

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA POLINIZADORA DEL
ABEJORRO *Bombus ephippiatus* RESPECTO A OTROS MÉTODOS DE
POLINIZACIÓN EN CULTIVOS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*)
BAJO CASA-SOMBRA EN EL SUR DE CHIAPAS

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

ERIKA ESQUIVEL NÚÑEZ

Asesores:

Dr. Esteban Pineda Diez de Bonilla
Dr. Rémy Vandame
Dra. Laura Guadalupe Espinosa Montaña

México, D. F., octubre 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Con gratitud infinita a quienes me otorgaron la vida, en especial, a la mujer que estuvo de pie a mi lado y en todo momento, que confió en mí y me brindó la oportunidad de alcanzar mis metas; guiándome siempre con el ejemplo de la honradez y responsabilidad...

...a mis padres Refugio Esquivel Araujo y Rita Núñez Torres.

Con mucho cariño y dedicación especial a mi familia. A mis abuelos Demetrio Núñez Téllez y Esperanza Torres González, por enseñarme la parte hermosa de la vida, llenarme de dicha y hacer de mi madre una mujer ejemplar y maravilloso ser humano. A mis hermanos Willivaldo y Brenda, por acompañarme en este difícil camino y hacer de los momentos difíciles, palabras de aliento con miras a un mejor mañana. A mi tía Lourdes Núñez Torres y primos Guadalupe, Ana Karen y Eduardo Núñez Núñez por los sabios consejos, su amor, motivación, confianza y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A las fuentes de financiamiento SEP-CONACYT y DIVERSOS por el aporte económico para la realización de este trabajo, así como de REDISA por el apoyo becario.

Al Dr. Rémy Vandame por la oportunidad de trabajar a su lado, su confianza, apoyo y seguridad de respaldo en la elaboración de mi tesis.

Al Dr. Esteban Pineda Diez de Bonilla por su tiempo, responsabilidad, esfuerzo, compromiso y dedicación, por compartirme sus conocimientos y motivarme a seguir adelante, por ser mi asesor y amigo.

A la Dra. Laura Guadalupe Espinosa Montaña por sus clases, su compromiso, apoyo y cariño, por ser además de maestra, asesora y amiga; una de las razones por las que estudio abejas.

A la MVZ Adriana Correa Benítez por el apoyo con la parte administrativa, haciendo que fuera posible mi llegada a ECOSUR.

A mis amigos y compañeros de ECOSUR, quienes desde el primer día de mi llegada me hicieron sentir en casa y alegraron mis días.

A los productores de tomate de la región sureste de Chiapas, Orlando Velasco y en especial a las familias de Francisco Espinosa y Leonel Hernández, por todo lo aprendido durante el camino, su cariño, apoyo y confianza para la elaboración de mi tesis.

A las familias Velasco Ramírez y Jiménez Ramírez, por permitirme el privilegio de hacerme parte de ellos, convivir, aprender juntos y enseñarme, que las familias no necesariamente están conformadas por lazos de sangre.

A los amigos que estuvieron conmigo a lo largo del camino, con los que compartí más que alegrías, tristezas, triunfos y derrotas.

CONTENIDO

1.-	RESUMEN	1
2.-	INTRODUCCIÓN	3
2.1.-	Objetivo	8
2.1.1.-	Hipótesis	8
3.-	MATERIAL Y MÉTODOS	9
3.1.-	Descripción del área de estudio	9
3.2.-	CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE <i>Bombus ephippiatus</i>	10
3.2.1.-	Morfología	10
3.3.-	CICLO DE VIDA	10
3.3.1.-	Inicio del nido	10
3.3.2.-	Iniciación de la colonia	11
3.3.3.-	Producción de sexuales	12
3.3.4.-	Apareamiento	13
3.3.5.-	Diapausa	15
3.4.-	EL CULTIVO DE TOMATE	15
3.4.1.-	Generalidades	15
3.4.2.-	Importancia económica	16
3.4.3.-	Producción de tomate en Casas-sombra	17
4.-	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	19
4.1.-	Selección y marcaje de plantas y racimos	21
4.1.1.-	Tratamientos de polinización	22
4.1.2.-	Preparación e introducción de las colonias de abejorros	24
4.1.3.-	Disposición final de las colonias de abejorros	25
4.1.4.-	Variables evaluadas	26
4.1.5.-	Análisis de datos	27
5.-	RESULTADOS	28
6.-	DISCUSIÓN	31
7.-	REFERENCIAS	38
8.-	CUADROS	44
9.-	FIGURAS	45

1. RESUMEN

ESQUIVEL NÚÑEZ ERIKA. Comparación de la eficiencia polinizadora del abejorro *Bombus ephippiatus* respecto a otros métodos de polinización en cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo casa-sombra en el sur de Chiapas (bajo la dirección de: Dr. Esteban Pineda Diez de Bonilla, Dr. Rémy Vandame y Dra. Laura Guadalupe Espinosa Montaña).

