



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**¿Semillas o carroña, qué prefiere *Pogonomyrmex barbatus*
(Hymenoptera: Formicidae) en una zona semiárida
intertropical?**

TESIS

para obtener el grado de

Licenciatura en Biología

Presenta:

Esbeydi Jannet Cortes Reyna

Directora de tesis:

M. Cs. Ana Lucia Castillo Meza

Codirector de tesis:

Dr. Juan Héctor García Chávez

Abril 2021



Las hormigas, como los seres humanos, para decirlo en
pocas palabras, tienen éxito porque hablan muy bien
(Hölldobler y Wilson, 1994)



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, mi madre Catalina Reyna Diaz y mi padre Juan Gabriel Cortes Sumano, quienes me apoyaron en todo momento, incluso desde el momento que les comenté que estudiaría biología, en mis etapas de estrés, en mis salidas de campo, así como sus platicas motivacionales que me ayudaron a levantarme y su cariño inmenso que siempre me han demostrado. *Agradezco a mi hermana* Betsy que me ayudo en casa mientras yo andaba de pata de perro y tomaba los datos en campo para este trabajo. Por sus chistes y bailes que me hacían reír, así como por las tardes de películas.

Agradezco a mi novio, mi compañero de aventuras, Alexis, en sí, esta tesis también tiene su sudor, lágrimas y sangre literalmente. Desde un comienzo compartimos clases de biología, y su gusto por esta ciencia fue creciendo por lo que lo considero ya un biólogo. Por observar durante horas junto a mí a las hormigas. Por esas pláticas en campo acerca de biología, antropología, la vida y el chisme. Y sobre todo por ser como es y compartir su tiempo conmigo.

Agradezco a mi tía Olga, quien desde niña recuerdo con cariño, y me dio su apoyo y consejos antes, durante y después de este trabajo. *Agradezco a mi tío* Marco el cual siempre me ha demostrado cariño y apoyo. *Agradezco a mis abuelos* paternos y maternos quienes siempre que los veo me abrazan con fervor.

Agradezco a mis profesores, Ana Lucia y Juan, cuya pasión por la biología es compartida a través de sus clases, quienes me guiaron por todo este trayecto, por sus consejos, así como chistes y platicas. Por ser maravillosas personas las cuales aprecio demasiado.

Agradezco a Doña Cris y Don Joaquín, quienes nos recibieron con mucho cariño y nos trataron como parte de su familia, por prepararnos tan deliciosa comida y compartirnos su hogar.

Agradezco a mis amigas y amigos, esos que aún conservo de la secundaria, los que conocí durante la prepa y los que encontré en la uni, por las salidas, risas, clases, trabajos en equipo, y no menos importante las pedas.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Biológicas, por las clases, salidas de campo, prácticas de laboratorio, maestros, amigos, así como los recuerdos que se formaron dentro de los salones de clases, en los pasillos, en la cafetería, en las palapas incluso en los jardines.

Agradezco al Jardín Botánico Helia Bravo Hollis, por permitirme llevar a cabo mi trabajo de campo dentro de sus instalaciones.

Agradezco a todo lector que tenga interés por este trabajo.

En fin, agradezco todo lo que me llevo a estudiar biología y permitirme llegar a este punto y por lo que sigue...

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño esta tesis se la dedico a mis padres Catalina y Juan, a mi hermana Betsy y a mi novio Alexis, quienes siempre han sido mi más grande apoyo y motivo para seguir adelante, me impulsan y aconsejan en cada decisión que llevo a cabo.

Gracias por tan inmenso apoyo.



ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
<i>Pogonomyrmex barbatus</i> Smith (1858)	7
Elección de las colonias	9
Preparación del material para elección de semillas o carroña.....	9
Elección entre semillas y carroña por las colonias	10
Remoción de fragmentos de <i>Atta mexicana</i>	13
Biomasa removida de fragmentos de <i>Atta mexicana</i>	13
Fragmentos de <i>Atta mexicana</i> en basureros de las colonias.....	14
Abundancia de semillas y carroña en el suelo.....	16
RESULTADOS.....	19
Elección entre semillas y carroña por las colonias	19
Remoción de fragmentos de <i>Atta mexicana</i>	22
Biomasa removida de fragmentos de <i>Atta mexicana</i>	23
Fragmentos de <i>Atta mexicana</i> en basureros de las colonias.....	25
Abundancia de semillas y carroña en el suelo.....	26
DISCUSIÓN	28
CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS	36
ANEXO 1.....	44
Código R	44

RESUMEN

Hormigas del género *Pogonomyrmex* han sido reconocidas como recolectoras de semillas, donde su actividad como depredadoras y dispersoras, ha sido evaluado en diversos hábitats. Los estudios realizados han demostrado que las hormigas del género *Pogonomyrmex* presentan preferencias en sus dietas, forrajeando principalmente semillas e invertebrados muertos. La elección de recursos alimenticios por parte de *Pogonomyrmex*, presenta cambios estacionales, ya que la disponibilidad de semillas e invertebrados en zonas áridas y semiáridas es fluctuante a lo largo del año. Lo que conlleva a evaluar si las especies del género no necesariamente prefieran el consumo de semillas, sino que su elección está determinada por los recursos que se encuentran disponibles en cada temporada. En las hormigas *Pogonomyrmex* se ha evaluado el cambio en el consumo de granivoría a carnivoría. Sin embargo, la preferencia hacia el consumo de semillas o carroña no ha sido evaluada experimentalmente. El objetivo de este trabajo fue determinar experimentalmente si *Pogonomyrmex barbatus* tiene preferencia por semillas o carroña, empleando para ello especies nativas (*Opuntia decumbens* y *Atta mexicana*) en una zona semiárida intertropical. y comparando entre temporadas seca y lluvia. Encontré que *P. barbatus* prefiere el consumo de carroña a las semillas. Hay una mayor remoción de recursos en el periodo de lluvia que en seca, a pesar de que la abundancia de semillas y carroña, es mayor en seca que en lluvia. Encontré que la remoción de recursos es más intensa al inicio y después disminuye. La remoción de individuos de *A. mexicana* ofrecidos como carroña, se presenta ya sea en organismos completos o en fragmentos de mayor tamaño, reflejándose en una alta remoción de biomasa de *A. mexicana*. Este es el primer estudio en el que experimentalmente se muestra una preferencia en la elección de carroña sobre semillas en *P. barbatus*. Por otra parte, el concepto generalizado de que la especie es granívora y recolectora de semillas, se ha demostrado que incide en la estructura de la vegetación. Aunado a esto, y con mis resultados se incrementa la relevancia funcional de la especie dentro del ecosistema al ser considerada también, como removedora de carroña y su papel en el flujo de materia en el ecosistema.

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han evaluado la interacción de granivoría con diferentes especies animales, pues las semillas son una fuente importante de carbohidratos, aceites o proteínas (Begon et al., 2006); las cuales proporcionan un alto valor nutricional y en mamíferos, aves e insectos son la fuente energética más importante (Janzen, 1971). Se ha documentado que las hormigas son un grupo grande de depredadoras de semillas, lo cual ha sido evaluado en una gran variedad de hábitats alrededor del mundo (Buckley, 1982; MacMahon et al., 2000) que van desde, zonas templadas (Schupp, 1988), tropicales (Risch y Carroll, 1986), áridas (Tevis, 1958; Morton, 1985; Hölldobler y Wilson, 1990; Álvarez-Espino et al., 2017) y semiáridas (Briese y Macauley, 1981; García-Chávez et al., 2010). Un grupo de hormigas relevantes es el de las hormigas granívoras, este tipo de hormigas son comunes en áreas de vegetación árida o semiárida. Sin embargo, también hay especies de hormigas depredadoras de una gran variedad de organismos entre los que destacan artrópodos, crustáceos y pequeños vertebrados (Brown et al., 1979; Clark y Blom, 1991; MacMahon et al., 2000; Gordon, 2010).

El género de hormigas granívoras *Pogonomyrmex*, está constituido por 59 especies (Boldsystems, 2014), que se distribuyen en Norte y Sudamérica. De manera frecuente las especies de este género son consideradas como especies que se alimentan exclusivamente de semillas, debido a que las recolectan y almacenan para consumirlas posteriormente (Whitford, 1978; Brown et al., 1979; Hölldobler y Wilson, 1990; Taber, 1998; MacMahon et al., 2000; Hulme y Benkman, 2002; Crist, 2008; Menalled y Liebman, 2008). Un ejemplo es la hormiga *Pogonomyrmex barbatus*, la cual es abundante en el centro de México (Guzmán-Mendoza et al., 2010; Herrera-Fuentes et al., 2015). Esta hormiga potencialmente puede llegar a forrajear 138 especies de semillas de diferentes familias en las diferentes zonas de Norteamérica en las que se distribuye,

de las cuales las más usadas son de las familias Poaceae, Asteraceae, Fabaceae y Cactaceae (Ramírez-Lucas y Ríos-Casanova, 2015), interactuando dentro del Valle de Zapotitlán Salinas aproximadamente con 31 especies (Luna et al., 2018; Luna et al., 2021). Asimismo, posee una intensidad de forrajeo alta, colectando hasta 400 semillas en un día (González-Espinosa y Quintana-Ascencio, 1986). Con lo antes mencionado se refleja la fuerte interacción de *P. barbatus* con la vegetación dentro del valle, pues las hormigas, y en especial *P. barbatus*, son las depredadoras de semillas más importantes en comparación con las aves y los mamíferos (García-Chávez et al., 2010). Igualmente se destaca la relevancia de su impacto en la abundancia y composición de semillas de diversas especies en el suelo (Luna et al., 2018). Además de cumplir con funciones de granivoría, podría estar ejerciendo actividades en estructuras de redes tróficas, al modificar el transporte de nutrientes (MacMahon et al., 2000 y referencias)

Sin embargo, en varios estudios para *Pogonomyrmex*, donde se analiza el forrajeo por hormigas obreras o por analizar el contenido dentro de las colonias, se ha reportado que también recolectan y consumen, invertebrados, partes de frutos sin semillas, flores, fragmentos de plantas, hongos, líquenes, néctar y excretas (Kugler y Hincapie, 1983; Rico-Gray et al., 1998; Pirk y De Casenave, 2006). Para algunas especies de *Pogonomyrmex* esta diversidad en su dieta se ha relacionado principalmente con la abundancia de recursos en el tiempo y espacio (Guzmán-Mendoza et al., 2012; Luna et al., 2018). En la sabana brasileña *Pogonomyrmex naegelii* cambia su dieta entre semillas y presas de artrópodos, como consecuencia de la abundancia de estos dos recursos entre las temporadas, además sus presas de artrópodos consistieron tanto en individuos muertos como vivos (Belchior et al., 2012; Anjos et al., 2019).

Dentro de todo lo que consumen las hormigas *Pogonomyrmex* además de las semillas destacan los artrópodos muertos (Carroll y Janzen, 1973; Whitford, 1978; Jorgensen y Porter, 1982; Crist y

73 MacMahon, 1991; Pirk et al., 2009; Pol et al., 2011; Luna et al., 2018; Luna et al., 2021). Ya que
74 consumen diferentes tipos de invertebrados destacando otras hormigas, isópteros, coleópteros,
75 hemípteros, dípteros, y arácnidos (MacKay, 1981; Pirk y De Casenave, 2006). Cabe resaltar que
76 los artrópodos como recursos contienen grandes cantidades de proteínas y grasas, y en una menor
77 cantidad carbohidratos, siendo relevantes las proteínas en su contenido nutricional comparados con
78 recursos de origen vegetal (Reyes-Prado et al., 2016; Barton y Bump, 2019).

79 Hay estudios en las hormigas *Pogonomyrmex* donde se confirma su consumo de carroña y sus
80 posibles efectos, utilizando recursos que son ajenos a los sitios de estudio. En dos trabajos se
81 evaluó la relación entre el consumo de carroña y la producción de alados para *Pogonomyrmex*
82 *desertorum* y *Pogonomyrmex occidentalis* (Munger, 1992; Wiernasz y Cole, 2018). Y, por otra
83 parte, Bestelmeyer y Wiens (2013) analizaron si *P. occidentalis*, *P. desertorum* y *P. imberbiculus*
84 son capaces de redistribuir la carroña en el suelo. También se ha clasificado a *Pogonomyrmex*
85 *cunicularius pencosensis* y *Pogonomyrmex mayri*, como carroñeras, pues se encontró grandes
86 cantidades de insectos muertos (principalmente hormigas); dentro de las cámaras de las colonias
87 (Kugler y Hincapie, 1983; Anda-Rickert y Fracchia, 2012). Además, los mismos autores
88 reportaron que los artrópodos son consumidos por igual en diferentes temporadas. Por otra parte,
89 se sabe que hay hormigas incluyendo *Pogonomyrmex* que aprovechan de manera oportunista la
90 abundancia repentina de artrópodos como posible recurso alimenticio (Pol et al., 2011; Barton et
91 al., 2013b; Anderson et al., 2019). Por ejemplo, se ha observado que la hormiga granívora
92 *Pogonomyrmex rugosus*, concentra su forrajeo en artrópodos ante la aparición de cigarras adultas
93 (Whitford y Jackson, 2007).

94 En estudios que evalúen la selección de alimentos en *Pogonomyrmex*, en función de su contenido
95 calórico o proteico, no hay resultados consistentes con semillas o cebos artificiales. Por un lado,

96 se ha encontrado que *P. occidentalis* tiende a la recolección de semillas artificiales con igual
97 contenido calórico, pero con un mayor contenido proteico (Whitford y Steinberger, 2009). Por
98 otra parte, Luna y Dáttilo (2018) encuentran que *P. barbatus* no difiere entre cebos de lípidos y
99 proteínas. En tanto que en otros estudios presenta preferencia por carbohidratos (Kay, 2002;
100 2004).

101 Además, los trabajos realizados no se han puesto a prueba con recursos presentes en el entorno de
102 las especies sino con recursos artificiales (Kay, 2002; Kay, 2004; Luna y Dáttilo, 2018). Los
103 cuales pueden representar un error metodológico, ya que no abarca la naturalidad del contenido
104 nutricional en comparación a recursos que colecta la especie de manera natural. Así mismo puede
105 presentarse el inconveniente de que la elección de los recursos ofrecidos puede ser artificialmente
106 atractivos por ser novedosos (Del Mar Weisz et al., 2012).

107 Dentro de los trabajos que evalúan la dieta de *P. barbatus*, encuentran un consumo de carroña
108 además de las semillas (Whitford et al., 1976; Gordon, 1991; Morehead y Feener, 1998; Guzmán-
109 Mendoza et al., 2012; Luna et al., 2018; Luna et al., 2021). Cabe mencionar que *P. barbatus* es
110 considerada como una hormiga granívora, pero, casi la mitad de su dieta es a base de
111 invertebrados durante la temporada de lluvia cuando los invertebrados son más abundantes,
112 resaltando su importancia como una especie carroñera (Luna et al., 2018, 2021). Así mismo,
113 realiza visitas a basureros de las colonias de *Atta mexicana*, en la cual recolecta individuos
114 muertos de esta especie, para transportarlas a sus colonias (García-Chávez obs. pers.). De tal
115 forma que el consumo de materia muerta de origen animal, podría ser de importancia para *P.*
116 *barbatus*, ya que al reciclar nutrientes genera un posible efecto en las comunidades ecológicas y
117 redistribución de los recursos al suelo (MacMahon et al., 2000; Barton et al., 2013a).

