desde el nivel del mar hasta los 2500 m s.n.m, (Brown, 1973; Castro et al., 2008; Guerrero y Sarmiento, 2010; Salcido-López et al., 2012; Valenzuela-González et al., 2013). Las especies de *Pheidole* suelen ser muy abundantes en sitios áridos donde toleran altas temperaturas que van de 35 a 55 grados y alta radiación solar, aunque en general, son especies especialistas, algunas de ellas suelen ser especialistas recolectoras de semillas, tienen un sistema de castas muy marcados entre soldados y obreras (Davidson, 1977; Davidson et al., 1984). *Pheidole tolteca* fue más abundante en el primer nivel, tal vez es una especie con alto grado de tolerancia al disturbio debido a que en el primer nivel del sitio de amortiguamiento existe más presencia humana y más alteración al ecosistema natural (Lalana, 2010). Por otro lado, *Pheidole morelosana* se encontró de manera abundante en todos los niveles altitudinales, pero más aún en el nivel 4 donde se encontraban parches de piedras con poca vegetación y cobertura vegetal, por lo que podría ser también una especie con alta tolerancia a la radiación solar (Davidson, 1977). Para las especies de *Solenopsis*, la abundancia se ve beneficiada por diversas razones, por ejemplo, su sistema de castas poligínico le permite tener una distribución muy extensa, la tolerancia a sitios perturbados y a que son especies generalistas con alto potencial de competir por los recursos con otras hormigas del suelo (Rojas, 2001;

Wetterer, 2011). Un ejemplo es *Solenopsis geminata*, considerada una especie introducida en algunas regiones del planeta como son las regiones Oriental, Paleártica y Afrotropical. Sin embargo, para la región Neártica y Neotropical cumplen una función ecológica muy importante entre los que destaca el equilibrio biológico de otros insectos (Rojas, 2001; Choate y Brummond, 2011; Picanco 2014). De acuerdo con García-Martínez (2013) en un paisaje montano de Veracruz, *Solenopsis* y *Pheidole* equivalen al 51.4% de las comunidades de hormigas en su estudio.

Del total de especies de hormigas, diez se encuentran distribuidas en cinco y seis de los diferentes niveles altitudinales dentro de la ladera. Dentro de Mirmycinae se encuentran *Pheidole morelosana*, *Pheidole tolteca*, *Pheidole* sp. 1, *Solenopsis* sp.1, *Solenopsis geminata* y *Temnothorax* sp. 1. Estas se distribuyen del nivel del mar hasta los 2700 m s.n.m, encontrándose una mayor riqueza a mayor altitud (Schulz et al., 2007). Dentro de Formicinae, *Brachymyrmex heeri* se encuentra bien distribuida en la región neotropical, aunque ha sido capaz de tolerar otros ecosistemas en diversas regiones por lo cual se considera una especie cosmopolita (Kempf, 1972; Del Toro et al., 2009). Su presencia en todos los niveles tal vez se debe a su estilo de vida en ambientes crípticos, es decir, ambientes poco explotados por otros organismos como puede ser la bajo las piedras, bajo la hojarasca o bajo el subsuelo, su alta tolerancia a las perturbaciones, son especies poligínicas con varias reinas que pueden vivir juntas por lo cual su distribución en toda la ladera se ve beneficiada (Fisher y Cover, 2007).

De las siete especies del género *Camponotus*, *Camponotus* sp. 1 y *C. rectangularis* se encontraron distribuidas en todos los gradientes altitudinales. Las hormigas del género *Camponotus* son las más diversas en la región neotropical, con el

mayor número de especies para la subfamilia Formicinae, además dentro del género existe una variedad de especies tanto arbóreas como del suelo. Habitan desde el nivel del mar hasta los 3000 m (Hölldobler y Wilson 1990; Bolton, 1994, 1995; Fernández, 2003; Deyrup, 2017; Dáttilo et al., 2020).

De la subfamilia Ponerinae se recolectaron *Odontomachus clarus* y *Odontomachus laticeps*, esta última se encontró distribuida en toda la ladera. *Odontomachus* está compuesto de especies de gran tamaño con mandíbulas largas con la capacidad de abrirse hasta 180 grados; son especies de gran importancia dentro de los ecosistemas ya que tienen hábitos que por lo general suelen ser especialistas depredadoras con una limitada fuente de alimento, aunque también contribuyen en la dispersión de semillas al ser “engañadas” por las plantas en un proceso denominado mirmecocoria (Wheeler, 1910; Hölldobler y Wilson, 1990; Quiroz- Robledo y Valenzuela-González 2007). En el estudio realizado por Quiroz-Robledo y Valenzuela-González (2007) se ha reportado para ambas especies una distribución que va de los 890 a 1890 m s.n.m. para *Odontomachus clarus* y de 1054 a 1480 m s.n.m. para *Odontomachus laticeps*.

Otras especies de hormigas como *Trachymyrmex* sp. 1 y *Camponotus atriceps* podrían estar distribuidos en toda la gradiente altitudinal ya que se encontraron de manera intercalada en la mayoría de los sitios, sin embargo, debido a la composición físico-química del sitio de recolecta, el asentamiento de sus colonias se ven limitadas o podría ser que el muestreo a través de las trampas de caída no fue suficiente para recolectarlas. *Camponotus atriceps* ocupa una amplia distribución geográfica y es muy tolerante a las perturbaciones humanas por lo cual se esperaría que debido a su

abundancia y capacidad de tolerancia esté presente en todo el sitio de muestreo. Por otro lado, *Crematogaster* sp. 1, se encontró distribuida en 4 de los 6 sitios, excepto los dos primeros niveles. Este género contiene hormigas arbóreas presente en áreas templadas y tropicales (Lanch et al., 2010). Es probable que la baja abundancia de recolecta se deba a sus hábitos arbóreos lo cual hace que forrajeo muy poco en el suelo y no se encontraron en los dos primeros niveles debido a la baja abundancia de árboles. Las especies encontradas en los niveles medios fueron *Camponotus pudorosus*, *Cyphomyrmex flavidus*, *Temnothorax* sp. 2 y *Temnothorax* sp. 3. En el sexto nivel (1577) se encontró la mayoría de especies únicas aunque con poca abundancia relativa como *Camponotus rubrithorax*, *Ectatomma tuberculatum*, *Forelius pruinosus*, *Gnamptogenys striatula* y *Temnothorax* sp. 4, seguido del cuarto nivel (1481) con *Aphaenogaster huachucana*, *Camponotus* sp. 3, *Eciton vagans*, *Pseudomyrmex gracilis* y el tercer nivel (1385) con *Camponotus* sp. 2, *Odontomachus clarus* y *Pheidole tepicana* la distribución de estas especies podrían estar en la parte media-alta de la zona de estudio.