El uso de abejorros nativos como polinizadores de cultivos en invernadero y casas-sombra es una alternativa que se ha identificado como necesaria para evitar daños potenciales a la biodiversidad. El creciente mercado de abejorros introducidos para su uso en cultivos de tomate en México, ha generado la necesidad de evaluar la eficiencia de especies de poblaciones locales de diferentes especies de abejorros. En este trabajo se realizó un experimento para comparar la eficiencia polinizadora de abejorros nativos (*Bombus ephippiatus*) con respecto a abejorros importados (*B. impatiens*), métodos mecánicos (vibración manual) y químicos (fitohormona), en la cantidad (porcentaje de amarre, peso) y calidad (número de semillas y concentración de azúcares) del tomate cultivado en casa-sombra en el sur de Chiapas. Se encontró que el abejorro nativo fue más eficiente en el porcentaje de amarre y la cantidad de semillas producidas que cualquiera de los demás métodos de polinización, mientras que los métodos mecánicos y químicos fueron más eficientes para el peso y concentración de azúcares. Se considera que las variables de amarre y número de semillas pueden estar más relacionadas con la eficiencia y eficacia polinizadora, mientras que las variables del peso y concentración de azúcares podrían estar más relacionadas con el vigor de la planta. Si los resultados de este trabajo no están sobre

estimados, el uso del polinizador nativo puede ser responsable de hasta un 19% de la producción de tomate por unidad de área cultivada. Estos resultados indican que la especie nativa puede ser un buen sustituto de los polinizadores importados para incrementar la producción de tomate en Chiapas.

2. INTRODUCCIÓN

La polinización es el proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores, donde germina y fecunda los óvulos de la flor, haciendo posible la producción de semillas y frutos. La polinización es un servicio del ecosistema que permite mantener la biodiversidad y por ende la producción de alimentos; algunos estudios han estimado el aporte de los polinizadores a la producción agrícola, donde el 35% de la producción global de alimentos depende de la polinización por animales,¹ principalmente por abejas (*Apis mellifera* y *Bombus sp*) silvestres o manejados, además de otros polinizadores silvestres.^{1,2} Estos polinizadores le confieren un valor agregado a la calidad final del producto agrícola,³ además del incremento de la producción obtenida.⁴ El uso de abejorros del género *Bombus*, para aumentar el rendimiento de cultivos, comenzó en el siglo XIX en países de Europa y América del Norte e incrementó sustancialmente desde 1987 con la introducción comercial de abejorros importados, convirtiéndose en un fenómeno de escala global.⁵ No obstante, la introducción de algunas especies consideradas benéficas para la agricultura, puede derivar en efectos secundarios no deseados, tales como la invasión de especies no nativas en nuevos ecosistemas. La invasión de polinizadores importados puede afectar a los polinizadores y plantas de los sitios invadidos por medio de las interacciones que estas especies introducidas establecen con la biota local, presentándose problemas por competencia de recursos alimenticios, sitios para anidar y riesgos sanitarios.^{6,7}

Actualmente sólo cinco de las 239 especies conocidas de abejorros del género *Bombus* han sido criadas comercialmente (*B. terrestris*, *B. impatiens*, *B. ignitus*, *B. occidentalis* y *B. lucorum*).^{7,8} Si bien, el comercio internacional se limita a las dos primeras especies, *B.*

impatiens es la más comercializada para cultivos en invernadero y casas-sombra en México.^{4,9} Entre los cultivos de importancia económica que son polinizados por abejorros, el más importante es el tomate (*Lycopersicon esculentum*), pues su cultivo bajo cubierta involucra al 95% de las ventas de abejorros a nivel mundial.⁴ Se ha documentado recientemente la habilidad colonizadora de las especies de abejorros comerciales.^{10,11} Se tienen evidencias de la frecuencia y efectos de las liberaciones accidentales o escapes de individuos reproductivos,¹² que los convierte en un factor determinante para el establecimiento de especies introducidas.¹³ Los sistemas de producción intensivo bajo cubierta que utilizan varios cientos de colonias de abejorros por año,¹⁴ pueden sufrir el escape de unas pocas hembras o machos por colonia y constituir un alto número de propágulos^{**}.¹⁵