118 Quizás las hormigas *Pogonomyrmex* en general se consideran granívoras como consecuencia a
119 que habita, en zonas áridas o semiáridas (Taber, 1998; MacMahon et al., 2000), donde el recurso
120 más abundante son las semillas, por lo que su elección se restringe a estas y no a otro tipo de
121 recurso como la carroña que es relativamente escasa, pero que tiene contenidos nutricionales
122 altos. Y es que se habla de una posible evolución de las hormigas granívoras a partir de ancestros
123 carroñeros y carnívoros que posteriormente por la falta de fuentes fiables de insectos se
124 comenzaron a alimentar de semillas (Brown et al., 1979). Por ello, es necesario evaluar la
125 selección de semillas y carroña en condiciones naturales y utilizando elementos que conformen
126 parte de la dieta natural de las especies para así poner a prueba la hipótesis de que *P. barbatus*
127 podría seleccionar más un tipo de recurso que otro. Con base en lo anterior, me surgió la
128 siguiente pregunta ¿*P. barbatus* es granívora por elección o por la oferta de recursos temporales?

129 El objetivo de este trabajo fue analizar si *P. barbatus* tiene preferencia hacia semillas o carroña.
130 Para analizar la preferencia de las colonias entre semillas y carroña, realicé un experimento en
131 campo en dos temporadas, al final de la temporada seca (mayo 2019) y al final de la temporada
132 de lluvia (octubre, 2019), empleando semillas de la especie *Opuntia decumbens* (Cactaceae) y
133 hormigas muertas de la especie *Atta mexicana* (Formicidae), en el Valle de Zapotitlán Salinas,
134 Puebla. Poniendo a prueba las siguientes predicciones, habrá una preferencia por carroña al ser
135 un recurso valioso y entre las temporadas esta preferencia se mantendrá.

136

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de campo lo realicé en el Jardín Botánico “Helia Bravo Hollis” situado en el Valle de Zapotitlán Salinas, que se localiza dentro de la provincia florística Tehuacán-Cuicatlán, que abarca el sureste del estado de Puebla y norte de Oaxaca (Rzedowski, 2006). La zona posee un clima seco con lluvias en verano, una precipitación media anual inferior a 391 mm (Valiente, 1991; Rzedowski, 2006), temperatura media anual de 18 a 22 °C (Zavala-Hurtado, 1982) donde los meses con temperaturas máximas son abril y mayo, y los meses más lluviosos van de junio a septiembre (Valiente, 1991).

La vegetación está caracterizada como matorral xerófilo (Rzedowski, 2006), representado por varias asociaciones vegetales. Una de las cuales está dominada por la Cactaceae columnar *Cephalocereus tetetzo* (Zavala-Hurtado, 1982), esta asociación vegetal se conoce localmente como tetechera. Las especies que se encuentran en esta asociación vegetal están representadas por una alta densidad de *Cephalocereus tetetzo*, y en menor cantidad por otras especies de Cactaceae, *Opuntia pillifera*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Mammillaria carnea*, *M. haageana*, *Ferocactus latispinus*, *F. robustus*, *Equinocactus platyacanthus*, así como especies de Fabaceae *Parkinsonia praecox*, *Mimosa luisana*, *Prosopis laevigata*, *Vachellia constricta* y de la familia Simaroubaceae *Castela tortuosa* (Zavala-Hurtado, 1982).

***Pogonomyrmex barbatus* Smith (1858)**

P. barbatus se distribuye en zonas áridas, pastizales, bosques de pino, bosques de encino y bosques de pino-encino (Mackay y Mackay, 2002), aunque mayormente en hábitats áridos y semiáridos (Taber, 1998). Sus colonias se distinguen por ubicarse en el suelo usualmente en sitios libres de vegetación, formando un disco que consiste en un montículo cubierto por grava que rodea la entrada del hormiguero; el cual pueden llegar a medir hasta 5 m de diámetro (Gordon,

160 1991; MacMahon et al., 2000). Las colonias pueden llegar a crecer hasta 15, 000 obreras en 5
161 años (Gordon, 2010), y vivir hasta 15 años (MacKay et al., 1985; Taber, 1998, Gordon, 2010)
162 Su alimentación consiste principalmente de semillas, de las cuales dentro del Valle de Zapotitlán
163 Salinas las especies más recolectadas son de la familia Cactaceae *Mammillaria carnea*,
164 *Cephalocereus tetetzo*, *Opuntia pillifera*, *O. decumbens*, de la familia Fabaceae *Mimosa Luisana*,
165 *Senna wislizeni*, de la familia Asteraceae *Sanvitalia fruticosa*, *Verbesina neotenorensis*,
166 *Virguiera dentata* así como otras familias *Apogon cenchroides* (Poaceae), *Bursera*
167 *schlechtendalii* (Burseraceae), *Cordia curassavica* (Boraginaceae), *Ruellia rosea* (Acanthaceae),
168 pero, también consume artrópodos como termitas y hormigas de las especies *Camponotus*
169 *rubrithorax* de la subfamilia Formicinae y *Atta mexicana* de la subfamilia Myrmicinae (Luna et
170 al., 2018; Luna et al., 2021).

171 Los patrones de búsqueda de recursos están en función de factores particulares de cada colonia,
172 es decir, número de forrajeros, necesidad de recurso, tamaño y edad de la colonia (Gordon 1991,
173 MacMahon et al., 2000). Dentro de las actividades que realizan fuera de la colonia se encuentran
174 las hormigas patrulleras, las cuales salen por las mañanas alrededor de la colonia en busca de
175 nuevos recursos. Es el regreso de las patrulleras lo que estimula a las recolectoras a iniciar la
176 actividad (Gordon, 2010). Los individuos exploran a través de senderos troncales establecidos
177 que se llegan a extender de 10 a 40 m de la colonia, sin embargo, se sabe que realizan esta
178 búsqueda con mayor frecuencia a 12.5 m de la entrada de la colonia (Luna et al., 2018). Por otro
179 lado, colonias viejas de más de 3 años evitan forrajear en senderos donde se encontraron con
180 colonias vecinas, mientras que colonias jóvenes son frecuentes los encuentros con hormigas de
181 otras colonias (Gordon, 2010). Conforme avanzan se dispersan las forrajeras, posteriormente

182 realizan una excursión individual en la búsqueda de recursos, y una vez localizados, retornan a la
183 colonia con ellos (Hölldobler, 1976; Gordon, 1991; Luna et al., 2018).

184 También se ha observado que las forrajeras tienden a recorrer alrededor de los recursos,
185 tocándolos uno por uno, hasta que finalmente hacen la recolecta, con la posibilidad de tratarse de
186 una evaluación de la densidad y calidad (Hölldobler, 1976). Por otra parte, no muestran agresión
187 entre colonias vecinas sino una evasión, ya que, si varias colonias se encuentran cerca de un
188 recurso, generalmente la colonia más cercana se apropia mientras que la o las otras colonias son
189 excluidas (Hölldobler, 1976; Gordon, 2010).

190 ***Elección de las colonias***

191 Dentro de la zona de la tetechera seleccioné 15 colonias. Con una distancia entre cada una mayor
192 a 15 m, esto para mantener la independencia entre cada colonia. Pues las hormigas de diferentes
193 colonias tienden a interactuar cuando se encuentran a una distancia menor entre los 10 a 13 m
194 aproximadamente (Gordon, 1991).

195 ***Preparación del material para elección de semillas o carroña***

196 Para analizar la preferencia entre semillas y carroña usé, semillas de la cactaceae *Opuntia*
197 *decumbens* y hormigas de la especie *Atta mexicana*, los cuales son recursos utilizados por *P.*
198 *barbatus* (García-Chávez et al., 2010; Ramírez-Lucas y Ríos-Casanova, 2015; Luna et al., 2018;
199 Luna et al., 2021). Las semillas corresponden a frutos de *O. decumbens* provenientes de la zona
200 de estudio, de 10 plantas y de 10 frutos por planta, recolectados el año anterior al estudio.
201 Después de la recolecta, a las semillas les eliminé el exceso de pulpa con un tamiz, y
202 posteriormente las sequé a temperatura ambiente y las coloqué en bolsas de papel hasta su
203 empleo. En el caso de las hormigas, utilicé individuos con un peso entre 6600 y 26600 µg, el cual

204 es el mismo intervalo de peso de las semillas de *O. decumbens* ($\bar{x}$ = 8000 μ g, SD = 868.813 μ g),
205 esto para controlar el posible efecto del peso en los resultados. La recolecta de los individuos de
206 *A. mexicana* la realicé dentro de la tetechera, utilizando frascos de vidrio con capacidad de 1l.
207 Para sacrificar a las hormigas fueron colocadas en un refrigerador (-4°C) durante 24 hrs, El
208 manejo de todo el material lo realicé con guantes y pinzas entomológicas para así evitar
209 impregnar algún olor tanto a las semillas como a la carroña.

210 ***Elección entre semillas y carroña por las colonias***

211 Para analizar la preferencia de las colonias entre semillas y carroña, realicé un experimento en
212 campo en dos temporadas, al final de la temporada seca (mayo 2019) y al final de la temporada
213 de lluvia (octubre, 2019), de la siguiente manera. En cada colonia que se define como mi unidad
214 experimental. Tracé dos cuadros de 25 × 25 cm con una distancia de 1 m entre ambos. Estos
215 cuadros los tracé a una distancia de 5 metros (para facilitar la observación) desde la entrada de
216 cada colonia, con rumbo hacia la zona más despejada de vegetación (para poder hacer las
217 manipulaciones y observaciones). En los cuadros retiré restos vegetales, rocas, y agregué suelo
218 cernido para un registro de posibles removedores de los recursos ofrecidos. Coloqué 10 semillas
219 de *O. decumbens* en uno de los cuadros y 10 hormigas de *A. mexicana*, como carroña en el otro
220 (Figura 1). Esto lo repetí en las 15 unidades experimentales (colonias de *P. barbatus*), en ambas
221 temporadas.

222 Tome registro de la remoción de recursos, cada hora de las 9:00 a las 13:00 horas y en la tarde de
223 16:00 a 19:00 horas. Estos horarios los establecí de acuerdo con la actividad de las colonias
224 observadas en campo durante un muestro piloto realizado en febrero de 2019. Cada hora registré
225 el número de semillas u hormigas removidas, y cada que bajaba el número total de semillas u
226 hormigas éstas eran reemplazadas con nuevas hasta completar 10 elementos de cada tipo de

227 recurso en cada unidad experimental. Para *A. mexicana* también tome en cuenta las partes del
228 cuerpo que eran removidas, ya que *P. barbatus* en varias ocasiones dividió los individuos y
229 transportó solo ciertas partes (cabeza, tórax, abdomen, cabeza + tórax o tórax + abdomen, ver
230 más adelante en *Remoción de fragmentos de A. mexicana*). Realicé el seguimiento de remoción
231 de semillas y carroña durante cinco días continuos, revisando cinco colonias al mismo tiempo,
232 por tanto, las observaciones las realicé en 15 días (por temporada).

233 El modelo estadístico para comparar la remoción total de semillas y carroña, así como entre las
234 temporadas, es un diseño de efectos mixtos que tiene como factores fijos el tipo de recurso con
235 dos niveles (semillas o carroña) y la temporada con dos niveles (seca o lluvia), mientras que el
236 factor aleatorio son las 15 colonias. El análisis estadístico consistió en un modelo lineal mixto
237 generalizado con distribución de error *Poisson*, donde la variable de respuesta es la cantidad total
238 de elementos de recurso (semilla o carroña) a través de los 5 días de experimento. Para el caso de
239 la evaluación de remoción en el transcurso de los días el modelo estadístico también consiste en
240 un diseño de efectos mixtos, donde los factores fijos son la temporada con dos niveles (seca o
241 lluvia) y el tiempo con cinco niveles (los días del 1 al 5), y como factor aleatorio las 15 colonias.
242 El análisis estadístico consistió en un modelo lineal mixto generalizado con distribución de error
243 *Poisson*, tomando como variable de respuesta la remoción total en cada unidad experimental, de
244 cada colonia por día.

245

246

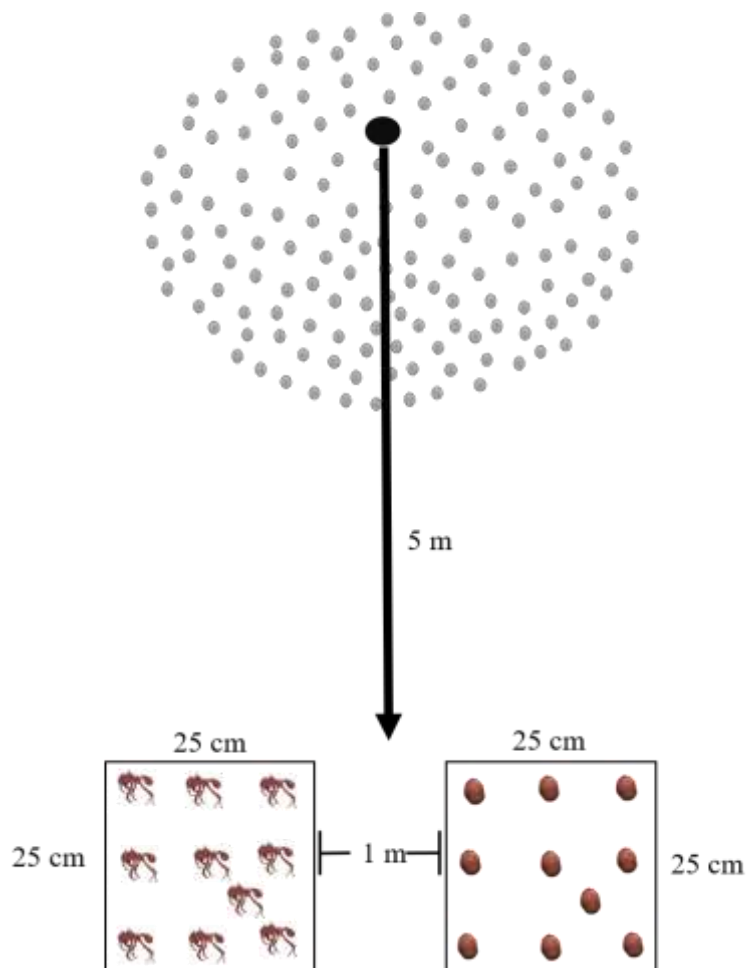


Figura 1. Representación esquemática de una unidad experimental. La zona de círculos grises representa el disco de la colonia de *P. barbatus*, el círculo negro figura la entrada de la colonia, en los cuadros de derecha a izquierda representan las semillas (*O. decumbens*) y carroña (*A. mexicana*) respectivamente.

248 ***Remoción de fragmentos de Atta mexicana***

249 Encontré que *P. barbatus* no sólo se llevó a los individuos completos de *A. mexicana* sino
250 también fragmentos, que podrían ser cabeza, tórax (hasta el postpeciolo) y abdomen (solamente
251 el gaster) o combinaciones de estos. Esto pudo ser posible gracias a que observé que las obreras
252 fragmentaron activamente los individuos de *A. mexicana*. Lo que me permitió analizar si
253 removieron con mayor frecuencia alguna sección del cuerpo en particular o una combinación en
254 específico. Para comparar la remoción de las diferentes partes del cuerpo o combinaciones de *A.*
255 *mexicana* así como entre temporadas, ajusté un modelo estadístico que corresponde a un diseño
256 de factores mixtos, en el que los factores fijos son las diferentes partes del cuerpo de *A. mexicana*
257 con siete niveles (hormiga completa (hc), hormiga sin patas (hsp), cabeza (c), tórax (t), abdomen
258 (a), cabeza + tórax (ct) y tórax + abdomen (ta)) y la temporada con dos niveles (seca o lluvia)
259 como factores fijos; y las 15 colonias como factor aleatorio. Apliqué un modelo lineal
260 generalizado mixto con distribución de error *Poisson*, debido a que la variable de respuesta son
261 conteos.