En el índice de similitud de Jaccard, se observa que no hay niveles altitudinales con similitud cero, lo cual significa que todas las comunidades de hormigas se encuentran distribuidas en toda la ladera, a pesar de que existe mayor similitud entre unas y otras, es decir, aquellos que se encuentran con valores cercanos a 1. El nivel 1 con el nivel 2 son más parecidas con respecto a todos los niveles (0.76), el nivel 3 se encuentra más relacionada con el nivel 1 (0.6) y 2 (0.7). El nivel 6 está más relacionado con el nivel 3 (0.66) con respecto a todas las demás y el nivel 5 se relaciona con el nivel 6 (0.46). Podría ser que esto se deba a la estratificación del sitio, la poca

incidencia solar, la cobertura vegetal y a la vegetación en sí que crea ambientes óptimos para el forrajeo y la anidación de las especies de hormigas que se encontraron en estos niveles altitudinales (Blackburn y Gaston, 1996; Sayer, 2006; Kaspari y Weiser, 2012;). El nivel 4 no se relaciona con ninguno de los 5 niveles, ya que se encuentra muy por debajo del límite oscilando entre 0.4 y 0.5 según el dendograma de afinidad de Jaccard, tal vez esto se deba a que la diversidad (0.94) y dominancia (0.41) fueron menores con respecto a los demás sitios.

De las 33 especies de hormigas se encontraron siete diferentes grupos funcionales según los criterios elaborados por Andersen (1995; 1997). El grupo funcional que corresponde a los especialistas del clima, se dividió en dos diferentes grupos haciendo un total de ocho grupos funcionales, los cuales quedaron representados de la siguiente manera:

1.- Oportunistas (O): que comprende especies como *Aphaenogaster huachucana*, *Ectatomma tuberculatum*, *Gnamptogenys striatula*, *Nylanderia* sp. 1, *Pseudomyrmex gracilis*, *Tapinoma melanocephalum*, *Temnothorax* sp. 1, *Temnothorax* sp. 2, *Temnothorax* sp. 3 y *Temnothorax* sp. 4. Estas suelen ser poco diversas y se adaptan rápidamente a ambientes perturbados por el hombre (Anderson, 1997). *Nylanderia* sp. 1 se encontró en el primer nivel con lo que se considera tolerante al disturbio.

2.- Mirmicinas generalistas (GM): *Crematogaster* sp. 1, *Pheidole morelosana*, *Pheidole* sp. 1, *Pheidole* sp. 2, *Pheidole tepicana*, *Pheidole tolteca*, *Solenopsis geminata* y *Solenopsis* sp. 1. *Crematogaster* sp. 1 es una mirmicina generalista en árboles, lugar donde se alimentan de exudados de insectos. Las especies *Pheidole* y *Solenopsis* son consideradas especies termófilas que suelen forrajear con exceso de radiación solar,

aunque son especies generalistas que aprovechan cualquier recurso para su alimentación, sus sitios de anidación se encuentran por lo general en el suelo (Rojas, 2001; Wilson 2003).

3.- Camponotini subordinadas (SC): Todas las especies del género *Camponotus* son hormigas que anidan tanto en el suelo como en los árboles, son omnívoras, es decir se alimentan tanto de secreciones de las plantas, como de insectos y carroña, suelen forrajear en las noches (Holldobler y Wilson, 1990), su abundancia relativa es baja.

4.- Crípticas (C): *Brachymyrmex heeri* se considera una especie críptica abundante en la hojarasca y bajo las piedras (Forel, 1874). Dentro de la subfamilia Formicinae fue la especie más abundante en toda la ladera, de acuerdo con Anderson (1995; 1997), las especies crípticas ocupan una gran cobertura vegetal.

5.- Especialistas depredadoras (SP): *Odontomachus clarus*, *Odontomachus laticeps* son terrestres, explotan diversos espacios para anidar en el suelo, bajo piedras o troncos e incluso suelen anidar en nidos vacíos de termitas. Se alimentan principalmente de artrópodos vivos, por sus hábitos alimenticios no tiene mucha interacción con otras hormigas (Holldobler y Wilson, 1990, Quiroz-Robledo y Valenzuela-González 2007). *Eciton vagans* y *Labidus coecus*, son especies comúnmente conocidas como legionarias. Estas especies de hormigas no construyen nidos propios, si no que aprovechan otros nidos de otras hormigas que ya han sido vaciadas o bien construyen vivaques que son nidos de hormigas superpuestas para mantener una óptima temperatura (Franks,1989). Suelen forrajear en las noches, también son de hábitos crepusculares, se mueven por columnas, por lo general no tienen contacto con otras hormigas (Holldobler y Wilson, 1990). La recolecta de estas

hormigas nos demuestra que el sitio a pesar de ser un sitio de amortiguamiento con presencia humana, aún se encuentra relativamente conservado, por lo que la disponibilidad de alimento en cuanto a otros artrópodos es vasta.

6.- Especialista del clima frío (CCS): *Trachymyrmex* sp. 1 de hábitos nocturnos y son especialistas cultivadoras de hongos, por lo cual no suelen competir por otros recursos con otras especies de hormigas.

7.- Especialista del clima cálido (HCS): *Cyphomyrmex flavidus*, se conoce muy poco sobre la biología de esta especie, aunque también es una hormiga especialista cosechadora de hongos, que habita en sitios áridos (Anderson, 1995; 1997) es decir, son muy tolerantes a la radiación solar, por lo cual suelen forrajear bajo la luz del sol.

8.- Dolichoderinae dominantes (DD): *Forelius pruinosus* es termófila capaz de tolerar altas temperaturas y radiación solar, es común en hábitats abiertos como desiertos, matorrales, suelen alimentarse de carroña, también forman asociaciones mutualistas con áfidos y suelen alimentarse también de nectarios extra florales (Anderson, 1995; 1997).

Aunque las hormigas se encuentren separadas en grupos funcionales específicos, muchas especies comparten características semejantes en cuanto a la alimentación, los sitios de anidación y el forrajeo. Por esto, estas se encuentran compitiendo por los recursos en toda la ladera, como es el caso de las oportunistas, mirmicinas generalistas, camponotini subordinadas, crípticas y las especialistas depredadoras, aunque por sus hábitos alimenticios podría ser que esta última no se encuentre interactuando con otras especies de hormigas.

Conclusiones

- La reserva Sierra Montenegro, alberga una gran cantidad de riqueza de hormigas en tan solo una de sus estacionalidades, tal como la temporada de secas.
- Los géneros de hormigas más diversos en cuanto a especies son *Pheidole*, *Camponotus* y *Temnothorax*.
- La abundancia de hormigas se encuentra presente de manera homogénea en los sitios de muestreo de los diferentes niveles altitudinales, sin embargo, la diversidad varia de un sitio a otro, pero no refleja un patrón de distribución como los mencionados en otros trabajos, por lo que los recursos bióticos son favorables para todas las especies presentes.
- Hormigas especialistas como las depredadoras muestran que la Sierra Montenegro aún conserva diversos recursos bióticos para mantener la biodiversidad de diversos organismos, entre ellos los insectos que contribuyen a la cadena trófica.