Existen evidencias de que la introducción de abejorros importados puede ocasionar la entrada de patógenos como protozoos y ácaros, algunos de ellos con serios efectos sobre las colonias afectadas no solo para sus congéneres nativos, sino también para especies emparentadas como puede ser la abeja melífera, con consecuencias negativas tanto para la agricultura como para la apicultura.¹⁶ Diversos patógenos como bacterias y virus son transmisibles dentro del género *Bombus*,¹⁷ de hecho un número creciente de estudios muestran que las colonias importadas de abejorros tienen mayor cantidad y variedad de patógenos que las colonias silvestres.¹⁶ Un aspecto importante en relación a las consecuencias sanitarias es que si bien, la incidencia de infecciones en los abejorros receptores puede ser menor que en los transmisores, la virulencia suele ser mayor con lo cual se espera una mayor mortalidad de especies nativas.¹⁸

** Propágulos: número de individuos reproductivos involucrados en un evento de liberación o escape

Asimismo, hay evidencias de que los abejorros importados muestran una mayor preferencia hacia especies de plantas no nativas que, por alguna razón, fueron introducidas a alguna localidad pero que con el tiempo alcanzaron una amplia distribución,¹⁶ lo que genera una interacción mutualista entre las especies interactuantes (planta y polinizador) dando lugar a una retroalimentación positiva que favorece su proceso de invasión.¹⁹ Otro problema importante a considerar sobre la introducción de abejorros exóticos es la hibridación, ya que existen evidencias de cruzamientos entre especies de *Bombus* nativos y no nativos pertenecientes al mismo subgénero.¹⁶ En condiciones experimentales *B. impatiens* se ha apareado con la especie mexicana *B. ephippiatus* (ambos del subgénero *Pyrobombus*)²⁰ mismos que se encuentran estrechamente relacionados filogenéticamente.²¹ Si estos cruzamientos resultaran exitosos en la naturaleza, podrían diluir la identidad genética de las poblaciones nativas.

Esta problemática ha generado mayor interés en considerar alternativas para favorecer el uso de las abejas nativas, disponibles por región, para la polinización de cultivos,^{1,22} dirigiendo los esfuerzos de investigación en la evaluación de diferentes polinizadores para mostrar su importancia, eficacia y eficiencia,^{23,24} así como el papel de la vegetación nativa en regular su diversidad y abundancia.²⁴⁻²⁷ Para esto, se propone un manejo agroecosistémico que contemple el hábitat natural y que provea las condiciones para la permanencia de los polinizadores silvestres con el fin de contribuir a aumentar el servicio de polinización.^{28,29} Idealmente, cada país debiera criar sus propias especies a partir de poblaciones locales.⁵

De los polinizadores existentes en la naturaleza los abejorros son de los más eficientes y eficaces debido a su biología y comportamiento.³⁰ Los abejorros del género *Bombus* se

agrupan dentro de la familia Apidae y la tribu Bombini del orden Hymenoptera. Este género se divide en 35 subgéneros y cuenta con 250 especies; existiendo en México y Centroamérica siete subgéneros (*Fervidobombus*, *Pyrobombus*, *Crotchiibombus*, *Cullumanobombus*, *Brachycephalibombus*, *Dasybombus* y *Robustobombus*) que albergan a 19 especies.³¹