262 ***Biomasa removida de fragmentos de Atta mexicana***

263 Por otro lado, cuantifiqué la biomasa contenida por las diferentes partes del cuerpo de *A.*
264 *mexicana*, de la siguiente manera. En el laboratorio fragmenté a 50 individuos de *A. mexicana*
265 que tuvieran un peso dentro del intervalo establecido como lo menciono en el apartado *Elección*
266 *entre semillas y carroña por las colonias*. Posteriormente fragmenté en cabeza, tórax (tomando
267 hasta el postpeciolo) y abdomen (solo gáster), esto conforme a lo que *P. barbatus* hizo en campo
268 durante el experimento de remoción. La división la realicé con ayuda de microscopio
269 estereoscópico, tijeras y pinzas entomológicas. Después pesé las partes (en peso seco), por

270 separado en una balanza analítica y así obtuve un peso promedio de cada parte del cuerpo de *A.*
271 *mexicana*.

272 Con el peso de cada parte del cuerpo de *A. mexicana* me permitió calcular, en combinación con
273 la frecuencia de los fragmentos, la biomasa transportada al interior de la colonia, como variable
274 de respuesta. Para comparar la biomasa acarreada de las diferentes partes del cuerpo y
275 combinaciones de *A. mexicana* entre las temporadas lleve a cabo un modelo estadístico que
276 corresponde a un diseño de factores mixtos, en el que los factores fijos son las diferentes partes
277 del cuerpo de *A. mexicana* con siete niveles (hormiga completa (hc), hormiga sin patas (hsp),
278 cabeza (c), tórax (t), abdomen (a), cabeza + tórax (ct) y tórax + abdomen (ta)) y la temporada con
279 dos niveles (seca o lluvia) como factores fijos; y las 15 colonias como factor aleatorio. Debido a
280 que la variable de respuesta, biomasa, no fue normal aun usando la transformación Box Cox; se
281 decidió ponderar la información biológica para la ejecución de un modelo lineal generalizado
282 mixto.

283 ***Fragmentos de Atta mexicana en basureros de las colonias***

284 También, para tener información de qué partes de *A. mexicana* son extraídas del interior de la
285 colonia, como una forma indirecta de su aprovechamiento o desecho, asumiendo que las partes
286 extraídas no fueron aprovechadas por la colonia y las que no son extraídas sí los son. De las 15
287 colonias tomé muestras de suelo en cuadros de 25 × 25 cm por lado y 1 cm de profundidad. Una
288 de las muestras provino del basurero (el espacio donde depositan los materiales que son
289 expulsados del interior de la colonia) y el otro en la zona del disco (Figura 2), como un control
290 que me indica que el material que ahí se encuentra se debe a otros factores distintos al desecho de
291 materiales del interior de la colonia. Eliminé cualquier resto vegetal o rocas grandes que pudiera
292 maltratar los fragmentos de *A. mexicana*, para después depositar las muestras en bolsas de papel

previamente etiquetadas y transportarlas al Laboratorio de Ecología de Poblaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas-BUAP. En el laboratorio cerní cuidadosamente las muestras, para tomar los fragmentos de *A. mexicana*, con tamices de 10, 50 y 100 cuadros por centímetro, en cada tamiz revisé y colecté todos los fragmentos de *A. mexicana* presentes, posteriormente los catalogué y contabilicé empleando un microscopio estereoscópico.

Para comparar la frecuencia de las partes de *A. mexicana* en basureros y discos de las colonias, así como entre temporadas, estructuré un modelo estadístico con un diseño de factores mixtos, en el que los factores fijos son el tipo de fragmento con seis niveles (abdomen completo, abdomen incompleto, cabeza completa, cabeza incompleta, tórax completo y tórax incompleto), la temporada con dos niveles (seca o lluvia) y el lugar con dos niveles (basurero o disco), y para el factor aleatorio las 15 colonias. Realicé un modelo lineal generalizado mixto con distribución de error *Poisson*, ya que la variable de respuesta consistió en conteos.

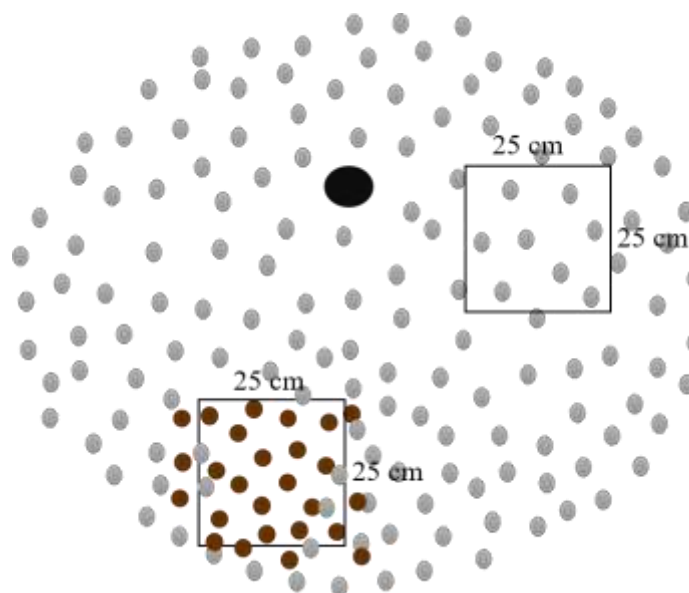


Figura 2. Toma de muestra para los fragmentos de *A. mexicana* en basureros de las colonias. La zona de círculos grises representa el disco de la colonia de *P. barbatus*, el círculo negro figura la entrada de la colonia, mientras que los círculos color café representan los restos que conforman el basurero. Las muestras se tomaron en una parte del disco y otra en el basurero como se visualiza en los cuadros.

318 ***Abundancia de semillas y carroña en el suelo***

319 Por último, para comparar entre temporadas la abundancia de semillas y carroña en los
320 alrededores de las colonias, y determinar si *P. barbatus* tiene opción en su elección de forrajeo de
321 manera natural o se ve limitado por la disponibilidad de recurso que encuentra. Tomé muestras de
322 suelo en cada una de las 15 colonias, trazando dos cuadros de 25 × 25 cm por lado y 1 cm de
323 profundidad. Uno de los cuadros lo establecí en un sitio cercano a 1 m del disco de la colonia y el
324 segundo en un sitio lejano a 15 m del disco (Figura 3). Antes de tomar las muestras en cada
325 cuadro, observé durante 5 min si se presentaba actividad por *P. barbatus*, es decir, tomé como
326 actividad la presencia o ausencia de la especie, si observaba al menos una forrajera declaraba el
327 sitio con actividad de lo contrario era categorizado como un sitio sin actividad. Para el sitio con
328 distancia de 1 m hubo actividad dentro del tiempo establecido, mientras que en 15 m no se
329 encontró actividad. Posteriormente colecté las muestras del suelo en cada cuadro del suelo y las
330 coloqué en bolsas de papel previamente etiquetadas, para transportarlas al Laboratorio de
331 Ecología de Poblaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas-BUAP. Cerní las muestras con
332 ayuda de tamices de 10, 50 y 100 cuadros por centímetro, en cada tamiz revisé y separé con
333 pinzas entomológicas, semillas enteras y artrópodos completos. Para evitar una sobreestimación
334 de individuos. En las semillas conté como individuos solo aquellos fragmentos con arilo. Para los
335 artrópodos, tome en cuenta solamente las cabezas de los organismos. Contabilicé e identifiqué
336 hasta el nivel taxonómico posible. Para ser más práctica la identificación, realicé una base de
337 datos de las posibles semillas en la zona de estudio a partir del trabajo realizado por Luna et al.
338 (2018)

339 Para comparar la abundancia de semillas y carroña entre ambas distancias (1 y 15 m) y entre
340 temporadas, establecí un diseño de factores mixtos, como factores fijos el tipo de recurso con dos

niveles (semilla o carroña), el sitio de colecta con dos niveles (con actividad o sin actividad) y la temporada con dos niveles (seca o lluvia), para el factor aleatorio las 15 colonias. Ejecuté un modelo lineal generalizado con distribución de error poisson, ya que la variable de respuesta es la frecuencia de semillas o artrópodos.

Para la realización, interpretación y construcción de los modelos estadísticos y de las gráficas presentadas, utilicé el programa R versión 3.6.3 R Core Team (2020), junto con las paqueterías “lme4” (Douglas Bates et al., 2015), “sjPlot” (Lüdecke, 2020) y “rafalib” (Irizarry y Love, 2015).

En todos los modelos lineales mixtos generalizados, los cuadros de salida ponen a prueba la significancia de cada predictor (factor del modelo) a partir del parámetro estimado (Razón de tasas de incidencias) el cual debe encontrarse en el Intervalo de confianza. Para calcular la varianza en los datos explicada solo por los efectos fijos (R^2 marginal) y la varianza explicada por los efectos fijos y aleatorios (R^2 condicional) (Nakagawa et al., 2017) utilicé la paquetería “sjPlot” versión 2.8.4 (Lüdecke 2020). Por otra parte, para revelar las diferencias significativas entre los grupos en cada modelo lineal mixto generalizado de cada sección realicé pruebas post hoc por pares utilizando la prueba HSD de Tukey utilizando la paquetería “emmeans” (Lenth, et al., 2019).

365
366
367
368
369
370
371
372
373

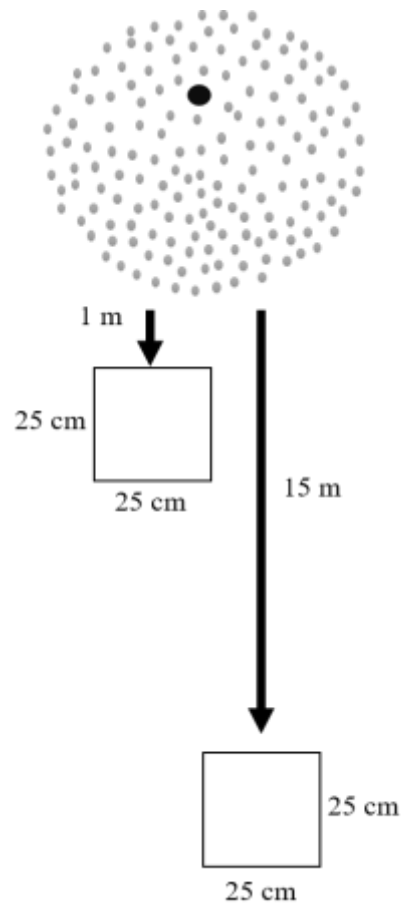


Figura 3. Abundancia de semillas y carroña en el suelo. La zona de círculos grises representa el disco de la colonia de *P. barbatus*, el círculo negro figura la entrada de la colonia. Las muestras se tomaron en una zona de actividad (1 m de distancia) y otra donde no se presentaba actividad (15 m de distancia) de *P. barbatus* como lo ejemplifican los cuadros.

RESULTADOS

Elección entre semillas y carroña por las colonias

La frecuencia de remoción de carroña fue mayor (promedio $\pm$ EE) con $41.96 (\pm 5.85)$ que las semillas con $34.93 (\pm 6.30)$ para ambas temporadas. Por otra parte, entre temporadas encontré que la remoción de semillas y carroña fue mayor en temporada de lluvia (48.7 ± 6.15) que en temporada seca (28.2 ± 5.46) (Cuadro 1). La interacción estadística entre tipo de recurso y la temporada también fue significativa (Cuadro 1), donde la magnitud de la diferencia en temporada seca entre las semillas y carroña es mayor que en la temporada de lluvia, además de haber más variación en la temporada de lluvia (Figura 4).

Cuadro1. Resultados del modelo lineal generalizado mixto, que muestran tendencias lineales en el total de recursos removidos entre temporadas.

Predictor	Parámetro estimado	Intervalo de Confianza del 95%	P
Seca	0.58	0.53-0.63	< 0.01
Lluvia	44.20	33.98-57.49	< 0.01
Semillas	0.83	0.77-0.90	< 0.01
Carroña	38.09	29.26-49.58	< 0.01
Efecto aleatorio	σ^2	0.03	
Colonias	τ_{00} nido.n	0.26	
R ² Marginal	0.409		
R ² Condicional	0.941		

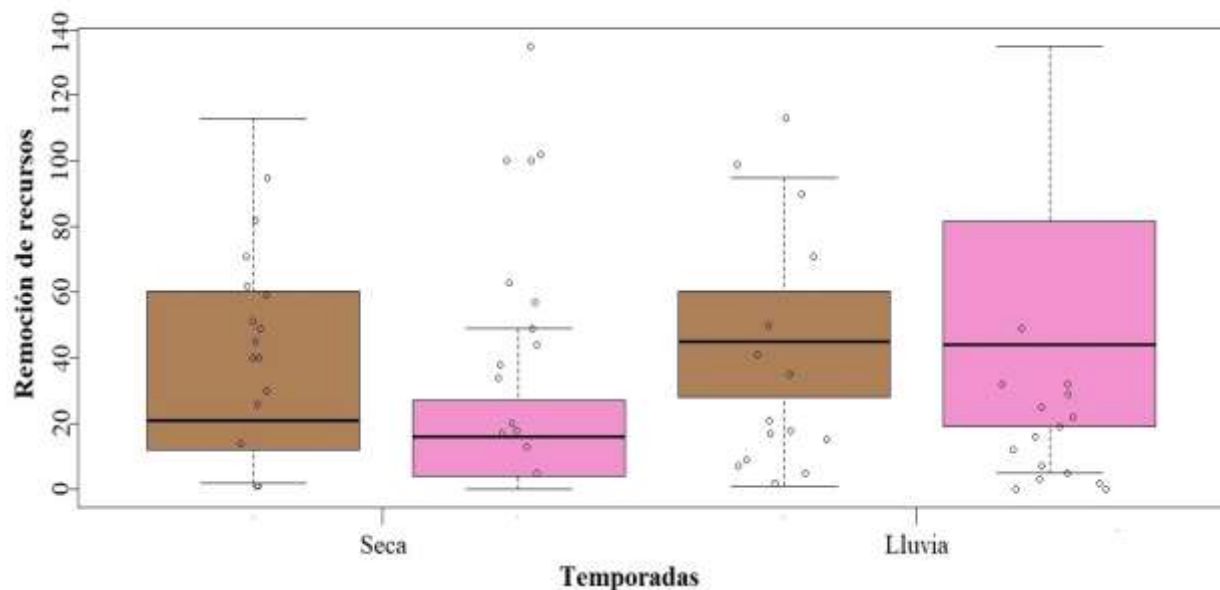


Figura 4. Remoción total de carroña (cajas color café) y de semillas (cajas de color rosa) de cada colonia (círculos) de *P. barbatus*, en las temporadas seca y lluvia, en el Valle de Zapotitlán Salinas. Los alambres representan el primer y cuarto cuartil, la caja el segundo y tercer cuartil y la línea al interior de la caja representa la mediana para cada grupo.

Con relación a la remoción de ambos tipos de recursos en el tiempo, la remoción es mayor en los primeros días y después decae. La remoción de recursos es menor en seca respecto a la de lluvia. Para la temporada seca la remoción fue igual durante los dos primeros días, al tercer día disminuyó y se mantuvo constante hasta el quinto día. En el caso de la temporada de lluvia en el segundo día hubo un aumento en la remoción comparado al primer día, en el tercer día la remoción disminuyó, para el cuarto día vuelve a disminuir y posteriormente se mantuvo constante para el quinto día (Cuadro 2, Figura 5).