Literatura citada

- Achury, R., P. Chacón de Ulloa and Á. Arcila. 2012. Effects of the heterogeneity of the landscape and the abundance of *Wasmannia auropunctata* on ground ant assemblages in a Colombian tropical dry forest. *Psyche: A Journal of Entomology* 2012: 1–12.
- Amarasekare, P. and R. M. Coutinho. 2014. Effects of temperature on intraspecific competition in ectotherms. *The American Naturalist* 184 (3): 50-65.
- 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.
- Andersen, A. N. 1995. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. *Journal of Biogeography* 20: 15-29.
- Baccaro, F. B., R.M. Feitosa, F. Fernández, I. O. Fernandes, T. J. Izzo, J. L. P. Souza e R. Solar. 2015. *Guia para os gêneros de formigas do Brasil*. Editora INPA, Manaus, Brasil.
- Blackburn, T. M. and K. J. Gaston. 1996. A sideways look at patterns in species richness or why there are so few species outside the tropics. *Biodiversity Letters* 3 (2): 44-53.

- Blackburn, T. M. and K. J. Gaston. 1997. A critical assessment of the form of the interspecific relationship between abundance and body size in animals. *Journal of Animal Ecology* 66 (2): 233-249.
- Blatrix, R., S. Bouamer, S. Morand and M. A. Selosse. 2009. Ant-plant mutualisms should be viewed as symbiotic communities. *Plant Signaling and Behavior* 4 (6): 554-556.
- Bolton, B. 1994. *Identification guide to the ant genera of the World*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Bolton, B. 1995. A taxonomic and zoogeographical census of the extant ant taxa (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Natural History* 29: 1037 -1056.
- Bolton, B. 2020. *An online catalog of the ants of the world*. Recuperado de <http://antcat.org>.
- Brady, S. G., T. R. Schultz, B. L. Fisher and P. S. Ward. 2006. Evaluating alternative hypotheses for the early evolution and diversification of ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (48): 18172–18177.
- Brothers, D. J. and J. M. Carpenter. 1993. Phylogeny of Aculeata: Chrysoidea and Vespoidea. *Journal of Hymenoptera Research* 2: 227-304.
- Brown, W. L., Jr. 1973. A comparison of the Hylean and Congo-West African rain forest ant faunas. Pp. 161-185. In: Meggers, B. J., E. S. Ayensu and W. D. Duckworth (eds.). *Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review*. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C.

- Campbell, H., M. D. Fellowes and J. M. Cook. 2015. Species diversity and dominance-richness relationships for ground and arboreal ant (Hymenoptera: Formicidae) assemblages in Namibian desert, saltpan, and savannah. *Myrmecological News* 21: 37-47.
- Carroll, C. R. and D. H. Janzen. 1973. Ecology of foraging by ants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4 (1): 231-257.
- Castro, D. S., C. C. Vergara and U. C. Arellano. 2008. Distribution of the richness, taxonomic composition and functional group of soil's ants along an altitudinal gradient Atlaquipampa Wildlife Refuge, Lambayeque-Perú. *Ecología Aplicada* 7 (1, 2): 89-103.
- Castro-Franco, R. y M. G. Bustos. 2016. *Anfibios y reptiles de la Sierra Montenegro-Las Trincheras y el cerro el Chumil, Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Biológicas. SNIB-CONABIO. CDMX.*
- CEAMA. 2010. *Programa de manejo "Reserva estatal Sierra Montenegro"*. México: Comisión Estatal del Agua y el Medio Ambiente.
- Choate, B. and F. Brummond. 2011. Ants as biological control agents in agricultural cropping systems. *Terrestrial Arthropod Reviews* 4 (2): 157-180.
- Costa, A. N., H. L. Vasconcelos, E. H. Vieira-Neto and E. M. Bruna. 2008. Do herbivores exert top-down effects in Neotropical savannas? Estimates of biomass consumption by leaf-cutter ants. *Journal of Vegetation Science* 19 (6): 849-854.

- Colwell, R. K. and D. C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology and Evolution* 15 (2): 70-76.
- Cruz, N. G., P. F. Cristaldo, L. Bacci, C. S. Almeida, G. P. Camacho, A. S. Santana and A. P. Araújo. 2017. Variation in the composition and activity of ants on defense of host plant *Turnera subulata* (Turneraceae): strong response to simulated herbivore attacks and to herbivore's baits. *Arthropod-Plant Interactions* 12 (1): 113-121.
- Cuezzo, F. and R. J. Guerrero. 2012. The ant genus *Dorymyrmex* Mayr (Hymenoptera: Formicidae: Dolichoderinae) in Colombia. *Psyche* 2012: 1 – 24.
- Dáttilo, W., M. Vásquez-Bolaños, D. A. Ahuatzin, R. Antoniazzi, E. Chávez-González, E. Corro, ... and J.C.D Falcão. 2020. Mexico ants: incidence and abundance along the Nearctic–Neotropical interface. *Ecology* 101 (4): 1-59
- Davidson, D. W. 1977. Foraging ecology and community organization in desert seed-eating ants. *Ecology* 58 (4): 725-737.
- Davidson, D. W., R. S. Inouye and J. H. Brown. 1984. Granivory in a desert ecosystem: experimental evidence for indirect facilitation of ants by rodents. *Ecology* 65 (6): 1780-1786.
- Deyrup, M. 2017. *Ants of Florida identification and natural history*. CRC Press. Florida, USA.

- Del Toro, S., M. Vázquez, P. W. Mackay, P. Rojas y R. Zapata-Mata. 2009. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Tabasco: explorando la diversidad de la mirmecofauna en las selvas tropicales de baja altitud. *Dugesiana* 6 (1): 1- 14.
- Delabie, J. H. C. y F. Fernández. 2003. Relaciones entre hormigas y «Homópteros» (Hemiptera: Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha). En: F. Fernández (ed.). *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Pp. 181-197. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos. Biológicos Alexander von Humboldt.
- Dorado, O., B. Maldonado, D. M. Arias, V. Sorani, R. Ramírez, E. Leyva y D. Valenzuela. 2005. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera de Huautla. CONANP-SEMARNAT. México. D.F. 143 p.
- Dunn, R. R., D. Agosti, A. N. Andersen, X. Arnan, C. A. Bruhl, X. Cerdá, ... and N. J. Gotelli. 2009. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. *Ecology Letters* 12 (4): 324-333.
- Elmes, G. W. 1991. The social biology of *Myrmica* ants. *Actes des Colloques Insectes Sociaux* 7:17-34.
- Falibene, A. and R. Josens. 2011. Sucrose acceptance threshold: a way to measure sugar perception in ants. *Insectes Sociaux* 59 (1): 75–80.
- Farji Brenerl, A. G., P. Folgarait and J. Protomastro. 1992. Asociación entre el arbusto *Capparis retusa* (Capparidaceae) y las hormigas *Camponotus blandus* y *Acromyrmex striatus* (Hymenoptera: Formicidae). *Revista de Biología Tropical* 40 (3): 341- 344.