Los abejorros son polinizadores eficientes de diferentes plantas cultivadas gracias a sus características anatómicas, conductuales y de manejo que garantizan una buena producción de frutos, además de la factibilidad de ser reproducidos en cautiverio fácilmente.³² De las especies nativas de México, *Bombus ephippiatus*, se considera la especie más adecuada para ser usada como polinizador de cultivos cerrados.³³ Pertenece al subgénero *Pyrobombus* y es una especie nativa de amplia distribución en México, reportándose en casi todo el territorio nacional, desde Chihuahua hasta Chiapas.^{31,33} Habita las regiones de montaña con un clima templado a frío; su distribución altitudinal se reporta desde 800 hasta 3400 msnm. Se caracteriza por presentar un comportamiento tranquilo y dócil lo que facilita su manipulación. Pertenece al grupo de insectos eusociales, ya que presenta conductas de cooperación en el cuidado de las crías y división del trabajo entre las castas de las hembras. No realiza diapausa en invierno, por lo que generalmente se encuentran reinas en casi todos los meses del año.³³ La alimentación de las crías es del tipo “almacenadores de polen”, por lo que alimentan a sus larvas directamente regurgitando una mezcla de polen y néctar a través de una abertura temporal en la envoltura de cera.^{34,35} Se ha sugerido que *B. ephippiatus* es una especie nativa con potencial para ser usada como polinizador en cultivos bajo cubierta.^{36,37} Aunque se ha probado su eficacia en términos de la calidad de los frutos, respecto a los métodos mecánicos de polinización en cultivos de tomate en invernadero en

México,³³ es necesario evaluar, en términos de la producción agrícola el aporte de las especies polinizadoras nativas respecto a métodos mecánicos.^{38,39} Lo mismo debe realizarse para especies no nativas de abejorros, evaluando para ambos su eficiencia y eficacia con respecto al porcentaje de amarre, cantidad, peso promedio y número de semillas para los frutos producidos; además, no existen trabajos publicados en los cuales se evalúe la eficiencia y eficacia polinizadora de abejorros nativos como *B. ephippiatus*, por lo cual con este trabajo se pretende cubrir este vacío de información.

2.1. HIPÓTESIS

El porcentaje de amarre, número de semillas, peso y porcentaje de azúcares promedio de frutos de plantas de tomate polinizadas por *B. ephippiatus* será mayor o igual que las polinizadas por métodos convencionales (especie introducida, polinización por vibración manual, fitohormonas y testigo o polinización por viento) bajo un sistema de producción de tomate en casa-sombra.

2.1.1. OBJETIVO

Determinar la eficiencia polinizadora del abejorro *Bombus ephippiatus* respecto a los métodos convencionales (especie introducida, polinización por vibración manual, fitohormonas y testigo o polinización por viento) bajo un sistema de producción de tomate en casa-sombra.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el municipio de la Trinitaria, el cual se encuentra localizado en la parte oriental del estado de Chiapas ($16^{\circ} 07'N$ y $92^{\circ} 03'W$), a una altitud de 1540 msnm. Se asienta en los límites del Altiplano Central y de la Depresión Central, siendo montañosa aproximadamente la mitad de su terreno. Colinda al norte con el municipio de La Independencia, al sur con la Frontera Comalapa y Chicomuselo; al oriente con la República de Guatemala, al poniente con los municipios de Tzimol y Comitán y en la región este con el municipio de Ocosingo. Cuenta con una extensión territorial de $1,840.70 \text{ km}^2$, que representa el 14.39% de la superficie de la región fronteriza y el 2.43% de la superficie estatal (Figura 1).⁴⁰

Posee una vegetación que en su mayoría corresponde a bosque de pino encino, con climas predominantes semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo; ambos con presencia de lluvias en verano. Registra una temperatura media anual de $20^{\circ}C$ con vientos que soplan de oriente a poniente y recibe una precipitación de 993.2 milímetros al año. La red hidrológica se compone principalmente por los ríos Grijalva, Lagartero, San Gregorio y Blanco, existiendo en su área arroyos de caudal intermitente.

La población total del municipio es de 72,772 habitantes. Siendo su principal actividad económica la agricultura, correspondiente al 80.22% de la población económicamente activa.⁴⁰

Según cifras de SAGARPA^{††41} para el 2010 la superficie total de hectáreas destinadas a siembra para el cultivo de tomate tipo saladette, variedad de crecimiento determinado en el municipio de la Trinitaria, fue de 480 ha, equivalentes a una producción de 15,940 toneladas, un rendimiento de 33.21 Ton/ha y un valor de producción de \$128,812.00 Ton/ha.