Cuadro 2. Resultados del modelo lineal generalizado mixto, que muestran tendencias lineales en la remoción de recursos a través de los días de muestreo entre temporadas.

Predictor	Parámetro estimado	Intervalo de Confianza del 95%	P
Seca	0.58	0.53-0.63	< 0.01
Lluvia	8.84	6.80-11.50	< 0.01
Día 1	8.65	6.60-11.34	< 0.001
Día 2	1.15	1.03-1.28	0.016
Día 3	0.80	0.71-0.90	< 0.01
Día 4	0.53	0.46-0.60	< 0.01
Día 5	0.56	0.49-0.64	< 0.01
Efecto aleatorio	σ^2	0.13	
Colonias	$\tau_{00} \text{ nido.d}$	0.26	
R ² Marginal	0.323		
R ² Condicional	0.768		
AIC	3153.488		

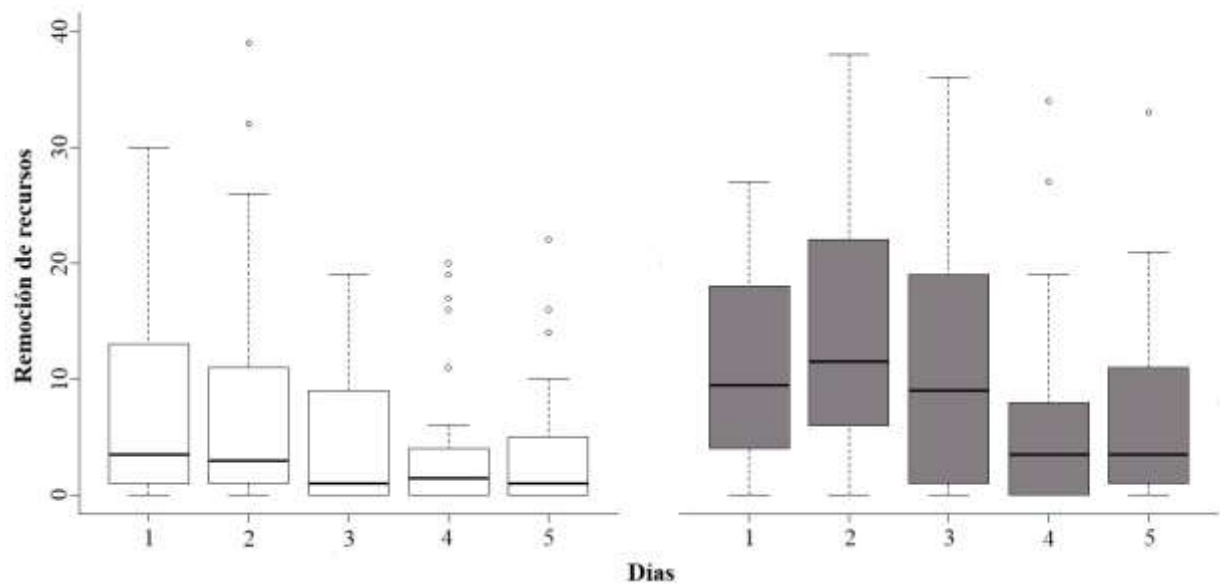


Figura 5. Remoción de ambos recursos semillas y carroña, a través de los 5 días de experimento en las temporadas seca (cajas de color blanco) y lluvia (cajas de color gris), en el Valle de Zapotitlán Salinas. Los alambres representan el primer y cuarto cuartil, la caja el segundo y tercer cuartil y la línea al interior de la caja representa la mediana para cada grupo.

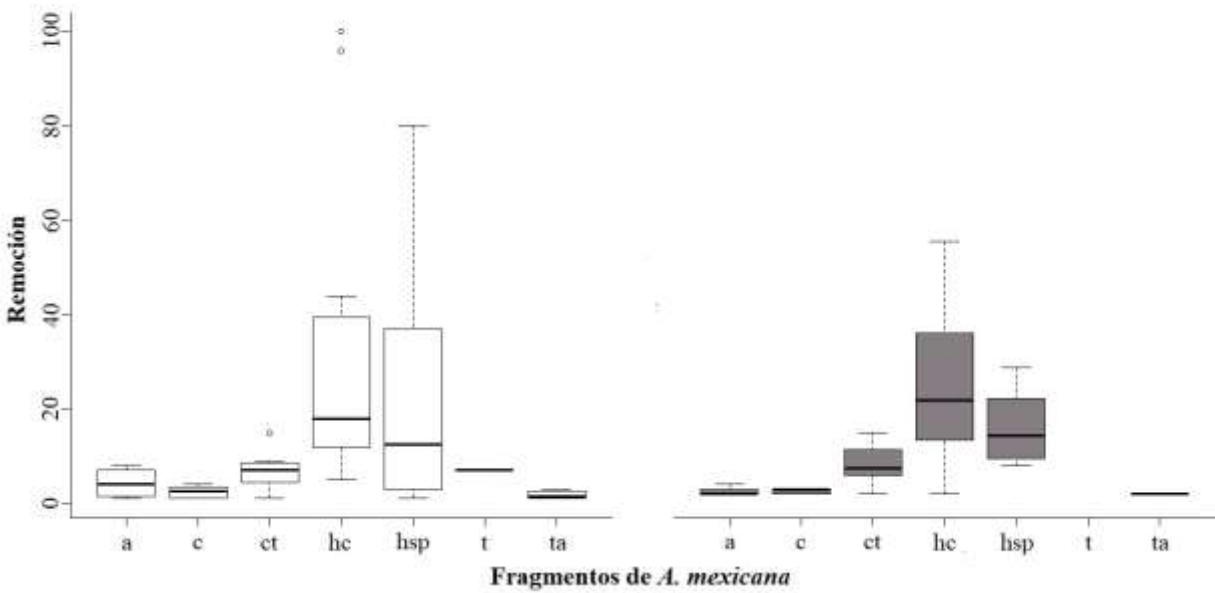
Remoción de fragmentos de *Atta mexicana*

La mayor frecuencia de remoción de fragmentos de *A. mexicana* por las colonias, tanto en temporada seca como lluvia fue para la hormiga completa y hormiga sin patas, la combinación de cabeza + tórax ocupa valores intermedios, mientras que las frecuencias bajas fueron para el abdomen, cabeza, tórax y tórax + abdomen (Cuadro 3, Figura 6).

Cuadro 3. Resultados del modelo lineal generalizado mixto, que muestran tendencias lineales en la remoción de fragmentos de *A. mexicana* entre temporadas.

Predictor	Parámetro Estimado	Intervalo de Confianza del 95%	P
Seca	1.25	1.12-1.39	<0.01
Lluvia	10.51	7.82-14.12	< 0.01
Abdomen	2.73	1.86-4.02	< 0.01
Cabeza	0.65	0.41-1.03	0.064
Cabeza + Tórax	2.17	1.60-2.95	<0.001
Hormiga Completa	8.87	6.76-11.64	< 0.01
Hormiga Sin Patas	5.61	4.24-7.44	< 0.01
Tórax	2.31	1.03-5.16	0.042
Tórax + Abdomen	0.56	0.27-1.17	0.123
Factor aleatorio	σ^2	0.08	
Colonias	$\tau_{00} \text{ nid} 1.3$	0.32	
R ² Marginal	0.724		
R ² Condicional	0.944		
AIC	1057.885		

417



418 Figura 6. Remoción de fragmentos de *A. mexicana* en las temporadas seca (cajas de color blanco) y lluvia (cajas
419 de color gris), en el Valle de Zapotitlán Salinas. Donde a=abdomen, c=cabeza, ct=cabeza + tórax, hc=hormiga
420 completa, hsp=hormiga sin patas, t=tórax y ta=tórax + abdomen. Los alambres ejemplifican el primer y cuarto
cuartil, la caja el segundo y tercer cuartil y la línea al interior de la caja representa la mediana para cada grupo.

421

422 ***Biomasa removida de fragmentos de Atta mexicana***

423 La biomasa de fragmentos removidos para ambas temporadas fue mayor para la hormiga
424 completa, seguido de la hormiga sin patas. Para las demás partes y combinaciones su biomasa
425 removida es similar (Cuadro 4, Figura 7).

426

427

428

Cuadro 4. Resultados del modelo lineal generalizado mixto, que muestran tendencias lineales en la biomasa de *A. mexicana* removida por *P. barbatus* entre temporadas.

Predictor	Parámetro Estimado	Intervalo de Confianza del 95%	P
Seca	0.01	-0.04-0.06	0.788
Lluvia	0.08	0.04-0.12	< 0.001
Abdomen	0.00	-0.05-0.05	0.905
Cabeza	0.00	-0.07-0.08	0.924
Cabeza + Tórax	0.03	-0.04-0.09	0.385
Hormiga Completa	0.21	0.14-0.27	< 0.01
Hormiga sin patas	0.10	0.03-0.17	0.004
Tórax	0.01	-0.21-0.22	0.946
Tórax + Abdomen	0.00	-0.10-0.11	0.968
Factor Aleatorio	σ^2	0.01	
Colonias	$\tau_{00} \text{ nid} 1.3$	0.00	
R ² Marginal	0.390		
R ² Condicional	0.427		
AIC	-170.05		

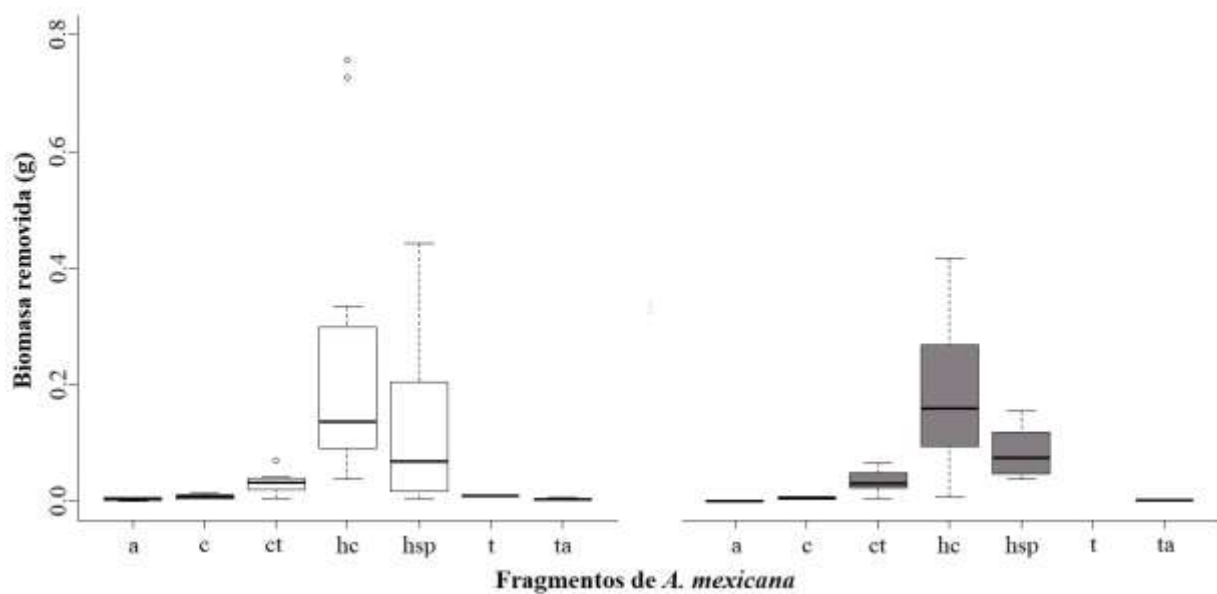


Figura 7. Remoción de biomasa en g, de *A. mexicana* en las temporadas seca (cajas de color blanco) y lluvia (cajas de color gris), en el Valle de Zapotitlán Salinas. Donde a=abdomen, c=cabeza, ct=cabeza + tórax, hc=hormiga completa, hsp=hormiga sin patas, t=tórax y ta=tórax + abdomen. Los alambres ejemplifican el primer y cuarto cuartil, la caja el segundo y tercer cuartil y la línea al interior de la caja representa la mediana para cada grupo.

Fragmentos de Atta mexicana en basureros de las colonias

En los basureros de las colonias encontré desde fragmentos de ramas, hojarasca, semillas completas y fragmentos, así como fragmentos de artrópodos, incluso individuos y fragmentos de la propia especie estudiada (*P. barbatus*). Por el contrario, en los discos era escaso el material orgánico que se encontraba.

En cuanto a los fragmentos de *A. mexicana*, encontré (promedio $\pm$ EE) mayor frecuencia de fragmentos en los basureros (6.66 ± 1.38) que en los discos (0.43 ± 0.08) de las colonias para ambas temporadas. La frecuencia de los diferentes tipos de fragmentos encontrados en los discos no tuvo diferencias significativas, mientras que, en los basureros, las cabezas fueron las más frecuentes seguidas de tórax y por último de abdomen (Cuadro 5, Figura 8).

Cuadro 5. Resultados del modelo lineal generalizado mixto, que muestran tendencias lineales en los fragmentos de *A. mexicana* encontrados en basureros y discos de las colonias para ambas temporadas.

Predictor	Parámetro Estimado	Intervalo de Confianza del 95%	P
Seca	0.75	0.67-0.84	< 0.01
Lluvia	3.23	2.18-4.79	< 0.01
Basureros	5.33	3.59-7.89	< 0.01
Discos	0.06	0.05-0.08	< 0.01
Abdomen completo	0.19	0.10-0.36	< 0.01
Abdomen incompleto	10.36	5.9-17.90	< 0.01
Cabeza completa	3.43	1.89-6.21	< 0.01
Cabeza incompleta	47.29	27.89-80.20	< 0.01
Tórax completo	0.50	0.20-1.24	0.133
Tórax incompleto	29.79	17.51-50.67	< 0.01
Factor aleatorio	σ^2	0.30	
Colonias	τ_{00}^2	0.61	
R ² Marginal	0.982		
R ² Condicional	0.994		
AIC	1648.640		

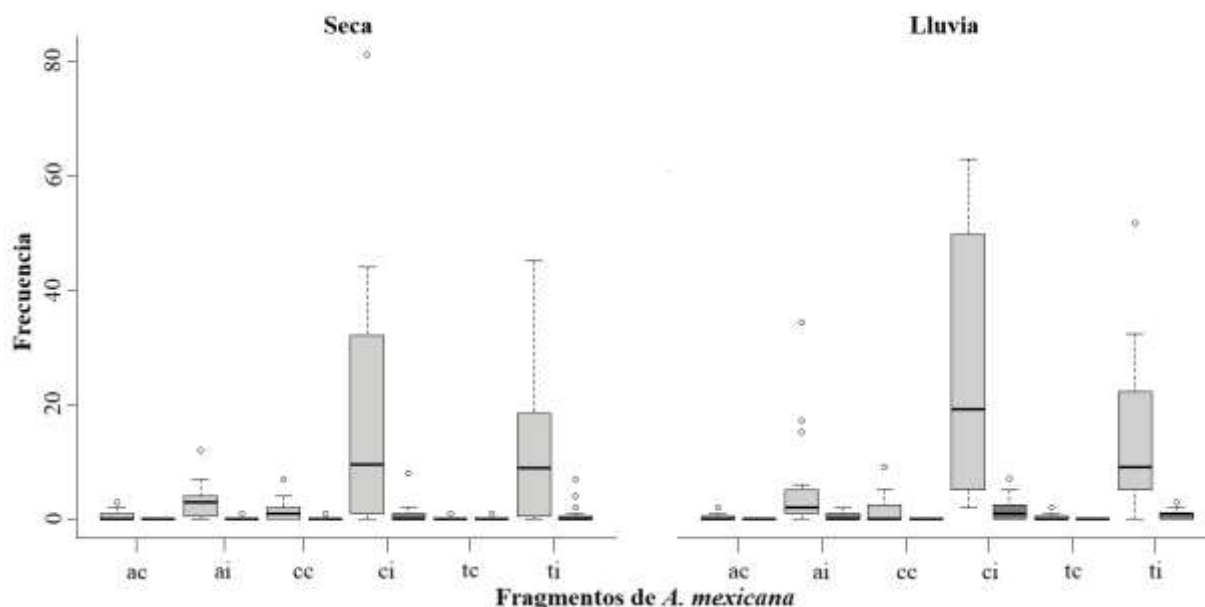


Figura 8. Fragmentos de *A. mexicana* encontrados en basureros (cajas color gris claro) y discos (cajas de color gris oscuro) de colonias de *P. barbatus*, en las temporadas seca y lluvia, en el Valle de Zapotitlán Salinas. Donde ac=abdomen completo, ai=abdomen incompleto, cc=cabeza completa, ci=cabeza incompleta, tc=tórax completo y ti=tórax incompleto. Los alambres ejemplifican el primer y cuarto cuartil, la caja el segundo y tercer cuartil y la línea al interior de la caja representa la mediana para cada grupo.