- Fernández, F. 2000. Sistemática y filogenia de los himenópteros de la Región Neotropical: Estado del conocimiento y perspectivas. Pp. 211-231. En: F. Martín-Piera, J. J. Morrone y A. Melic (eds.). *Hacia un proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica: PRIBES 2000*. Monografías Tercer Milenio. Zaragoza, España.
- Fernández, F. 2003. *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. XXVI
- Fernández, F. and S. Sendoya. 2004. Synonymic list of Neotropical ants (Hymenoptera: Formicidae). *Biota Colombiana* 5 (1): 3- 105.
- Fisher, B. L. and S. P. Cover. 2007. *Ants of North America: a guide to the genera*. California: USA. University of California Press.
- Folgarait, P. J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7 (9): 1221-1244.
- Fowler, G., C. Bueno, T. Sadatsune and C. Montelli. 1993. Ants as potential vectors of pathogens in hospitals in the state of Sao Paulo, Brazil. *International Journal of Tropical Insect Science* 14 (3): 367-370.
- Forel, A. 1874. Les fourmis de la Suisse. Systematique, notices anatomiques et physiologiques, architecture, distribution géographique, nouvelles experiences et observations de moeurs. *Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die Gesamten Naturwissenschaften* 26: 1-452.

- Franks, N. R. 1989. Army ants: a collective intelligence. *American Scientist* 77: 139-145.
- García- Martínez, M. A., D. L. Martínez-Tlapa, L. N. Quiroz-Robledo y J. E. Valenzuela-González. 2013. Diversidad alfa y beta de los ensambles de hormigas en un paisaje montano de Veracruz. Pp. 179 -183. En: Vásquez-Bolaños, M., G. Castaño-Meneses, A. Cisneros-Caballero, G. A. Quiroz-Rocha y J. L. Navarrete-Heredia (Eds.). *Formicidae de México*. Orgánica Editores, Guadalajara, México.
- García-Pérez J. A., W. P. Mackay, D. González-Villareal y R. Camacho-Trujillo. 1992. Estudio preliminar de la mirmecofauna del Parque Nacional Chipinque, Nuevo León, México y su distribución altitudinal. *Folia Entomológica Mexicana* 86: 179-183.
- Greenslade P. J. M. 1978. Ants. The physical and biological features of Kunoth paddock in Central Australia. Pp. 109-113. In: W. A. Low. *Division of Land Resources Technical Paper No. 4*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Canberra, Australia.
- Guerrero, J. A., R. Cerros-Tlatilpa, E. Urzúa y A. Rizo-Aguilar. 2015. Indicadores de biodiversidad del estado de Morelos. Pp 3-41. En: Ortíz-Hernández, M. L., E. Sánchez-Salinas, M. L. Castrejón-Godínez y M. Romero-Aguilar (compiladores). *Los indicadores ambientales como herramientas para la sustentabilidad*. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Guerrero, R. J. and C. E. Sarmiento. 2010. Altitudinal distribution of ants (Hymenoptera, Formicidae) in the Northwest slope of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Zoológica Mexicana* 26 (2): 279-302.

- Gullan, P. J. and P. S. Cranston. 2005. *The insects. An outline of entomology*. Blackwell Publishing Ltd. Chichester, West Sussex.
- Herz, H., W. Beyschlag and B. Hölldobler. 2007. Herbivory rate of leaf-cutting ants in a tropical moist forest in Panama at the population and ecosystem scales. *Biotropica* 39 (4): 482-488.
- Hölldobler, B. and E. O. Wilson. 1990. *The Ants*. The Belknap Press. Harvard. 732 p.
- Hu, J., F. Xie, C. Li and J. Jiang. 2011. Elevational patterns of species richness, range and body size for spiny frogs. *PLoS One* 6 (5): e19817.
- Huang, H. T. and P. Yang. 1987. The ancient cultured citrus ant. *BioScience* 37 (9): 665-671.
- Hussain, A. S., G. A. Ganaie, M. Thomas, R. Bhandari and Y. A. Rather. 2018. Ant pitfall trap sampling: An overview. *Journal of Entomological Research* 42 (3): 421-436.
- Itino, T., S. J. Davies, H. Tada, Y. Hieda, M. Inoguchi, T. Itioka, ... and T. Inoue. 2001. Cospeciation of ants and plants. *Ecological Research* 16 (4): 787-793.
- Jones, C. G., J. H. Lawton and M. Schachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373–386.
- Kallal, R. J. and S. Lapolla. 2012. Monograph of *Nylanderia* (Hymenoptera: Formicidae) of the world, part II: *Nylanderia* in the Nearctic. *Zootaxa* 3508 (1): 1-64

- Kaspari, M., S. O'Donnell and J. R. Kercher. 2000. Energy, density, and constraints to species richness: ant assemblages along a productivity gradient. *The American Naturalist* 155 (2): 280-293.
- Kaspari, M. and M. D. Weiser. 2012. Energy, taxonomic aggregation and the geography of ant abundance. *Ecography* 35 (1): 65-72.
- Kempf, W. W. 1972. Catálogo abreviado das formigas da região Neotropical. *Studia Entomologica* 15: 3-344.
- Koleff, P., J. Soberón, H. T. Arita, P. Dávila, O. Flores-Villela, J. Golubov, ... y M. Munguía. 2008. *Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies, en Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.* Conabio, México D. F.
- Kusnezov, N. 1957. Numbers of species of ants in faunae of different latitudes. *Evolution* 11 (3): 298-299.
- Lalana, J. L. 2010. Las zonas de amortiguamiento. *Documentos Centro Ciudades Patrimonio Mundial.* Universidad de Valladolid, Madrid, España.
- Lamas, G., R. K. and D. J. Harvey. 1991. A preliminary survey of the butterfly fauna of Pakitza, Parque Nacional del Manu, Perú, with an estimate of its species richness. *Publicaciones del Museo de Historia Natural Universidad Nacional Mayor de San Marcos (A)* 40: 1-19.
- Lattke, J. E. 2003. Conservación de una colección de hormigas. Pp. 211-218. En: Fernández F. (Ed.). *Introducción a las hormigas de la región Neotropical.*

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
Bogotá, Colombia.

Lawton, J. H., M. MacGarvin and P. A. Heads. 1987. Effects of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores on bracken. *The Journal of Animal Ecology* 1: 147-160.

Lindsey, P. A., and J. D. Skinner. 2001. Ant composition and activity patterns as determined by pitfall trapping and other methods in three habitats in the semi-arid Karoo. *Journal of Arid Environments* 48 (4): 551-568.