3.2. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE *B. ephippiatus*

3.2.1. Morfología

Morfológicamente, varios autores sugieren que es una especie variada en coloración. En México esta especie se identifica por presentar un patrón de coloración en el que predomina el amarillo, presentando en los costados del tercer y quinto tergo, como característica distintiva, algunos pelos de color rojizo o anaranjado para cada una de las castas (reina, obrera y macho) (Figura 2). Aunque en general los abejorros son robustos, el tamaño corporal varía en cada casta, oscilando entre 1.2 y 1.5 cm para los machos, entre 1.0 y 1.5 cm para las obreras y de entre 1.6 y 2.0 cm para las reinas.^{31,33}

3.3. CICLO DE VIDA

3.3.1. Inicio del nido

El ciclo biológico de las colonias de abejorros consiste en varias fases, siendo la primera la de anidamiento. La formación del nido inicia cuando una reina fecundada procede a buscar

^{††}SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

un buen sitio para anidar realizando vuelos de reconocimiento al ras de suelo. Generalmente anidan en madrigueras de roedores abandonadas o en bancos de tierra. El sitio adecuado para anidar debe proporcionar a la reina, materiales que pudiese necesitar para la construcción del nido, como hojarasca, hierba, pelos de mamíferos etc., así como protección adecuada ante las inclemencias del clima y posibles ataques por depredadores.³⁵

Una vez elegido el sitio de anidación, la reina comienza a caminar durante un tiempo alrededor de la entrada antes de realizar los vuelos de reconocimiento, siendo el primero el más corto de ellos, e incrementando el radio hasta memorizar el lugar antes de iniciar los vuelos de forrajeo. Esta rutina es repetida un par de veces hasta que la reina es capaz de reconocer perfectamente el sitio de anidación. A partir de este momento la reina pasa la mayor parte del tiempo construyendo el nido. Finalizada la fase de adecuación del sitio de anidación, la reina realiza viajes de forrajeo constantes para la iniciación de la colonia.⁴²

3.3.2. Iniciación de la colonia

La reina recolecta néctar y polen, los cuales regurgita y mezcla formando una especie de pasta que deposita sobre el piso de la cavidad de anidación; por encima de esta pasta forma una celda comunal, sobre la que inicia la ovoposición. Simultáneamente cerca de la puesta, construye otra celda con el mismo material, en la cual almacena néctar con la finalidad de alimentarse sin tener que alejarse demasiado de su postura, que generalmente oscila entre 8 y 10 huevos, mismos que cubre con cera e incuba constantemente gracias a la capacidad que posee de regular su temperatura; manteniéndolos entre 30 y 32°C. A partir de este momento, la reina abandona el nido ocasionalmente y sólo durante los vuelos de forrajeo

para allegarse de reservas alimentarias.⁴³ El tiempo promedio que tardan en eclosionar las larvas de los huevos es de alrededor de 6 días a partir del momento de la ovoposición. Una vez eclosionadas, las larvas permanecen en la celda comunal, misma que la reina va alargando constantemente en proporción al crecimiento de ellas, además de proveerles polen. Cuando las larvas tienen aproximadamente 20 días de edad, construyen su propio capullo a partir de seda secretada por sus glándulas salivales; separándose así una de otra y entrando a la etapa de pupa. Mientras esta etapa transcurre, la reina reutiliza el material de la celda comunal para la elaboración de celdas nuevas que darán cabida a la segunda generación de obreras y algunas serán empleadas para reserva de alimento. Las primeras formas adultas surgen en un tiempo aproximado de dos semanas, siendo nuevamente reutilizado el material de los capullos. Emergida la primera generación de obreras, se encargan de la búsqueda y recolección de alimento, así como de la construcción de nuevas celdas y el cuidado y alimentación de las siguientes generaciones de obreras; siendo entonces, la ovoposición la única actividad de la reina.^{34,44}

3.3.3. Producción de sexados

Una vez que la colonia ha alcanzado una densidad de obreras de entre 300 y 500 individuos, se da la producción de individuos reproductivos (machos y reinas), que puede ser de varias decenas dependiendo de la especie.⁴ Esta etapa es denominada por algunos autores como “punto de cambio”. Llegándose a encontrar en campo colonias silvestres con una población estimada de individuos reproductivos de 200 reinas y 20 machos,

respectivamente.[§] Por un lado, la reina madre inicia la ovoposición de huevos fertilizados para dar origen a nuevas reinas. Durante la etapa del “punto de cambio” algunas obreras logran desarrollar sus ovarios y llegan a ovopositar, dando origen a machos. Algunos autores sostienen que las obreras pueden mostrar un comportamiento agresivo dentro del cual pueden ingerir las larvas de la postura de la reina e inclusive atentar contra ésta; lo que han denominado como “fase de competencia”.^{34,45,46}