Abundancia de semillas y carroña en el suelo

En el caso de carroña en temporada seca de los fragmentos encontrados un 33.65% no fueron identificados y un 66.33% constituyeron fragmentos de *A. mexicana*. En temporada de lluvia 66.4% fueron fragmentos sin identificar y 33.6% fragmentos de *A. mexicana*.

Entre las temporadas encontré (promedio $\pm$ EE) mayor frecuencia de semillas y carroña en temporada seca (Cuadro 6) con una frecuencia de $1.15 (\pm 0.32)$ en comparación a la temporada de lluvia con $0.75 (\pm 0.16)$. Sin embargo, la frecuencia de semillas y carroña no sigue un mismo patrón entre las temporadas. En temporada seca la cantidad de semillas fue de $1.44 (\pm 0.53)$ mientras que de carroña de $0.86 (\pm 0.38)$. En cambio, para la temporada de lluvia la cantidad de semillas fue de $0.70 (\pm 0.17)$ mientras que de carroña de $0.80 (\pm 0.27)$.

La frecuencia promedio ($\pm$ EE) de semillas en sitios con actividad fue de 1.46 ($\pm$ 0.45) y para los sitios sin actividad fue de 0.65 ($\pm$ 0.31), los cuales no difieren estadísticamente. La frecuencia promedio de carroña en sitios con actividad fue de 0.62 ($\pm$ 0.17) y para los sitios sin actividad fue de 1.03 ($\pm$ 0.43) que tampoco difieren estadísticamente (cuadro 6).

Cuadro 6. Resultados del modelo lineal generalizado mixto, que muestran tendencias lineales en la abundancia de semillas y carroña en campo entre temporadas.

Predictor	Parámetro estimado	Intervalo de Confianza del 95%	P
Seca	1.61	1.11-2.34	0.011
Lluvia	0.54	0.32-0.91	0.021
Sitios con Actividad	0.79	0.48-1.30	0.356
Sitios sin Actividad	0.78	0.54-1.12	0.176
Carroña	0.63	0.38-1.05	0.075
Semillas	1.24	0.86-1.79	0.249
Factor aleatorio	σ^2	0.88	
Colonias	τ_{00} nido5	0.62	
R ² Marginal	0.212		
R ² Condicional	0.535		
AIC	358.383		

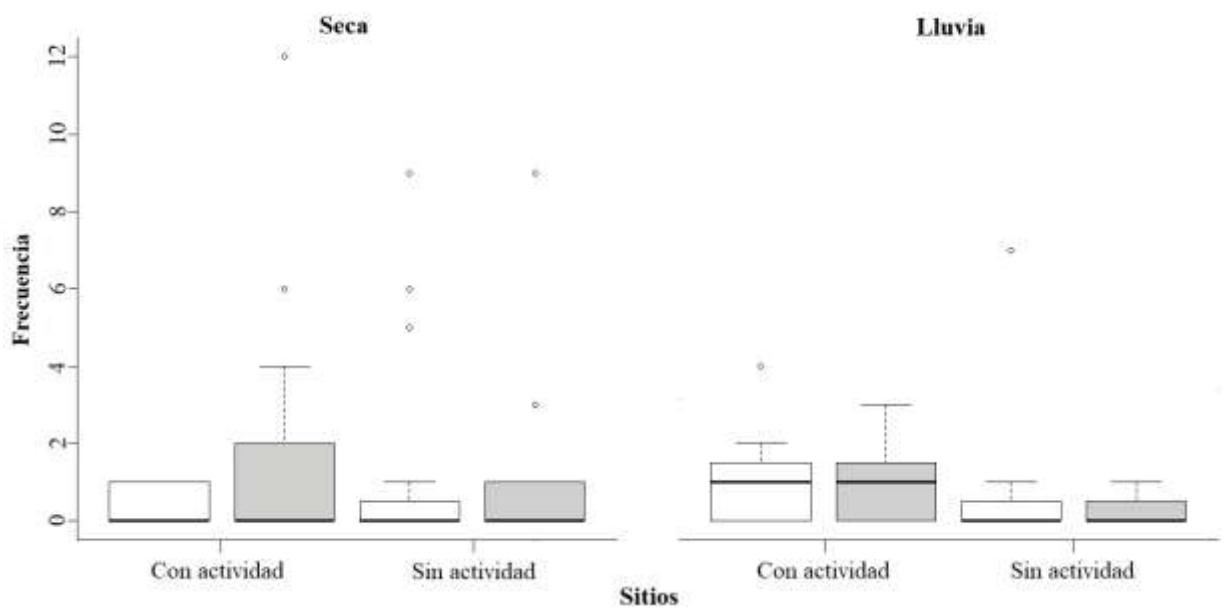


Figura 9 Frecuencia de fragmentos de carroña (cajas de color blanco) y semillas (cajas de color gris) en los sitios determinados con y sin actividad de las colonias de *P. barbatus* en temporadas seca y lluvia del Valle de Zapotitlán Salinas. Los alambres representan el primer y cuarto cuartil, la caja el segundo y tercer cuartil y la línea al interior de la caja representa la mediana para cada grupo.

DISCUSIÓN

La gran mayoría de las especies del género *Pogonomyrmex* han sido consideradas como granívoras (Briese y Macauley, 1981; Hölldobler y Wilson, 1990; Crist, 2008). Incluyendo a *P. barbatus*, sin embargo, la mayoría de los estudios se han llevado a cabo en partes del sureste de Estados Unidos (Buckley, 1982; Hölldobler y Wilson, 1990; Ríos-Casanova et al., 2004; Gordon, 2010; Álvarez-Espino et al., 2017), lo cual podría sesgar los resultados. Contrastando con mi evaluación experimental sobre la preferencia realizada, muestro que *P. barbatus* prefiere la carroña a las semillas. En este sentido, Kugler e Hincapie (1983) y Anda-Rickert y Fracchia (2012) han reportado, con datos de campo, que *P. mayri* y *P. cunicularius* son carroñeras, aun teniendo semillas en el suelo a su disposición. Entonces, no sólo las semillas son un recurso importante para *Pogonomyrmex* sino también la carroña. Con base en mis resultados *P. barbatus* se comporta como una hormiga omnívora que consume semillas y carroña y entre estos recursos prefiere la carroña. Lo cual es una ventaja evolutiva ya que como mencionan Rico Gray y Oliveira (2007) estas hormigas pasan mucho tiempo en sus nidos por lo que una dieta monógafa restringiría su actividad, al contrario de una dieta mixta que les permite optimizar la cantidad de nutrientes, y tener suministros de recursos alimenticios más fiables, que conllevan a la mejora de uno o varios componentes de la historia de vida del organismo, tales como supervivencia, fecundidad y longevidad, puesto que se encuentra adaptadas a un ambiente cambiante e impredecible como lo son las zonas semiáridas (Noy y Meir, 1973; Albajes y Alomar, 2008; Lach et al., 2010; Begon et al., 2014). Este planteamiento implica que *P. barbatus* no solo tiene una función en el ecosistema como removedora importante de semillas que se encuentran en el suelo (Luna et al., 2018), sino también como removedora de carroña y sus implicaciones en el reciclaje de nutrientes del suelo.

493 También *P. barbatus* remueve de manera general más recursos en temporada de lluvia que en
494 seca, aun cuando la abundancia de recursos totales en el suelo (carroña y semillas) es más alto en
495 la temporada de seca (60%), respecto a los recursos que se encuentran en temporada de lluvia
496 (40%). La alta remoción en lluvia puede explicarse en función de la actividad de *P. barbatus*, ya
497 que se ha reportado que las colonias presentan mayor actividad en el periodo de lluvia como
498 consecuencia de la disminución de la temperatura y el aumento de la humedad ambiental
499 (Gordon, 1991; Rico-Gray et al., 1998; Taber, 1998; Gordon, 2010; Guzmán-Mendoza et al.,
500 2012). En cambio, en la temporada de seca, se tiene el periodo de mayor incidencia de radiación
501 solar y durante el experimento se registraron altas temperaturas, alcanzando los 41 °C bajo
502 sombra en el mes de mayo (CONAGUA, 2020); además la temperatura del suelo por lo general
503 es más alta. Ríos-Casanova et al. (2014) reportan para el Valle de Zapotitlán Salinas, que *P.*
504 *barbatus* detiene su actividad en primavera, cuando la temperatura máxima del suelo fue de 50
505 °C. Altas temperaturas afectan a las hormigas pues al ser organismos diminutos y encontrarse en
506 la superficie del suelo, pueden presentar un incremento de temperatura más rápido, lo que
507 provoca que su pérdida de líquidos corporales sea mucho mayor (Kaspari, 2000; Whitford, 2002).
508 Y es que el efecto de las condiciones ambientales ocasiona que las forrajeras ajusten su actividad
509 entre temporadas (Gordon, 2016). Gordon (2002) menciona que las hormigas *P. barbatus* que
510 patrullan antes de iniciar la actividad, es decir, las que recorren alrededor de la colonia para
511 evaluar recursos, así como examinar el exterior, son capaces de evaluar la humedad y
512 temperatura del ambiente para así informar a las forrajeras si es factible salir del interior de la
513 colonia para buscar alimento.

514 Mis resultados mostraron que hay una mayor abundancia de recursos en el suelo en la temporada
515 seca en comparación a la temporada lluvia. Además, la frecuencia de semillas y carroña en el

suelo cambia por temporadas. En seca hay una mayor frecuencia de semillas que de carroña 63 y 37% respectivamente, y para la temporada de lluvia, tienen una frecuencia similar 53% para carroña y 47% semillas. La diferencia de semillas y carroña en el suelo entre temporadas puede ser debido a la precipitación, ya que la escorrentía, provocada por precipitaciones abundantes, se ha descrito como impulsor ecológico que incide en la composición vegetal, ya que promueve la reestructuración en la abundancia de recursos (Bochet, 2015). Posiblemente, la diferencia en la abundancia de semillas y carroña entre temporadas, sea consecuencia de la formación de bancos de semillas de plantas anuales, que se acumulan desde el otoño anterior y perduran en el suelo durante toda la temporada de seca, y tras eventos de lluvias en verano llegan a germinar (Brown et al., 1979; Sánchez et al, 2015). Por otro lado, en temporada de lluvia es el periodo en el cual los organismos como invertebrados emplean sus reservas de energía y varias especies emergen en estado adulto, incrementando su actividad en la búsqueda de alimento y reproducción. Esto ante señales de condiciones favorables que en ambientes semiáridos se asocian a la temporada de lluvia, por lo que hay un mayor incremento en la presencia de organismos en esta temporada (Noy-Meir, 1973; Hölldobler y Wilson, 1990).

En mis resultados la remoción de *P. barbatus* es diferente en comparación a trabajos anteriores. Ya sea evaluando mediante los recursos forrajeados por las recolectoras, como consecuencia de la disponibilidad de recursos a la que está sujeta de manera natural, o por medio de la elección empleando recursos artificiales. En estos trabajos los resultados son similares. En temporada seca recolectan mayormente semillas y en lluvia artrópodos en los estudios de recursos forrajeados, y para el caso de recursos artificiales en seca tienen preferencia por carbohidratos y lípidos; en cambio en lluvia tiene preferencia por recursos con mayor cantidad de proteína (Belchior et al., 2012; Luna y Dáttilo, 2018; Anjos et al., 2019). Otro caso es el de Luna et al. (2021) quienes

539 encuentran que a pesar de que en temporada de lluvia *P. barbatus* aumenta su ingesta de
540 invertebrados sigue teniendo un mayor consumo de semillas para las dos temporadas. Y, por otra
541 parte, Kay (2002, 2004) encuentra que *P. barbatus* no recolecta el recurso artificial de proteína
542 que le ofrece. En mi trabajo, que consistió en un experimento en campo donde controle la
543 abundancia de los recursos, para permitirme evaluar la preferencia de *P. barbatus* ante semillas y
544 carroña que son usualmente recolectados por la especie, pero, que en condiciones naturales no se
545 presentan de manera homogénea. *P. barbatus* remueve mayormente carroña en ambas
546 temporadas, y la diferencia en remoción respecto a las semillas, es de mayor magnitud en
547 temporada seca que en temporada de lluvia. Mis resultados se asemejan a los encontrados por
548 Judd (2005) quien ofrece carbohidratos y proteínas, pero con recursos ajenos a la dieta de
549 *Pheidole ceres*, la cual en primavera prefiere proteína, y en otoño incrementa su ingesta de
550 carbohidratos, pero sin llegar a ser el recurso preferido.

551 La diferencia en la magnitud de remoción entre temporadas puede ser consecuencia de los
552 requerimientos dietéticos para la nutrición y crecimiento de las colonias (Carrol y Janzen, 1973;
553 Crist, 2008; Gordon, 2010). Cabe mencionar que las hormigas son insectos holometábolos, por lo
554 tanto, tienen diferentes requerimientos nutricionales en cada estadio de desarrollo (Blüthgen y
555 Feldhaar, 2010). Por lo que, en el caso de la temporada seca al prepararse para la producción de
556 individuos alados (Carrol y Janzen, 1973), los cuales realizarán los vuelos nupciales en junio
557 (Castillo-Meza obs. Pers.), así como el mantenimiento de los individuos que se encuentran en
558 etapa larvaria, la proteína, es muy importante en comparación con los carbohidratos y lípidos
559 (Gordon, 2010; Smith y Suarez, 2010). Pero, para la temporada de lluvia cuando estos eventos de
560 alto costo energético ya han pasado, los carbohidratos y lípidos son igualmente importantes que
561 la proteína para mantener a los adultos (Nation, 2002, citado en Blüthgen y Feldhaar, 2010). Sin

562 embargo, es necesario más información en cuanto a la relación entre el tipo de nutriente y los
563 requerimientos energéticos específicos durante el desarrollo o la reproducción dentro del género
564 *Pogonomyrmex* (Munger, 1992; Wiernasz y Cole, 2018), por lo que se necesita mayor
565 investigación con relación a este tema.