Longino, J. T., M. G. Branstetter and P. S. Ward. 2019. Ant diversity patterns across tropical elevation gradients: effects of sampling method and subcommunity. *Ecosphere* 10 (8): e02798.

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

Longino, J. T., M. G. Branstetter and R. K. Colwell. 2014. How ants drop out: ant abundance on tropical mountains. *PloS one* 9 (8): e104030.

Mackay, W. P. y E. E. Mackay. 1989. Claves de los géneros de hormigas en México (Hymenoptera: Formicidae). Pp. 1-82. En: L. N. Quiroz-Robledo y L. M. P. Garduño-Hernández (Eds.), *Memorias del II Simposio Nacional de Insectos Sociales*. Oaxtepec, Morelos. México. Sociedad Mexicana de Entomología.

- MacMahon, J. A., J. F. Mull and T. O. Crist. 2000. Harvester ants (*Pogonomyrmex* spp.): their community and ecosystem influences. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31 (1): 265-291.
- Mani, M. S. 1968. Ecology and biogeography of high-altitude insects. *Series Entomológicas* 4: 292- 296.
- Maschwitz, U., K. Koob and H. Schildknecht. 1970. Ein Beitrag zur Funktion der Metathoracaldriise der Ameisen. *Journal of Insect Physiology* 16: 387-404.
- McCain, C. M. 2007. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography* 16 (1): 1-13.
- McCain, C. M. 2009. Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography* 18 (3): 346-360.
- McCain, C. M. and J. A. Grytnes. 2010. Elevational gradients in species richness. *Encyclopedia of Life Sciences* 1: 1- 10.
- Meiri, S. and T. Dayan. 2003. On the validity of Bergmann's rule. *Journal of Biogeography* 30 (3): 331-351.
- Miñarro, M., G. Fernández-Mata and P. Medina. 2010. Role of ants in structuring the aphid community on apple. *Ecological Entomology* 35 (2): 206-215.
- Morales-Castilla, I., y R. García-Valdés. 2014. Gradientes latitudinales de diversidad inversos ¿excepciones que prueban la regla? *Revista Ecosistemas* 23 (1): 4-12.

- Mueller, U. G., H. D. Ishak, S. M. Bruschi, C. C. Smith, J. J. Herman, S. E. Solomon, ... and A. Rodrigues. 2017. Biogeography of mutualistic fungi cultivated by leafcutter ants. *Molecular Ecology* 26 (24): 6921-6937.
- Mull, J. F. and J. A. MacMahon. 1996. Factors determining the spatial variability of seed densities in a shrub-steppe ecosystem: the role of harvester ants. *Journal of Arid Environments* 32 (2): 181-192.
- Muñoz, A. and A. Amarillo-Suárez. 2010. Altitudinal variation in diversity of Arctiidae and Saturniidae (Lepidoptera) in a Colombian cloud forest. *Revista Colombiana de Entomología* 36 (2): 292-299.
- Ortiz-Sepulveda, C. M., B. Van Bocxlaer, A. D. Meneses and F. Fernández. 2019. Molecular and morphological recognition of species boundaries in the neglected ant genus *Brachymyrmex* (Hymenoptera: Formicidae): Toward a taxonomic revision. *Organisms Diversity and Evolution* 19 (3): 447-542.
- Pacheco, J. A. and W. P. Mackay. 2013. *The Systematics and Biology of the New World Thief Ants of the Genus Solenopsis (Hymenoptera: Formicidae)*. Edwin Mellen Press, Lewiston, N. Y.
- Pérez-Domínguez J. F., M. Villalvazo-Palacios y M. Vásquez- Bolaños. 2015. Distribución altitudinal de hormigas poneromorfas (Hymenoptera: Formicidae) en Sierra de Quila y Noroeste de Jalisco. *Entomología Mexicana* 2: 595-600.
- Petal. J. 1978. The role of ants in ecosystems. Pp. 293–325. En: M. V. Brian (ed.) *Production Ecology of Ants and Termites*. International Biological Programme, London, Cambridge University Press.

- Picanço, M. C. 2014. Natural biological control of lepidopteran pests by ants. *Sociobiology* 59 (4): 1389-1399.
- Plowes, N. J. and R. Patrock. 2000. A field key to the ants (Hymenoptera, Formicidae) found at Brackenridge field laboratories, Austin, Travis County, Texas. *Austin (US): Brackenridge Field Laboratories University of Texas* 1: 1-22.
- Quiroz-Robledo, L. and J. Valenzuela-González. 2007. Distribution of poneromorph ants (Hymenoptera: Formicidae) in the Mexican state of Morelos. *Florida Entomologist* 90: 609-615.
- Quiroz-Robledo L. y J. Valenzuela-González. 2006. Las hormigas Ecitoninae (Hymenoptera: Formicidae) del estado de Morelos, México. *Revista de Biología Tropical* 54: 531-552.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18: 200-205.
- Rico-Gray, V., P. S. Oliveira and P. S. Oliveira. 2007. *The ecology and evolution of ant-plant interactions*. University of Chicago Press. Chicago. USA.
- Ríos-Casanova, L. 2014. Biodiversidad de hormigas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 392-398.
- Roig, X. y X. Espadaler. 2010. Propuesta de grupos funcionales de hormigas para la Península y Baleares y su uso como bioindicadores. *Iberomyrmex* 2: 28-29.

- Rojas, P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, Distribución: e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) (1): 189-238.
- Rojas, P. 2003. El papel de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la dinámica edáfica. Pp. 197-216. En: Álvarez-Sánchez y Naranjo García (eds.). *Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México*. Instituto de Ecología A.C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Rostás, M. and J. Tautz. 2010. Ants as pollinators of plants and the role of floral scents. Pp. 149-161. En: Dubinsky. Z. and J. Seckbach (eds.) *All flesh is grass*. Springer, Dordrecht, Berlin.
- Salcido-López, A., M. Vásquez-Bolaños y G. A. Quiroz-Rocha. 2012. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del cerro de la Culebra, Arandas, Jalisco, México. *Dugesiana* 19 (2): 151-155.
- Sanders, N. J. and D. M. Gordon. 2003. Resource-dependent interactions and the organization of desert ant communities. *Ecology* 84 (4): 1024-1031.
- Sayer, E. J. 2006. Utilización de la manipulación experimental para evaluar el papel de la hojarasca en el funcionamiento de los ecosistemas forestales. *Revisiones Biológicas* 81 (1): 1-31.
- Schulz, A. J. Heinze and K. Pusch. 2007. Description of two new *Temnothorax* species (Hymenoptera: Formicidae) from Italy. *Zootaxa* 1471 (1): 1-14.