Aunque existen algunas hipótesis que tratan de explicar la ocurrencia del “punto de cambio” ninguna ha sido comprobada, solo se ha observado que la producción de machos se da en una etapa avanzada del ciclo de vida de la colonia, a la par de un notable decremento en el número de obreras.⁴⁷

La diferencia entre las castas de las hembras (reina y obrera) está determinada más que por la calidad, por la cantidad del alimento ingerido por la larva, ya que no se ha encontrado algún tipo de sustancia como la llamada jalea real (altamente nutritiva) o alguna diferencia entre el alimento consumido por una futura reina u obrera.^{35,48,49}

3.3.4. Apareamiento

Los vuelos de apareamiento se realizan cuando la reina tiene cinco días de vida aproximadamente, que es el momento en el que está lista para aparearse y ser fecundada, mientras que el macho abandona el nido a edades tempranas (entre dos y cuatro días de vida), llegando a pasar varias semanas a la espera de una reina joven con la cual aparearse; durante este tiempo el macho forrajea para su propio consumo y al caer la noche busca un

[§] Observación personal de Vandame R, Pineda E y Esquivel E

lugar para descansar, que generalmente suele ser alguna flor; la cual puede ser usada simultáneamente por toda una congregación de machos a diferencia de las reinas, que normalmente antes de caer la noche regresan al nido.³⁵

El apareamiento se realiza en un área establecida por los machos, para lo cual empiezan a volar en rutas específicas registrando de esta forma su territorio, el cual sobrevuelan constantemente y aseguran por medio de marcas (feromonas) sobre flores, hojas, rocas o en algún lugar dentro de su territorio.^{45,50} Las reinas jóvenes deben llegar a dicha zona identificando el área de interés por medio de las fragancias de marcaje y al entrar al territorio del macho inicia el proceso de apareamiento.³⁵

Una vez que macho y hembra se encuentran en el aire (vuelo de acoplamiento) caen al suelo donde se desarrolla el apareamiento, el macho monta sobre la reina sujetándola con sus patas e inicia la cópula, dicho proceso lleva desde unos cuantos minutos hasta una hora o más, dependiendo de la especie. Durante el acto, el aguijón de la reina es protruido por lo que tiene que manipularlo para evitar lastimar al macho, quedando unidos únicamente por sus genitales.⁵⁰ Posterior a la copula, el macho elabora una especie de tapón mucoso que cubre los genitales de la hembra para evitar que otro macho la fecunde.⁴⁵

La mayoría de las especies de *Bombus* son monándricas, cada reina copula sólo con un macho y esta acción se lleva a cabo solo una vez en su ciclo de vida; ya que el esperma almacenado en la espermateca es suficiente para la ovoposición durante su ciclo de vida. Por su parte los machos sí suelen aparearse con más de una reina.⁵¹

3.3.5. Diapausa

Al parecer la diapausa está influenciada por la temperatura. En zonas templadas las colonias de *Bombus* son estacionales; mientras que en especies tropicales como *B. ephippiatus* este patrón de desarrollo colonial parece no cumplirse. Las colonias de esta especie pueden durar al menos dos años, encontrándose activas a lo largo de todo el año debido a que la estacionalidad no es tan marcada como en las regiones templadas.³³

3.4. EL CULTIVO DE TOMATE

3.4.1. Generalidades

Entre los cultivos polinizados por abejorros, el de importancia económica es el tomate (*Lycopersicon esculentum*), pues su cultivo en invernadero involucra al 95% de las ventas de abejorros a nivel mundial.⁴ Los abejorros son considerados como los polinizadores ideales para este cultivo en particular, ya que presentan la característica de polinización por zumbido, lo que facilita el desprendimiento del polen de las anteras.

El tomate (conocido también como tomate rojo o jitomate), es una de las especies hortícolas de gran importancia tanto económica como social en nuestro país, debido principalmente al valor que tiene la producción y a la demanda de mano de obra que genera. En el territorio nacional, es un cultivo con arraigo tradicional cuyo consumo es cotidiano en la dieta del mexicano.