566 En ambas temporadas durante los primeros días del experimento, ambos recursos fueron
567 atractivos, destacándose una mayor remoción durante los primeros días, sin embargo, después
568 disminuyó. Posiblemente en los primeros días más forrajeras se sintieron atraídas y comenzaron a
569 remover en viajes rápidos, debido a que los recursos eran abundantes y disminuían el tiempo en
570 búsqueda (Gordon, 2010), por lo que la remoción fue mayor. Pero al pasar los días ya no eran
571 necesarias tantas forrajeras pues un número fijo de éstas podía cumplir con esta tarea y remover
572 los recursos viaje tras viaje, con lo cual disminuyó la cantidad de recurso que removían en el
573 tiempo establecido.

574 Por otra parte, *P. barbatu*, remueve con mayor frecuencia a todo el individuo de *A. mexicana*, así
575 como todo el cuerpo menos las patas, lo que equivale a transportar a la colonia una mayor cantidad
576 de fuente energética, que se confirma en la cantidad de biomasa acarreada dentro de las colonias.
577 Al tener un gasto energético en la búsqueda, el viaje de ida y regreso a la colonia, es necesario
578 aprovechar al máximo el recurso. Además, la eliminación de las extremidades facilita su transporte
579 haciéndolo más eficiente, evitando que se atore con rocas, ramas u hojarasca durante el transporte
580 a la colonia. Ya que se ha encontrado que recursos que contienen muchas ornamentaciones son
581 menos removidos respecto a aquellos que no las presentan (Wandrag et al., 2020). Sin embargo,
582 también el que fraccionen a *A. mexicana* puede derivar de las habilidades y estrategias de las
583 forrajeras para transportar el recurso, así como su experiencia, ya que al incrementar la recolecta

584 de un recurso particular aumenta su eficiencia, es decir, que adquieren práctica al manejar dicho
585 recurso (Johnson, 1991; Begon et al., 2006; Detrain y Deneubourg, 2009).

586 Aunado a esto es importante mencionar que *P. barbatus* al consumir y fraccionar a *A. mexicana* y
587 dejar restos de materia orgánica en sus basureros, ejerce un impacto positivo en la
588 reincorporación de materia orgánica al suelo (Wang y D'Odorico, 2008). Y es que la presencia de
589 carroña en zonas semiáridas como parches de recursos efímeros, se transforma en una fuente
590 principal de reincorporación de materia orgánica, considerando su aporte en términos de biomasa;
591 en donde la remoción por hormigas es muy importante (Barton et al., 2013a; Barton et al.,
592 2013b). Ya que la carroña de invertebrados al ser abundante se reincorpora como fuente continua
593 de nutrientes al suelo y al ser fragmentada por *P. barbatus*, podría ser favorecida en el tiempo de
594 descomposición. Considerando que los fragmentos de exoesqueleto de artrópodos no solamente
595 son el resultado de la mortalidad natural, sino también a partir de mudas y oviposaduras
596 abandonadas por depredación en varios grupos de artrópodos (Seastedt et al., 1981). También la
597 precipitación por temporadas en las zonas semiáridas limita la descomposición de la carroña, por
598 tanto, el consumo y fragmentación de materia muerta de artrópodos evita su acumulación (Barton
599 y Bump, 2019). Por lo que *P. barbatus* al consumir y fragmentar a *A. mexicana* ejerce un papel
600 importante dentro del ecosistema como una especie recicladora de materia orgánica (Holzapfel,
601 2008). Esto vincula los efectos localizados de la carroña con efectos a gran escala (Barton, 2016).

602 El papel de hormigas como fauna carroñera había sido poco reconocido sobre todo en su impacto
603 sobre los propios invertebrados (Merritt et al., 2016). Pero como lo muestro en este estudio para
604 *P. barbatus* es sumamente relevante resaltar su importancia y destacar a la especie por su posible
605 impacto en la reincorporación de nutrientes a partir de materia orgánica que proviene de carroña
606 de invertebrados, en zonas semiáridas. Por lo que *P. barbatus* dentro del Valle de Zapotitlán

607 Salinas al ejercer diferentes funciones ecológicas entre las que destacan, dispersora, granívora y
608 carroñera, incide con ello en diversos procesos ecológicos. Desde la regulación de la estructura
609 vegetal, así como el papel de un facilitador para la reincorporación de materia orgánica al suelo.
610 Por tanto, podría ser que esté actuando como un ingeniero del ecosistema; lo que sería muy
611 importante de evaluar.

612 Los resultados presentados muestran que *P. barbatus* va más allá de solo recolectar semillas. La
613 carroña tiene un efecto importante en su forrajeo, dentro del Valle de Zapotitlán Salinas; con una
614 preferencia por la carroña en ambas temporadas. Esto claramente en condiciones de abundancia y
615 disponibilidad equitativa para semillas y carroña. No obstante, las zonas semiáridas no presentan
616 una homogeneidad temporal ni espacial de los recursos (Holzapfel, 2008). Quizás si la condición
617 de homogeneidad en la distribución espacial de recursos se mantuviera a través del tiempo, sería
618 una especie carroñera. Pero, la carroña en zonas semiáridas es un recurso impredecible debido a
619 los procesos que lo generan, donde las variables ambientales ejercen un fuerte control, por lo que
620 generalmente se presentan como pulsos (Carrol y Janzen, 1973; Barton, 2016; Barton y Bump,
621 2019). De manera que *P. barbatus* consume lo que encuentra aprovechable en el ambiente, sin
622 que necesariamente sea lo preferido, pero maximiza su ingesta de energía al tomar el recurso
623 disponible, en lugar de invertir más tiempo en una búsqueda selectiva (Heatwole, 1996), lo que
624 puede resultar perjudicial, pues equivale a mayor probabilidad de fracaso al forrajear.

625 *P. barbatus* no solo actúa como una dispersora y depredadora de semillas sino también como
626 carroñera, como una especie óptima al aprovechar lo que encuentra, así como un posible
627 ingeniero del ecosistema al fraccionar la carroña e intervenir en la reincorporación de materia
628 orgánica al suelo, destacándose su relevancia ecológica por su diversidad funcional dentro de este
629 ecosistema.

Además, es importante resaltar el tipo de experimento que he llevado a cabo y los recursos que he utilizado, siendo recursos que la especie reconoce y forman parte de su dieta, por lo que los resultados presentados son más apegados a lo que sucedería de manera natural dentro de su hábitat si las condiciones de abundancia de semillas y carroña fueran equitativas, en comparación a trabajos con recursos artificiales.

Esta investigación arrojó resultados importantes, sería interesante realizar esta evaluación de remoción con una variación mayor en la disponibilidad de los recursos, considerando requerimientos específicos de las colonias, que podrían influir en su patrón de adquisición de recursos (Crist y MacMahon, 1991; Nicolai et al., 2007). El conocer y entender lo que comen y lo que no y porque en las hormigas nos permite comprender su éxito ecológico, dominancia, diversidad (Blüthgen y Feldhaar, 2010), así como su importancia funcional.

CONCLUSIONES

Finalmente, puedo decir que *P. barbatus* en el Valle de Zapotitlán Salinas, prefiere la carroña ante las semillas, siempre y cuando la carroña se encuentre disponible. La magnitud de su preferencia por la carroña es diferente entre las temporadas, ya que para la temporada seca su preferencia por la carroña es más notoria que en temporada de lluvia. Del mismo modo, las forrajeras son capaces de fraccionar el cuerpo de *A. mexicana* para así transportar las partes a la colonia. Con mi trabajo debería reconsiderarse el concepto en el que se tiene a *P. barbatus* como una especie granívora en sentido estricto a una especie omnívora, la cual a pesar de que consume semillas prefiere la carroña. Además, las diferencias en la remoción de carroña y semillas podría ser consecuencia de los requerimientos nutricionales de las colonias.

REFERENCIAS

- Álvarez-Espino, R., Ríos-Casanova, L. y Godínez-Álvarez, H. (2017). Seed removal in a tropical North American desert: an evaluation of pre-and post-dispersal seed removal in *Stenocereus stellatus*. *Plant Biology*, 19(3), 469-474.
- Anderson, G. S., Barton, P. S., Archer, M. y Wallace, J. R. (2019). Invertebrate Scavenging Communities. En *Carrion Ecology and Management* (pp. 45-69). Springer, Cham.
- Anjos, D. V., Luna, P., Borges, C. R. C., Dáttilo, W. y Del-Claro, K. (2019). Structural changes over time in individual-based networks involving a harvester ant, seeds, and invertebrates. *Ecological Entomology*, 44(6), 753-761.
- Anda-Rickert, A. y Fracchia, S. (2012). La biología de *Pogonomyrmex cunicularius pencosensis* (Hymenoptera: Formicidae) en relación con su comportamiento como dispersora de semillas con eleosoma en el Noroeste semiárido argentino. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 71(1-2), 11-27.
- Barton, P. S. (2016). The role of carrion in ecosystems. En Benbow, M. E., Tomberlin, J. K. y Tarone, A. M. (Eds.). *Carrion ecology, evolution, and their applications* (pp. 273-292). CRC Press.
- Barton, P. S. y Bump, J. K. (2019). Carrion decomposition. En Olea, P. P., Mateo-Tomás, P. y Sánchez-Zapata, J. A. (Eds.). *Carrion ecology and management* (pp. 101-124). Springer Nature.
- (a) Barton, P. S., Cunningham, S. A., Lindenmayer, D. B. y Manning, A. D. (2013). The role of carrion in maintaining biodiversity and ecological processes in terrestrial ecosystems. *Oecologia*, 171(4), 761-772.
- (b) Barton, P. S., Cunningham, S. A., Macdonald, B. C., McIntyre, S., Lindenmayer, D. B. y Manning, A. D. (2013). Species traits predict assemblage dynamics at ephemeral resource patches created by carrion. *PLoS One*, 8(1), e53961.
- Begon, M., Howarth, R. W. y Townsend, C. R. (2014). *Essentials of ecology* (4a ed.). Wiley Global Education.
- Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems* (4a ed.). Blackwell publishing.

- Belchior, C., Del-Claro, K. y Oliveira, P. S. (2012). Seasonal patterns in the foraging ecology of the harvester ant *Pogonomyrmex naegelii* (Formicidae, Myrmicinae) in a Neotropical savanna: daily rhythms, shifts in granivory and carnivory, and home range. *Arthropod-Plant Interactions*, 6(4), 571-582.
- Bestelmeyer, B. T. y Wiens, J. A. (2003). Scavenging ant foraging behavior and variation in the scale of nutrient redistribution among semi-arid grasslands. *Journal of Arid Environments*, 53(3), 373-386.
- Blüthgen, N. y Feldhaar, H. (2010). Food and shelter: how resources influence and ecology. En Lach, L., Parr, C. L. y Abbott, K. L. (Eds.). *Ant ecology* (1a ed., pp. 115-136). Oxford university press.
- Bochet, E. (2015). The fate of seeds in the soil: a review of the influence of overland flow on seed removal and its consequences for the vegetation of arid and semiarid patchy ecosystems. *SOILD*, 1(1), 585-621.
- Boldsystems. (2014). Barcode of life data systems. https://www.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=7798.
- Briese, D. T., y Macauley, B. J. (1981). Food collection within an ant community in semi-arid Australia, with special reference to seed harvesters. *Australian Journal of Ecology*, 6(1), 1-19.
- Brown, J. H., Reichman, O. J. y Davidson, D. W. (1979). Granivory in desert ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10(1), 201-227.
- Buckley, R. C. (1982). Ant-plant interactions: a world review en Ant-plant interactions in Australia (pp. 111-141). Springer, Dordrecht.
- Carroll, C. R., y Janzen, D. H. (1973). Ecology of foraging by ants. *Annual Review of Ecology and systematics*, 4(1), 231-257.
- CONAGUA (2020). Información Estadística Climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Diarios/21109.txt>
- Crist, T. (2008). Harvester Ants, *Pogonomyrmex mayr* (Hymenoptera: Formicidae). En J. L. Capinera (Ed.). *Encyclopedia of Entomology* (2a ed., pp. 1769-1771). Springer.

- Crist, T. O. y MacMahon, J. A. (1991). Foraging patterns of *Pogonomyrmex occidentalis* (Hymenoptera: Formicidae) in a shrub-steppe ecosystem: the roles of temperature, trunk trails, and seed resources. *Environmental Entomology*, 20(1), 265-275.
- Del Mar Weisz, M., Nassar, J. M. y Pérez, E. M. (2012). Experimentos de oferta de semillas para estimar granivoría y sus errores metodológicos. *Ecotrópicos*, 25(2), 75-85.
- Detrain, C. y Deneubourg, J. L. (2009). Social cues and adaptive foraging strategies in ants. En Jarau, S. y Hrncir, M. (Eds.). *Food exploitation by social insects ecological, behavioral, and theoretical approaches* (pp. 29-52). CRC Press.
- García-Chávez, J., Sosa, V. y Montaña, C. (2010). Variation in post-dispersal predation of cactus seeds under nurse plant canopies in three plant associations of a semiarid scrubland in central Mexico. *Journal of arid environments*, 74(1), 54-62.
- González-Espinosa, M., y Quintana-Ascencio, P. F. (1986). Seed predation and dispersal in a dominant desert plant: *Opuntia*, ants, birds, and mammals. En *Frugivores and seed dispersal* (pp. 273-284). Springer, Dordrecht.
- Gordon, D. M. (1991). Behavioral flexibility and the foraging ecology of seed-eating ants. *The American Naturalist*, 138(2), 379-411.
- Gordon, D. M. (2002). The organization of work in social insect colonies. *Complexity*, 8(1), 43-46.
- Gordon, D. M. (2010). *Ant encounters: interaction networks and colony behavior* (Vol. 1). Princeton University Press.
- Gordon, D. M. (2016). From division of labor to the collective behavior of social insects. *Behavioral ecology and sociobiology*, 70(7), 1101-1108.
- Guzmán-Mendoza, R., Castaño-Meneses, G. y Herrera-Fuentes, Md. C. (2010). Variación espacial y temporal de la diversidad de hormigas en el Jardín Botánico del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(2), 427-435.
- Guzmán-Mendoza, R., Castaño-Meneses, G. y Zavala-Hurtado, J.A. (2012). Foraging activity and trophic spectrum of red ant *Pogonomyrmex barbatus* Smith, 1858, in productivity-contrasted microenvironments. *Psyche: A Journal of Entomology*, (1)1-6
- Heatwole, H. (1996). *Energetics of desert invertebrates*. Springer Science & Business Media.

- Herrera-Fuentes, M., Navarrete-Jiménez, A., Zavala-Hurtado, J. A., Orendai-Méndez, J. y Campos-Serrano, J. (2015). Diversidad de hormigas en el jardín botánico de Zapotitlán, Puebla. *Ecología y Comportamiento*, (2) 558-563.
- Holzapfel, C. (2008). Deserts en S. E. Jorgensen (Ed.), *Enciclopedia of ecology* (1a ed., pp. 879-897). Elsevier.
- Hölldobler, B. (1976). Recruitment behavior, home range orientation and territoriality in harvester ants, *Pogonomyrmex*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1(1), 3-44.
- Hölldobler, B. y Wilson, E.O. (1990). *The ants*, Harvard University Press.
- Hulme, P. E. y Benkman, C. W. (2002). Granivory. En: Herrera, C. M. y Pellmyr, O.(Eds.) *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Approach*.(pp. 132-154). Wiley-Blackwell.
- Janzen. D. H. (1971). Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2, 465-492.
- Johnson, R. A. (1991). Learning, memory, and foraging efficiency in two species of desert seed-harvester ants. *Ecology*, 72(4), 1408-1419.
- Jorgensen, C. D. y Porter, S. D. (1982). Foraging behavior of *Pogonomyrmex owyheei* in southeast Idaho. *Environmental Entomology*, 11(2), 381-384.
- Judd, T. M. (2005). The effects of water, season, and colony composition on foraging preferences of *Pheidole ceres* [Hymenoptera: Formicidae]. *Journal of insect behavior*, 18(6), 781-803.
- Kaspari, M. (2000). A primer on ant ecology. En Agosti, D., Majer, D. J., Alonso, E. L. y Schultz, T. R. (Eds.). *Ants standard methods for measuring and monitoring biodiversity* (pp. 9-24). Smithsonian Institution.
- Kay, A. (2002). Applying optimal foraging theory to assess nutrient availability ratios for ants. *Ecology*, 83(7), 1935-1944.
- Kay, A. (2004). The relative availabilities of complementary resources affect the feeding preferences of ant colonies. *Behavioral Ecology*, 15(1), 63-70.
- Kugler, C. y Hincapie, Ma. (1983). Ecology of the ant *Pogonomyrmex mayri*: distribution, abundance, nest structure, and diet. *Biotropica*, 15(3)190-198.