- Simanca, F. R. M. y H. N. J. Martínez. 2010. Nueva técnica de captura para evaluar la estratificación vertical de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en el bosque seco tropical, Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 1 (46): 311- 318.
- Smith, M. A. 2015. Ants, elevation, phylogenetic diversity and community structure. *Ecosphere* 6 (11): 1-17.
- Stadler, B. and A. F. Dixon. 2005. Ecology and evolution of aphid-ant interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 1: 345-372.
- Sudd, J. H. and N. R. Franks. 1987. *The Behavioural Ecology of Ants*. Blakie, New York, EEUU.
- Szewczyk, T. M. and C. M. McCain. 2019. Disentangling elevational richness: a multi-scale hierarchical Bayesian occupancy model of Colorado ant communities. *Ecography* 42 (5): 977-988.
- Torossian, C. et P. Humbert. 1982. Les fourmis rousses des bois et leur rôle dans l'écosystème forestier. *Revue Forestière Française* 34 (1): 32-41.
- Valenzuela-González, J., A. Parra-Cabañas, L. Quiroz-Robledo, D. Martínez-Tlapa y E. Montes-de-Oca-Torres. 2013. Variación de la mirmecofauna en un gradiente altitudinal en la región central de Veracruz, México. Pp.75-81. En: M. Vásquez-Bolaños., G. Castaño-Meneses, A. Cisneros-Caballero, G. Quiroz-Rocha y J. Navarrete-Heredia. (Eds.). *Formicidae de México*. Ciudad de México, México: Impreso en México.

- Vásquez-Bolaños, M. 2011. Lista de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) para México. *Dugesiana* 18: 95-133.
- Vásquez-Bolaños, M. 2015. Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. *Métodos en Ecología y Sistemática* 10 (1): 1-53.
- Ward, P. S. 2014. The phylogeny and evolution of ants. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 45: 23-43.
- Watkins, J. F. 1976. *The identification and distribution of New World army ants (Dorylinae: Formicidae)*. Baylor University Press. Waco, Texas. 102 pp.
- Way, M. J. and K. C. Khoo. 1992. Role of Ants in Pest Management. *Annual Review of Entomology* 37 (1): 479–503.
- Wetterer, J. K. 2011. Worldwide spread of the tropical fire ant *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 14 (1): 21-35.
- Wheeler, W. M. 1910. *Ants: their structure, development and behavior*. University Press, New York. USA.
- Wilson, E. O. 1958. The beginnings of nomadic and group-predatory behavior in the ponerine ants. *Evolution* 12 (1): 24–31.
- Wilson, E. O. 1959. Some ecological characteristics of ants in New Guinea rain forests. *Ecology* 40: 437-447.
- Wilson, E. O. 2003. *Pheidole in the New World: a dominant, hyperdiverse genus*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Yek, S. H. and U. G. Mueller. 2010. The metapleural gland of ants. *Biological Reviews* 86 (4): 774–791.

Anexos

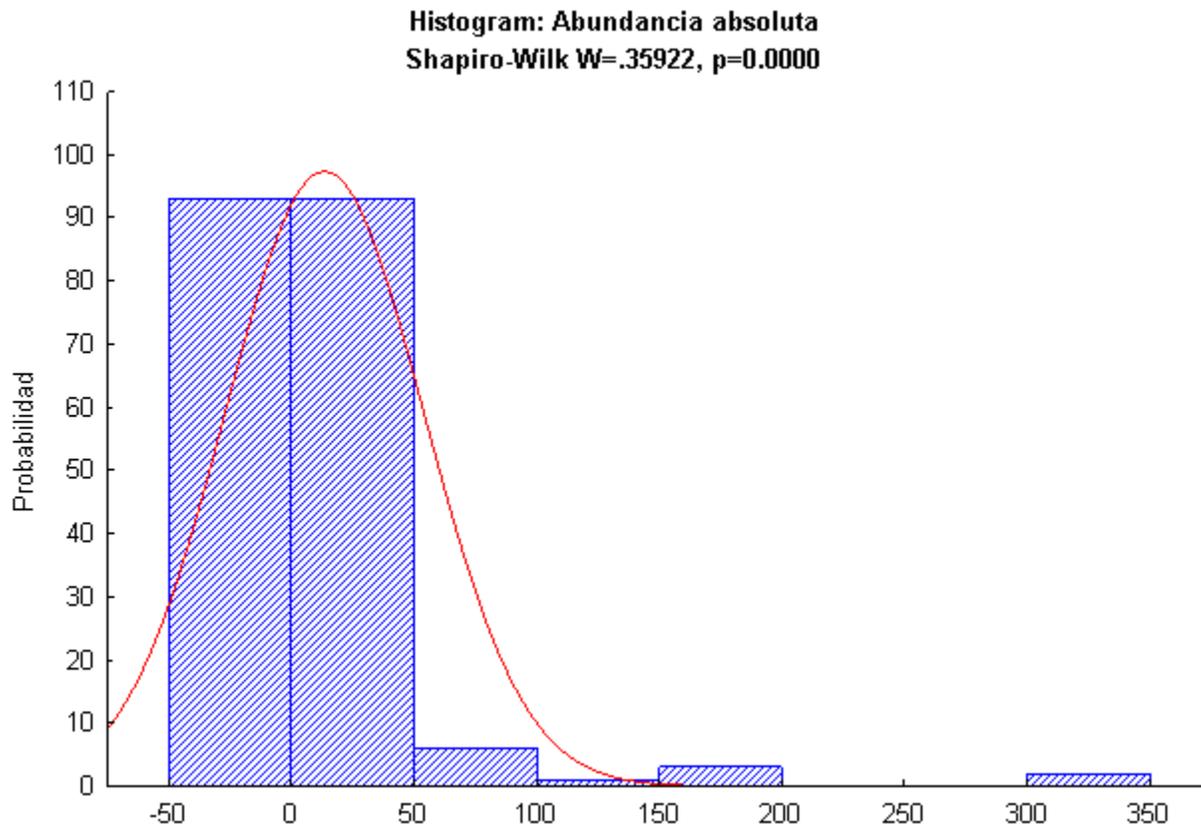
Anexo A. Lista de especies presentes en la vertiente de la Sierra Montenegro, Morelos.

Subfamilia	Taxon
Dolichoderinae	<i>Forelius pruinosus</i>
	<i>Tapinoma melanocephalum</i>
Dorylinae	<i>Eciton vagans</i>
	<i>Labidus coecus</i>
Ectatomminae	<i>Ectatomma tuberculatum</i>
	<i>Gnamptogenys striatula</i>
Formicinae	<i>Brachymyrmex heeri</i>
	<i>Camponotus atriceps</i>
	<i>Camponotus pudorosus</i>
	<i>Camponotus rectangularis</i>
	<i>Camponotus rubrithorax</i>
	<i>Camponotus</i> sp. 1
	<i>Camponotus</i> sp. 2
	<i>Camponotus</i> sp. 3
	<i>Nylanderia</i> sp. 1
Myrmicinae	<i>Aphaenogaster huachucana</i>
	<i>Crematogaster</i> sp. 1
	<i>Pheidole morelosana</i>
	<i>Pheidole</i> sp. 1
	<i>Pheidole</i> sp. 2
	<i>Pheidole tepicana</i>
	<i>Pheidole tolteca</i>
	<i>Solenopsis geminata</i>
	<i>Solenopsis</i> sp.1
	<i>Temnothorax</i> sp. 2
	<i>Temnothorax</i> sp. 3
	<i>Cyphomyrmex flavidus</i>
	<i>Temnothorax</i> sp. 1
	<i>Temnothorax</i> sp. 4
	<i>Trachymyrmex</i> sp 1
Ponerinae	<i>Odontomachus clarus</i>
	<i>Odontomachus laticeps</i>
Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex gracilis</i>

Anexo B. Abundancia absoluta de las especies de hormigas por nivel altitudinal.