- Luna, P., y Dáttilo, W. (2018). A New Protocol Using Artificial Seeds to Evaluate Dietary Preferences of Harvester Ants in Semi-arid Environments. *Sociobiology*, 65(2), 149-154.
- Luna, P., García-Chávez, J. H. y Dáttilo, W. (2018). Complex foraging ecology of the red harvester ant and its effect on the soil seed bank. *Acta Oecologica*, 86, 57-65.
- Luna, P., García-Chávez, J. H., Izzo, T., Sosa, V. J., Del-Claro, K. y Dáttilo, W. (2021). Neutral and niche-based factors simultaneously drive seed and invertebrate removal by red harvester ants. *Ecological Entomology*,
- MacKay, W. P. (1981). A Comparison of the Nest Phenologies of Three Species of *Pogonomyrmex* Harvester Ants (Hymenoptera: Formicidae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 88(1-2), 25-74.
- MacKay, W. P. y Mackay, E. (2002). *The Ants of New Mexico:(Hymenoptera: Formicidae)*. Edwin Mellen Press.
- MacKay, W. P., MacKay, E. E., Perez Dominguez, J. F., Sánchez, L. V. y Vielma Orozco, P. (1985). Las hormigas del estado de Chihuahua Mexico: el género *Pogonomyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 11(1), 39-54.
- MacMahon, J. A., Mull, J. F. y Crist, T.O. (2000). Harvester ants (*Pogonomyrmex* spp.): their community and ecosystem influences. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 265-291.
- Menalled, F. D. y Liebman, M. (2008). Seed predation by insects. En J. L. Capínera (Ed.). *Encyclopedia of Entomology* (2a ed., pp. 3339-3342). Springer.
- Merrit, R. W. y De Jong, G. D. (2016). Arthropod communities in terrestrial environments. En Benbow, M. E., Tomberlin, J. K. y Tarone, A. M. (Eds.). *Carrion ecology, evolution, and their applications* (pp. 65-92). CRC Press.
- Morehead, S. A., y Feener Jr, D. H. (1998). Foraging behavior and morphology: seed selection in the harvester ant genus, *Pogonomyrmex*. *Oecologia*, 114(4), 548-555.
- Morton, S. R. (1985). Granivory in arid regions: comparison of Australia with North and South America. *Ecology*, 66(6), 1859-1866.
- Munger, J. C. (1992). Reproductive potential of colonies of desert harvester ants (*Pogonomyrmex desertorum*): effects of predation and food. *Oecologia*, 90(2), 276-282.

- Nakagawa, S., Johnson, P. C. y Schielzeth, H. (2017). The coefficient of determination R^2 and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(134), 20170213.
- Nation, J. L. (2002) *Insect Physiology and Biochemistry*. CRC Press.
- Nicolai, N., Cook, J. L. y Smeins, F. E. (2007). Grassland composition affects season shifts in seed preference by *Pogonomyrmex barbatus* (Hymenoptera: Myrmicinae) in the Edwards Plateau, Texas. *Environmental entomology*, 36(2), 433-440.
- Noy-Meir, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 25-51.
- Pirk, G. y De Casenave, J.L. (2006). Diet and seed removal rates by the harvester ants *Pogonomyrmex rastratus* and *Pogonomyrmex pronotalis* in the central Monte desert, Argentina. *Insectes sociaux*, 53(1), 119-125.
- Pirk, G. I., De Casenave, J. L., Pol, R. G., Marone, L. y Milesi, F. A. (2009). Influence of temporal fluctuations in seed abundance on the diet of harvester ants (*Pogonomyrmex spp.*) in the central Monte desert, Argentina. *Austral Ecology*, 34(8), 908-919.
- Pol, R. G., Lopez de Casenave, J. y Pirk, G. I. (2011). Influence of temporal fluctuations in seed abundance on the foraging behaviour of harvester ants (*Pogonomyrmex spp.*) in the central Monte desert, Argentina. *Austral Ecology*, 36(3), 320-328.
- Ramírez-Lucas, I. L., y Ríos-Casanova, L. (2015). Semillas removidas por la hormiga *Pogonomyrmex barbatus* (Smith): especies, familias y formas de vida. En G. Castaño-Meneses., M. Vásquez-Bolaños., J. L. Navarrete-Heredia., G. A. Quiroz-Rocha e I. Alcalá-Martínez (Eds.). *Avances de formicidae en México* (pp. 129-138). UNAM.
- Reyes-Prado, H., Pino-Moreno, J. M., García-Pérez, Á. y Carlos, S. (2016). Determinación del valor nutritivo de las hormigas “chicatanas” *Atta mexicana* S. 1858 (HYMENOPTERA-FORMICIDAE) en el estado de Morelos, México.
- Rico-Gray, V., Palacios-Rios, M., Garcia-Franco, J. G. y Mackay, W. P. (1998). Richness and seasonal variation of ant-plant associations mediated by plant-derived food resources in the semiarid Zapotitlán Valley, Mexico. *American Midland Naturalist*, 140(1), 21-26.
- Ríos-Casanova, L., Valiente-Banuet, A., y Rico-Gray, V. (2004). Las hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta zoológica mexicana*, 20(1), 37-54.

- Risch, S. J. y Carroll, C. R. (1986). Effects of seed predation by a tropical ant on competition among weeds. *Ecology*, 67(5), 1319-1327.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra Edición digital, Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Sánchez Salas, J., Muro Pérez, G., Flores Rivas, J. D., Jurado Ybarra, E. y Sáenz Mata, J. (2015). Los bancos de semillas y su germinación en ambientes semiáridos. *Ciencia UANL*, 18(73), 70-76.
- Schupp, E. W. (1988). Seed and early seedling predation in the forest understory and in treefall gaps. *Oikos*, 51(1), 71-78.
- Seastedt, T. R., Mameli, L. y Gridley, K. (1981). Arthropod use of invertebrate carrion. *American Midland Naturalist*, 105(1), 124-129.
- Smith, C. R., y Suarez, A. V. (2010). The trophic ecology of castes in harvester ant colonies. *Functional Ecology*, 24(1), 122-130.
- Taber, S. W. (1998). *The world of the harvester ants*. A&M University Press.
- Tevis Jr, L. (1958). Interrelations between the harvester ant *Veromessor pergandei* (Mayr) and some desert ephemerals. *Ecology*, 39(4), 695-704.
- Valiente, L. (1991). Patrones de precipitación en el valle semiárido de Tehuacán, Puebla México (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Wang, L. y D'Odorico, P. (2008). Decomposition and Mineralization. En J. L. Capinera (Ed.). *Encyclopedia of Entomology* (2a ed., pp. 1769-1771). Springer.
- Wandrag, E. M., Copeland, H. R. y Duncan, R. P. (2020). Ant preference for seeds without awns increases removal of exotic relative to native grass seeds. *Ecological Entomology*, 1-4.
- Whitford, W. G. (1978). Foraging in Seed-Harvester Ants *Pogonomyrmex* spp. *Ecology*, 59(1), 185-189.
- Whitford, W. G. (2002). *Ecology of desert systems*. Elsevier Science.
- Whitford, W. G. y Jackson, E. (2007). Seed harvester ants (*Pogonomyrmex rugosus*) as “pulse” predators. *Journal of Arid Environments*, 70(3), 549-552.

935
 936 Whitford, W. G., Johnson, P. y Ramirez, J. (1976). Comparative ecology of the harvester ants
 937 *Pogonomyrmex barbatus* (F. Smith) and *Pogonomyrmex rugosus* (Emery). *Insectes*
 938 *Sociaux*, 23(2), 117-131.
 939
 940 Whitford, W. G. y Steinberger, Y. (2009). Harvester ants (Hymenoptera: Formicidae) discriminate
 941 among artificial seeds with different protein contents. *Sociobiology*, 53(2), 549.
 942
 943 Wiernasz, D. C. y Cole, B. J. (2018). Offspring size and reproductive allocation in harvester ants.
 944 *The American Naturalist*, 191(1), 120-134.
 945
 946 Zavala-Hurtado, J. (1982). Estudios ecológicos en el valle semiárido de Zapotitlán, Puebla. I.
 947 Clasificación numérica de la vegetación basada en atributos binarios de presencia o
 948 ausencia de las especies. *Biotica*, (7), 99-120
 949
 950

951 ANEXO 1

952 *Código R*

```
953 #Primero llamamos las paqueterías con las que vamos a trabajar los análisis estadísticos.
954 library(lme4)#Nos permite ajustar modelos de efectos mixtos lineales y generalizados.
955 library(sjPlot)#Nos permite la visualización de resultados de diversos análisis entre ellos modelos
956 #de efectos mixtos.
957
958 setwd("C:/Users/Esbeydi/Documents/MEGA/TESIS/ESTADÍSTICA/Base de datos")
959 dir()
960
961 _____ELECCIÓN ENTRE SEMILLAS Y CARROÑA_____
962
963 Remoción total de O.decumbens y A. mexicana
964
965 #Datos de la remoción total (suma de los 5 días).
966 remo.nido <- read.table("remo.nido.csv", header=T, sep=",")
967 attach(remo.nido)
968 head(remo.nido)
969 shapiro.test(tota.n)#Datos sin distribución normal.
970
971 #ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA POST HOC
972 #Lineal mixto generalizado con erro de distribución poisson
973 #Ya que la variable respuesta consiste en conteos.
974 prueba<-glmer(tota.n~tipo.n*esta.n+(1|nido.n), family=poisson)
975 tab_model(prueba, show.aic=TRUE, show.loglik=TRUE) #Visualiza AIC y valores de R2
976
977 #Cuadro de resumen del modelo (se hace para cada factor individual).
978 mo.ti<-glmer(tota.n~tipo.n+(1|nido.n), family=poisson)
979 tab_model(mo.ti)#Tipo de recurso
980 mo.es<-glmer(tota.n~esta.n+(1|nido.n), family=poisson)
981 tab_model(mo.es)#Temporada
982
983 #Para obtener las diferencias entre los grupos en este caso recurso (semillas y carroña)*
984 #temporada (seca y lluvia). Llamamos la paquetería “emmeans” que me permite ejecutar la
985 prueba HSD Tukey
986 library(emmeans)
987 dif<-emmeans(prueb4, "tipo.n","esta.n")#Se visualiza la diferencia entre semillas y carroña por
988 #temporadas
989 pairs(dif) #Visualiza las diferencias entre los grupos por pares
990 dif<-emmeans(prueb4, "esta.n","tipo.n")#Visualiza la diferencia entre las temporadas para cada
991 #recurso
```

```

992 pairs(dif1) #Visualiza las diferencias entre los grupos por pares
993
994 #PROMEDIOS y ERRORES ESTÁNDAR
995 #Temporadas.
996 tapply(tota.n, list(esta.n), mean)
997 tapply(tota.n, list(esta.n), sd)
998 29.91067/sqrt(30)#Seca
999 33.71089/sqrt(30)#Lluvia
1000
1001 #Recursos.
1002 tapply(tota.n, list(tipo.n), mean)
1003 tapply(tota.n, list(tipo.n), sd)
1004 32.07479/sqrt(30)#Semillas
1005 34.55524/sqrt(30)#Carroña
1006
1007 #GRÁFICA
1008 #Llamamos las paqueterías que necesitamos para la construcción de las gráficas.
1009 library(rafalib)
1010
1011 remo.nido <- read.table("remo.nido.csv", header=T, sep=",")
1012 attach(remo.nido)
1013 head(remo.nido)
1014
1015 boxplot(tota.n~tipo.n*esta.n, xlab="Remoción por especie y estación", ylab="Frecuencia de
1016 remocion", xaxt="n", col=c("#AE8057", "#F192CE"))
1017 axis(1, at=1:4, lab=c("A.mexicana (seca)", "O.decumbens (seca)", "A.mexicana
1018 (lluvia)", "O.decumbens (lluvia)"), font=3)
1019 points(jitter(rep(1, length(tota.n[tipo.n == "ata" & esta.n == 't2'])), factor=3), tota.n [tipo.n ==
1020 "ata" & esta.n == 't2'])
1021 points(jitter(rep(2, length(tota.n[tipo.n == "opu" & esta.n == 't2'])), factor=3), tota.n [tipo.n ==
1022 "opu" & esta.n == 't2'])
1023 points(jitter(rep(3, length(tota.n[tipo.n == "ata" & esta.n == 't1'])), factor=3), tota.n [tipo.n ==
1024 "ata" & esta.n == 't1'])
1025 points(jitter(rep(4, length(tota.n[tipo.n == "opu" & esta.n == 't1'])), factor=3), tota.n [tipo.n ==
1026 "opu" & esta.n == 't1'])
1027 -----
1028 Remoción a través de los 5 días de experimento
1029
1030 setwd("C:/Users/Esbeydi/Documents/MEGA/TESIS/ESTADÍSTICA/Base de datos")
1031 #Datos de remoción de ambos recursos durante los 5 días de experimento.
1032 remo.dia <-read.table('remo.dia.csv', header=T, sep=",")
1033 attach(remo.dia)
1034 head(remo.dia)

```

```

1035 shapiro.test(tota.d)#Datos sin distribución normal.
1036
1037 #ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA POST HOC
1038 #Lineal mixto generalizado con error de distribución poisson
1039 #Ya que la variable respuesta consiste en conteos.
1040 prueba1<-glmer(tota.d~dias.d*esta.d+(1|nido.d), family=poisson)
1041 tab_model(prueba1, show.aic=TRUE, show.loglik=TRUE) #Visualiza AIC y valores de R2
1042
1043 #Cuadro de resumen del modelo (se hace para cada factor individual).
1044 mo.dias<-glmer(tota.d~dias.d+(1|nido.d), family=poisson)
1045 tab_model(mo.dias)#Días
1046 mo.esta<-glmer(tota.d~esta.d+(1|nido.d), family=poisson)
1047 tab_model(mo.esta)#Temporada
1048
1049 #Para obtener las diferencias entre los grupos en este caso remoción total* días (1 al 5) *
1050 #temporada (seca y lluvia). Ejecuté la prueba HSD Tukey
1051 dif1<-emmeans(prueba1, "dias.d","esta.d")
1052 pairs(dif1) #Visualiza las diferencias entre los grupos por pares
1053
1054 #GRÁFICA
1055 remo.dia <-read.table('remo.dia.csv', header=T, sep=",")
1056 attach(remo.dia)
1057 head(remo.dia)
1058
1059 rem.seca <-remo.dia[remo.dia$esta.d == "seca",]
1060 head(rem.seca)
1061 rem.lluvi <-remo.dia[remo.dia$esta.d == "lluvi",]
1062 head(rem.lluvi)
1063
1064 mypar(1,2)
1065 boxplot(rem.seca$tota.d ~ rem.seca$dias.d, xlab="Días", ylab="Frecuencia de remoción",
1066 main="Seca", ylim=c(0,40),xaxt="n")
1067 axis(1, at=1:5,lab=c("día1","día2","día3","día4","día5"))
1068 boxplot(rem.lluvi$tota.d~ rem.lluvi$dias.d, xlab="Días", ylab="Frecuencia de remoción",
1069 main="Lluvia",ylim=c(0,40),xaxt="n", col=c("#847D82"))
1070 axis(1, at=1:5,lab=c("día1","día2","día3","día4","día5"))
1071 _____REMOCIÓN DE FRAGMENTOS DE A.mexicana_____
1072
1073 setwd("C:/Users/Esbeydi/Documents/MEGA/TESIS/ESTADÍSTICA/Base de datos")
1074 #Datos de frecuencia de remoción de fragmentos de A. mexicana por cada nido y por cada uno de
1075 #los 5 días.
1076 restos.dia<-read.csv("restos.dia.csv", header=T, sep=",")
1077 attach(restos.dia)

```

```

1078 head(restos.dia)
1079 shapiro.test(fre1.3)#Datos sin distribución normal.
1080
1081 #ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA POST HOC
1082 #Lineal mixto generalizado con error de distribución poisson
1083 #Ya que la variable respuesta consiste en frecuencias.
1084
1085 #Analizamos si es necesario tomar en cuenta la variable temporada.
1086 #Realizamos un modelo lineal generalizado.
1087 mod1<-glm(fre1.3~est1.3, quasipoisson)
1088 summary(mod1) #Sin diferencia por temporada.
1089 boxplot(fre1.3~est1.3, notch=T)#Sin diferencia por temporada.
1090
1091 #A pesar de que la variable temporada no tuvo efecto. Al comparar el modelo lineal mixto
1092 generalizado
1093 #con y sin la variable "temporada" a través de un anova, el modelo con la variable resulta
1094 ajustarse
1095 #mejor a los datos obtenido.
1096 mod5<-glmer(fre1.3~par1.3+(1|nid1.3), family=poisson)
1097 mod6<-glmer(fre1.3~par1.3+est1.3+(1|nid1.3), family=poisson)
1098 anova(mod5, mod6, test="Chisq")
1099 tab_model(mod6, show.aic=TRUE, show.loglik=TRUE) #Visualiza AIC y valores de R2
1100
1101 #Cuadro de resumen del modelo (se hace para cada factor individual).
1102 #Aquí se hace evidente que hay diferencia entre temporadas por eso era necesario la variable
1103 #dentro del análisis estadístico.
1104 mo.par<-glmer(fre1.3~par1.3+(1|nid1.3), family=poisson)
1105 tab_model(mo.par)#Tipo de fragmento
1106 mo.estac<-glmer(fre1.3~est1.3+(1|nid1.3), family=poisson)
1107 tab_model(mo.estac)#Temporada
1108
1109 #Para obtener las diferencias entre los grupos en este caso fracción o combinación removida (a, c,
1110 #c + t, hc, hsp, t, t + a) * temporada (seca y lluvia). Ejecuté la prueba HSD Tukey
1111 dif2<-emmeans(mod6, "par1.3","est1.3")
1112 pairs(dif2) #Visualiza las diferencias entre los grupos por pares
1113
1114 #GRÁFICA
1115 restos <- read.csv("restos.dia.csv", header=T, sep = ",")
1116 attach(restos)
1117 head(restos)
1118
1119 fra.seca <-restos[restos$est1.3 == "seca",]
1120 head(fra.seca)

```

```

1121 fra.lluvi <-restos[restos$est1.3 == "lluvi",]
1122 head(fra.lluvi)
1123
1124 mypar(1,2)
1125 boxplot(fra.seca$fre1.3 ~ fra.seca$par1.3, xlab="Fragmentos de A. mexicana", ylab="Frecuencia
1126 de remoción", main="Seca",xaxt="n")
1127 axis(1, at=1:7,lab=c("a","c","ct","hc","hsp","t","ta"))
1128 boxplot(fra.lluvi$fre1.3 ~ fra.lluvi$par1.3, , main="Lluvia",xaxt="n", col=c("#847D82"),
1129 ylim=c(0,100))
1130 axis(1, at=1:7,lab=c("a","c","ct","hc","hsp","t","ta"))
1131 _____BIOMASA REMOVIDA DE FRAGMENTOS DE A. mexicana_____
1132
1133 #En la misma base de datos de frecuencia se encuentra la biomasa removida que es el resultado
1134 #de la multiplicación de frecuencia por el peso promedio de cada parte o combinación.
1135 head(restos)
1136 shapiro.test(bio1.3)#Datos sin distribución normal.
1137
1138 #Al no ser datos normales tendríamos que usar un modelo lineal mixto generalizado con error de
1139 #distribución gamma debido a que la variable de respuesta consiste en una variable continua
1140 #sin embargo, en este tipo de distribución no considera el cuadro de resumen del modelo.
1141
1142 #Entonces se considera transformar los datos con una distribución normal.
1143 #Se eliminan de la base original los datos máximos.
1144 restos.dia2 <- read.csv("restos.dia2.csv", header=T, sep=",")
1145 attach(restos.dia2)
1146 names(restos.dia2)
1147 hist(bio1.31)
1148 shapiro.test(bio1.31)
1149 box.cox(bio1.31)
1150 bio.cox <-la(bio1.31,0.01)
1151
1152 #Sin embargo no se puede tener una distribución normal entonces se va a asumir que los datos
1153 #tienen distribución normal para obtener el cuadro de resumen del modelo.
1154 #Analizamos si es necesario tomar en cuenta la variable temporada.
1155 #Realizamos un modelo lineal generalizado.
1156 mod1.2<-glm(bio1.3~est1.3)
1157 summary(mod1.2) #Sin diferencia por temporada
1158 boxplot(bio1.3~est1.3, notch=T)
1159
1160 #ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA POST HOC
1161 #Lineal mixto generalizado

```

```

1162 #A pesar de que la variable temporada no tuvo efecto. Al comparar modelos lineales mixtos
1163 #generalizados con y sin la variable temporada, a través de un anova el modelo con la variable
1164 #resulta ajustarse méjor a los datos obtenido.
1165 mod7.3 <- glmer(bio1.3 ~ par1.3 + est1.3 + (1|nid1.3))
1166 mod7.4 <- glmer(bio1.3 ~ par1.3 + (1|nid1.3))
1167 anova(mod7.3, mod7.4, test="Chisq")
1168 tab_model(mod7.3, show.aic=TRUE, show.loglik=TRUE) #Visualiza AIC y valores de R2
1169
1170 #Cuadro de resumen del modelo (se hace para cada factor individual).
1171 #Aquí se confirma que la temporada no tiene diferencia significativa.
1172 mod.pa <- glmer(bio1.3 ~ par1.3 + (1|nid1.3))
1173 tab_model(mod.pa)#Tipo de fragmento
1174 mod.es <- glmer(bio1.3 ~ est1.3 + (1|nid1.3))
1175 tab_model(mod.es)#Temporada
1176
1177 #Para obtener las diferencias entre los grupos en este caso fracción o combinación removida (a, c,
1178 #c + t, hc, hsp, t, t + a) * temporada (seca y lluvia). Ejecuté la prueba HSD Tukey
1179 dif3<-emmeans(mod7.3, "par1.3","est1.3")
1180 pairs(dif3) #Visualiza las diferencias entre los grupos por pares
1181
1182 #GRÁFICA
1183 head(restos)
1184
1185 mypar(1,2)
1186 boxplot(fra.seca$bio1.3 ~ fra.seca$par1.3, xlab="Fragmentos de A. mexicana", ylab="Biomasa
1187 removida (g)", main="Seca",xaxt="n", ylim=c(0.0,0.8))
1188 axis(1, at=1:7,lab=c("a","c","ct","hc","hsp","t","ta"))
1189 boxplot(fra.lluvi$bio1.3 ~ fra.lluvi$par1.3, , main="Lluvia",xaxt="n", col=c("#847D82"),
1190 ylim=c(0.0,0.8))
1191 axis(1, at=1:7,lab=c("a","c","ct","hc","hsp","t","ta"))
1192 _____FRAGMENTOS DE A.mexicana EN BASUREROS DE LAS COLONIAS_____
1193
1194 setwd("C:/Users/Esbeydi/Documents/MEGA/TESIS/ESTADÍSTICA/Base de datos")
1195 #Datos de fragmentos de A. mexicana en basureros y discos de las colonias.
1196 basura<-read.csv("basura3.csv", header=T, sep=",")
1197 attach(basura)
1198 head(basura)
1199 shapiro.test(frec4)#Datos sin distribución normal.
1200
1201 #ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA POST HOC
1202 #Lineal mixto generalizado con error de distribución poisson
1203 #La variable de respuesta consiste en conteos.
1204 mode8 <- glmer(frec4 ~ tipo4 * luga4 * esta4 +(1|nido4), family=poisson)

```

```

1205 tab_model(mode8, show.aic=TRUE, show.loglik=TRUE) #Visualiza AIC y valores de R2
1206
1207 #Cuadro de resumen del modelo (se hace para cada factor individual).
1208 mo.lugar<- glmer(frec4 ~ lugar4 +(1|nido4), family=poisson)
1209 tab_model(mo.lugar)#Lugar
1210 mo.tipo<- glmer(frec4 ~ tipo4 +(1|nido4), family=poisson)
1211 tab_model(mo.tipo)#Tipo de fragmento
1212 mo.esta<- glmer(frec4 ~ esta4 +(1|nido4), family=poisson)
1213 tab_model(mo.esta)#Temporada
1214
1215 #Para obtener las diferencias entre los grupos en este caso fracción removida (ac, ai, cc, ci, tc y ti)
1216 * lugar de colecta (basurero y disco). Ejecuté la prueba HSD Tukey
1217 dif4<-emmeans(mod8, "tipo4", "luga4")
1218 pairs(dif4) #Visualiza las diferencias entre los grupos por pares
1219
1220
1221 #PROMEDIOS y ERRORES ESTÁNDAR
1222 #Sitios de colecta
1223 tapply(frec4, list(luga4), mean)
1224 tapply(frec4, list(luga4), sd)
1225 18.573232/sqrt(180)#Basureros
1226 1.182271 /sqrt(180)#Discos
1227
1228 #GRÁFICA
1229 setwd ("C:/Users/Esbeydi/Documents/MEGA/TESIS/ESTADÍSTICA/Base de datos")
1230 basura <-read.table("basura3.csv", header=T, sep=",")
1231 attach(basura)
1232 head(basura)
1233
1234 ba.seca<-basura[esta4 == "seca",]
1235 ba.lluvi<-basura[esta4 == "lluvi",]
1236
1237 mypar(1,2)
1238 boxplot(ba.seca$frec4~ ba.seca$luga4 + ba.seca$tipo4, col=c("#CFCFCD", "#847D82"))
1239 boxplot(ba.lluvi$frec4~ba.lluvi$luga4 + ba.lluvi$tipo4, col=c("#CFCFCD", "#847D82"),
1240 ylim=c(0,80))
1241
1242 _____ABUNDANCIA DE SEMILLAS Y CARROÑA EN CAMPO_____
1243
1244 setwd("C:/Users/Esbeydi/Documents/MEGA/TESIS/ESTADÍSTICA/Base de datos")
1245 #Datos de la frecuencia de semillas y artrópodos en cada colonia.
1246 #Para el caso de carroña solo se tomó en cuenta las cabezas de A. mexicana.

```

```

1247 #Se eliminaron datos atípicos ya que la visualización de las gráficas era confusa aun así no
1248 #cambio los resultados.
1249 abun<-read.table("abun2.csv", header=T, sep=",")
1250 attach(abun)
1251 head(abun)
1252 shapiro.test(frec5)#Datos sin distribución normal.
1253
1254 #ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA POST HOC
1255 #Lineal mixto generalizado con error de distribución poisson
1256 #La variable de respuesta consiste en conteos.
1257 ana<-glmer(frec5~tipo5*recu5*esta5+(1|nido5), family=poisson)
1258 tab_model(ana, show.aic=TRUE, show.loglik=TRUE) #Visualiza AIC y valores de R2
1259
1260 #Cuadro de resumen del modelo (se hace para cada factor individual).
1261 tip<-glmer(frec5~tipo5+(1|nido5), family=poisson)
1262 tab_model(tip)#Sitio de colecta
1263 rec<-glmer(frec5~recu5+(1|nido5), family=poisson)
1264 tab_model(rec)#Tipo de recurso
1265 est<-glmer(frec5~esta5+(1|nido5), family=poisson)
1266 tab_model(est)#Temporadas
1267
1268 #Para obtener las diferencias entre los grupos en este caso recurso (semilla y carroña) * sitio de
1269 colecta (con actividad y sin actividad) * temporada (seca y lluvia). Ejecuté la prueba HSD Tukey
1270 Dif5<-emmeans(ana, "tipo5", "esta5")
1271 pairs(dif5)
1272 dif5.1<-emmeans(ana, "recu5", "esta5")
1273 pairs(dif5.1)
1274 dif5.2<-emmeans(ana, "recu5", "tipo5")
1275 pairs(dif5.2)
1276
1277 #PROMEDIOS, ERRORES ESTÁNDAR Y PORCENTAJES
1278 #Recurso
1279 tapply(frec5, list(esta5), mean)
1280 tapply(frec5, list(esta5), sd)
1281
1282 2.546423/sqrt(60)#Seca
1283 1.243628/sqrt(60)#Lluvia
1284
1285 0.75+1.15
1286 .75/1.9#40% Lluvias
1287 1.15/1.9#60% Secas
1288
1289 #Recurso * Temporada

```

```

1290  tapply(frec5, list(esta5, recu5), mean)
1291  tapply(frec5, list(esta5, recu5), sd)
1292
1293  2.9226481/sqrt(30)#Seca semilla
1294  0.9523112/sqrt(30)#Lluvia semilla
1295  2.116671/sqrt(30)#Seca carroña
1296  1.494819/sqrt(30)#Lluvia carroña
1297
1298  0.80+0.70
1299  0.80/1.5 #53% carroña lluvia
1300  0.70/1.5 #47% semilla lluvia
1301  0.86+1.44
1302  0.86/2.3 #37% carroña seca
1303  1.44/2.3 #63% semilla seca
1304
1305  #Recurso * Sitio de colecta
1306  tapply(frec5, list(tipo5, recu5), mean)
1307  tapply(frec5, list(tipo5, recu5), sd)
1308
1309  0.9416472/sqrt(30)#Carroña con act
1310  2.3705569/sqrt(30)#Carroña sin act
1311  2.487671/sqrt(30)#Semilla con act
1312  1.737730/sqrt(30)#Semilla sin act
1313
1314  #GRÁFICA
1315  abund<- read.csv("abun2.csv", header=T, sep=",")
1316  attach(abund)
1317  head(abund)
1318
1319  abuseca2<-abund[abund$esta5 == "seca",]
1320  abulluvi2<-abund[abund$esta5 == "lluvi",]
1321
1322  mypar(1,2)
1323  boxplot(abuseca2$frec5~abuseca2$recu5*abuseca2$tipo5, col=c("#FFFFFF", "#CFCFCD"))
1324  boxplot(abulluvi2$frec5~abulluvi2$recu5*abulluvi2$tipo5,ylim=c(0,12), col=c("#FFFFFF",
1325  "#CFCFCD"))

```