Especies	Altitud (m)					
	1097	1193	1289	1385	1481	1577
<i>Aphaenogaster huachucana</i>	0	0	0	0	5	0
<i>Brachymyrmex heeri</i>	13	1	18	4	50	40
<i>Camponotus atriceps</i>	4	3	0	2	26	3
<i>Camponotus pudorosus</i>	0	0	0	1	22	0
<i>Camponotus rectangularis</i>	1	2	2	2	5	3
<i>Camponotus rubrithorax</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Camponotus</i> sp. 1	3	2	4	4	3	5
<i>Camponotus</i> sp. 2	0	0	0	1	0	0
<i>Camponotus</i> sp. 3	0	0	0	0	1	0
<i>Crematogaster</i> sp. 1	0	0	14	2	1	4
<i>Cyphomyrmex flavidus</i>	0	0	3	1	0	0
<i>Eciton vagans</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Ectatomma tuberculatum</i>	0	0	0	0	0	3
<i>Forelius pruinosus</i>	0	0	0	0	0	3
<i>Gnamptogenys striatula</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Labidus coecus</i>	6	0	0	0	1	0
<i>Nylanderia</i> sp. 1	1	0	0	0	0	0
<i>Odontomachus clarus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Odontomachus laticeps</i>	7	10	33	17	15	10
<i>Pheidole morelosana</i>	1	21	12	163	38	62
<i>Pheidole</i> sp. 1	59	31	79	34	46	73
<i>Pheidole</i> sp. 2	27	42	43	0	40	3
<i>Pheidole tepicana</i>	0	0	0	3	0	0
<i>Pheidole tolteca</i>	172	10	23	6	71	32
<i>Pseudomyrmex gracilis</i>	0	0	0	0	2	0
<i>Solenopsis geminata</i>	1	5	4	7	315	321
<i>Solenopsis</i> sp. 1	137	36	28	13	36	172
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Temnothorax</i> sp. 1	2	3	18	5	6	61
<i>Temnothorax</i> sp. 2	0	3	0	2	1	0
<i>Temnothorax</i> sp. 3	0	0	2	5	0	1
<i>Temnothorax</i> sp. 4	0	0	0	0	0	1
<i>Trachymyrmex</i> sp. 1	2	2	14	0	4	14
Total:	437	171	297	273	690	813

Anexo C. Análisis de distribución de probabilidad de Shapiro- Wilk. El histograma está construido a partir de la abundancia absoluta de las hormigas colectadas en la Sierra Montenegro. Los números en cada barra representan el número de registros absolutos obtenidos para cada clase del histograma. La línea roja representa el ajuste continuo en el que se observa una distribución de la probabilidad de tipo No Normal. El análisis de la distribución de la probabilidad y el histograma fueron realizados a partir de una n muestral (n) igual a 2,680.



Anexo D. Abundancia relativa para cada especie de hormiga por nivel altitudinal desarrollado con el ajuste de Lindsey y Skinner.

Ajuste de Lindsey y Skinner							
Especies	1097	1193	1289	1385	1481	1577	Total
<i>Aphaenogaster huachucana</i>	0	0	0	0	0.15	0	0.15
<i>Brachymyrmex heeri</i>	0.52	0.01	1.44	0.12	3	3.2	8.29
<i>Camponotus atriceps</i>	0	0.06	0	0.04	1.82	0.09	2.01
<i>Camponotus pudorosus</i>	0	0	0	0.01	0.66	0	0.67
<i>Camponotus rectangularis</i>	0.01	0.02	0.04	0.04	0.2	0.09	0.4
<i>Camponotus rubrithorax</i>	0	0	0	0	0	0.01	0.01
<i>Camponotus</i> sp. 1	0.06	0.02	0.12	0.16	0.09	0.15	0.6
<i>Camponotus</i> sp. 2	0	0	0	0.01	0	0	0.01
<i>Camponotus</i> sp. 3	0	0	0	0	0.01	0	0.01
<i>Crematogaster</i> sp. 1	0	0	0.42	0.02	0.01	0.08	0.53
<i>Cyphomyrmex flavidus</i>	0	0	0.09	0.01	0	0	0.1
<i>Eciton vagans</i>	0	0	0	0	0.02	0	0.02
<i>Ectatomma tuberculatum</i>	0	0	0	0	0	0.03	0.03
<i>Forelius pruinosus</i>	0	0	0	0	0	0.09	0.09
<i>Gnamptogenys striatula</i>	0	0	0	0	0	0.01	0.01
<i>Labidus coecus</i>	0.18	0	0	0	0.01	0	0.19
<i>Nylanderia</i> sp. 1	0.01	0	0	0	0	0	0.01
<i>Odontomachus clarus</i>	0	0	0	0.01	0	0	0.01
<i>Odontomachus laticeps</i>	0.07	0.5	4.62	2.04	1.5	0.5	9.23
<i>Pheidole morelosana</i>	0.01	1.05	0.96	27.71	1.14	4.96	35.83
<i>Pheidole</i> sp. 1	4.72	1.86	11.06	4.76	3.68	5.11	31.19
<i>Pheidole</i> sp. 2	1.35	3.36	4.73	0	1.6	0.03	11.07
<i>Pheidole tepicana</i>	0	0	0	0.03	0	0	0.03
<i>Pheidole tolteca</i>	24.08	0.6	1.84	0.3	7.1	0.96	34.88
<i>Pseudomyrmex gracilis</i>	0	0	0	0	0.02	0	0.02
<i>Solenopsis geminata</i>	0.01	0.1	0.16	0.14	6.3	22.47	29.18
<i>Solenopsis</i> sp. 1	23.29	3.24	3.36	1.17	3.24	22.36	56.66
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	0.01	0	0	0	0	0	0.01
<i>Temnothorax</i> sp. 1	0.04	0.09	1.8	0.15	0.12	6.71	8.91
<i>Temnothorax</i> sp. 2	0	0.09	0	0.04	0.01	0	0.14
<i>Temnothorax</i> sp. 3	0	0	0.02	0.15	0	0.01	0.18
<i>Temnothorax</i> sp. 4	0	0	0	0	0	0.01	0.01
<i>Trachymyrmex</i> sp. 1	0.04	0.02	0.14	0	0.12	0.7	1.02
Total:	54.41	11.02	30.8	36.91	30.8	67.57	

Anexo E. Valores para los índices de diversidad de Shannon-Wiener y dominancia de Simpson.

Niveles altitudinales	Índice de diversidad Shannon-Wiener	Índice de dominancia de Simpson
1097	1.126	0.6125
1193	1.735	0.7777
1289	1.93	0.8027
1385	0.937	0.4155
1481	2.192	0.8597
1577	1.697	0.7563

Nivel						Media
1481	A					2.1643333
1289		B				1.9376667
1193			C			1.7416667
1577			C			1.6683333
1097				D		1.1293333
1385					E	0.9436667

Análisis comparativo de múltiples medias para los índices de diversidad Shannon-Wiener. La tabla describe el análisis comparativo de múltiples medias mediante la suma de rangos con signo Wilcoxon en el que se observa el valor promedio de la estimación de abundancia registrado para cada una de las 33 especies de hormigas. n=2,681. Los niveles no conectados con la misma letra, son significativamente distintos.

Nivel						Media
1481	A					0.8570333
1289		B				0.8030333
1193			C			0.7680333
1577			C			0.7576333
1097				D		0.6128333
1385					E	0.4165

Análisis comparativo de múltiples medias para los índices de dominancia de Simpson. La tabla describe el análisis comparativo de múltiples medias mediante la suma de rangos con signo Wilcoxon en el que se observa el valor promedio de la estimación de abundancia registrado para cada una de las 33 especies de hormigas. $n=2,681$. Los niveles no conectados con la misma letra, son significativamente distintos.

Anexo F. Matriz de datos de presencia – ausencia (0-1) según los índices de Jaccard para las especies de hormigas en cada nivel altitudinal recolectadas en la Sierra Montenegro, Morelos.

Especies	Nivel altitudinal					
	1097	1193	1289	1385	1481	1577
<i>Aphaenogaster huachucana</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Brachymyrmex heeri</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Camponotus atriceps</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Camponotus pudorosus</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Camponotus rectangularis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Camponotus rubrithorax</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Camponotus</i> sp. 1	1	1	1	1	1	1
<i>Camponotus</i> sp. 2	0	0	0	1	0	0
<i>Camponotus</i> sp. 3	0	0	0	0	1	0
<i>Crematogaster</i> sp. 1	0	0	1	1	1	1
<i>Cyphomyrmex flavidus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Eciton vagans</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Ectatomma tuberculatum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Forelius pruinosus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Gnamptogenys striatula</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Labidus coecus</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Nylanderia</i> sp. 1	1	0	0	0	0	0
<i>Odontomachus clarus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Odontomachus laticeps</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Pheidole morelosana</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Pheidole</i> sp 1	1	1	1	1	1	1
<i>Pheidole</i> sp. 2	1	1	1	0	1	1
<i>Pheidole tepicana</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Pheidole tolteca</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Pseudomyrmex gracilis</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Solenopsis geminata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Solenopsis</i> sp. 1	1	1	1	1	1	1
<i>Tapinoma</i> sp. 1	1	0	0	0	0	0
<i>Temnothorax</i> sp. 1	1	1	1	0	1	1
<i>Temnothorax</i> sp. 2	0	1	0	1	1	0
<i>Temnothorax</i> sp. 3	0	0	1	1	0	1
<i>Temnothorax</i> sp. 4	0	0	0	1	0	1
<i>Trachymyrmex</i> sp. 1	1	1	1	0	1	1

Anexo G. Matriz de datos de la presencia de los grupos funcionales según los índices de Kulczynski de hormigas recolectadas en la Sierra Montenegro, Morelos.

Especies	Niveles altitudinales					
	1097	1193	1289	1385	1481	1577
<i>Aphaenogaster huachucana</i>					O	
<i>Brachymyrmex heeri</i>	C	C	C	C	C	C
<i>Camponotus atriceps</i>	SC	SC		SC	SC	SC
<i>Camponotus pudorosus</i>				SC	SC	
<i>Camponotus rectangularis</i>	SC	SC	SC	SC	SC	SC
<i>Camponotus rubrithorax</i>						SC
<i>Camponotus</i> sp. 1	SC	SC	SC	SC	SC	SC
<i>Camponotus</i> sp. 2				SC		
<i>Camponotus</i> sp. 3					SC	
<i>Crematogaster</i> sp. 1			GM	GM	GM	GM
<i>Cyphomyrmex flavidus</i>			HCS	HCS		
<i>Eciton vagans</i>					SP	
<i>Ectatomma tuberculatum</i>						O
<i>Forelius pruinosus</i>						DD
<i>Gnamptogenys striatula</i>						O
<i>Labidus coecus</i>	SP				SP	
<i>Nylanderia</i> sp. 1	O					
<i>Odontomachus clarus</i>				SP		
<i>Odontomachus laticeps</i>	SP	SP	SP	SP	SP	SP
<i>Pheidole morelosana</i>	GM	GM	GM	GM	GM	GM
<i>Pheidole</i> sp 1	GM	GM	GM	GM	GM	GM
<i>Pheidole</i> sp. 2	GM	GM	GM		GM	GM
<i>Pheidole tepicana</i>				GM	GM	
<i>Pheidole tolteca</i>	GM	GM	GM	GM		GM
<i>Pseudomyrmex gracilis</i>					O	
<i>Solenopsis geminata</i>	GM	GM	GM	GM	GM	GM
<i>Solenopsis</i> sp. 1	GM	GM	GM	GM	GM	GM
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	O					
<i>Temnothorax</i> sp. 1	O	O	O		O	O
<i>Temnothorax</i> sp. 2		O		O	O	
<i>Temnothorax</i> sp. 3			O	O		O
<i>Temnothorax</i> sp. 4				O		O
<i>Trachymyrmex</i> sp. 1	CCS	CCS	CCS		CCS	CCS

C= Crípticas, **CCS**= Especialista de clima frío, **HCS**= Especialista de clima cálido, **SC**= Camponotini subordinada, **O**= Oportunistas, **DD**= Dolichoderinae dominantes, **SP**= Especialistas depredadoras, **GM**= Myrmecinas generalistas. **N**= 33.

Continuación de la matriz de datos de grupos funcionales de hormigas recolectados en la Sierra Montenegro, Morelos. Representado por la presencia y ausencia en los diferentes niveles altitudinales.

Grupos funcionales	Niveles altitudinales					
	1097	1193	1289	1385	1481	1577
SC	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	1	1
DD	0	0	0	0	0	1
HCS	0	0	1	1	0	0
CCS	1	1	1	0	1	1
SP	1	1	1	1	1	1
GM	1	1	1	1	1	1
O	1	1	1	1	1	1

1=Presencia, 0= Ausencia