Es una especie dicotiledónea, que pertenece a la familia de las Solanáceas, planta que se cultiva y desarrolla generalmente como anual, pero que en condiciones climáticas

favorables puede desarrollarse y cultivarse por varios años.⁵² Actualmente se cultivan dos variedades de tomate con dos tipos de hábito de crecimiento: determinada e indeterminada, utilizadas principalmente para la agroindustria y el consumo fresco respectivamente. El primer grupo de variedades posee un período limitado de floración, seguido por un desarrollo frutal sincrónico; el segundo, se caracteriza por producir inflorescencia de forma continuada durante el desarrollo de la planta.⁵³

La importancia agrícola del cultivo es la gran adaptabilidad que posee para obtener elevadas producciones, ya que permite que se produzca tanto en climas tropicales como templados en diversas regiones del país. Entre los factores que afectan las principales etapas fenológicas del cultivo (fecha a floración, fertilidad, número y tamaño de frutos y rendimiento) se encuentra el tipo o sistema de polinización, la temperatura, la captación de energía solar (fotosíntesis), la transpiración y el buen suministro de agua.⁵⁴

3.4.2. Importancia económica

El tomate es la hortaliza que genera la mayor cantidad de divisas al país con un promedio de 1,200 millones de USD anuales. En los últimos tres años, la exportación anual de tomate registró un crecimiento promedio cercano al 10%, cultivándose en 2009, 53,000 hectáreas en las que se obtuvo una producción de 2.3 millones de toneladas; de las cuales el 50% se destinó al mercado de exportación.⁴¹

En México se dedican a la producción de esta hortaliza alrededor de 50 mil productores. Los estados con mayor aportación son Sinaloa, Baja California Norte, Michoacán, San Luis Potosí y Baja California Sur, juntos totalizan el 68% de la producción nacional. El cultivo,

cosecha y comercialización del tomate genera 72 mil empleos directos y alrededor de 10.7 millones de empleos indirectos. El valor de la producción se calcula ligeramente superior a los 12 mil 700 millones de pesos. El principal destino para el tomate rojo es el mercado de los Estados Unidos, a donde las ventas se incrementaron de 987 millones de USD en 2006, a aproximadamente mil millones de USD en 2009.⁵⁵ El segundo mercado destino para la hortaliza mexicana fue Canadá, en donde las ventas aumentaron de 108 a 119 millones de USD esos mismos años.⁴¹

Como efecto del Programa de Adquisición de Activos Productivos que tiene en marcha la SAGARPA, la producción de tomate rojo está cambiando del cultivo a cielo abierto, a la modalidad de producción en invernadero. Este cambio de técnica en el sistema de producción repercute en el rendimiento nacional, ya que mientras a cielo abierto se tiene una cosecha de 30 a 40 toneladas por ha, en la modalidad de malla-sombra se observa un incremento entre 140 y 160 toneladas y en invernadero la producción se eleva hasta 300 ó 350 ton por ha.⁴¹

3.4.3. Producción de tomate en Casas-sombra

La producción de tomate se realiza bajo cubierta, utilizando para ello diferentes tipos de estructuras, entre las que destacan tres, que son: malla-sombra, casa-sombra e invernadero. El propósito de las estructuras es obtener el mayor rendimiento posible del cultivo, ya que brindan a los cultivos protección (principalmente contra plagas) y sombra (cuya densidad puede ser variable), lo que ayuda a mejorar las condiciones climatológicas dentro del cultivo. El método tradicional de producción de tomate en el sureste mexicano, consiste en trasplantar las plántulas de 15 días de edad desde el almacigo donde son compradas a una

empresa. Después del trasplante, el mantenimiento del cultivo es invariable para cada casa-sombra, ya que consta de aplicar riego (por goteo) cada tercer día, acompañado de nutrientes, sales y minerales para el desarrollo óptimo de la planta. La aplicación de la fitohormona se realiza por primera vez cuando la planta ha alcanzado la edad de un mes, a partir de este momento esta acción se realiza cada 15 días hasta alcanzar y terminar el ciclo de producción de 4.5 meses aproximadamente (entendido desde el momento en que germina la semilla y hasta el último día de cosecha) (Figura 3). Durante el periodo de producción se aplican fungicidas, herbicidas, bactericidas, fertilizantes y otros productos, dependiendo de los requerimientos; asimismo, se establecen mecanismos para el control de plagas o enfermedades que se presenten en el cultivo, las cuales están relacionadas con la temporada del año.

Los **tres tipos de cubiertas** difieren en las características de los materiales, dimensiones y tipo de manejo, con las siguientes características: Una **mallasombra**, es una estructura rústica para producción de diferentes cultivos, elaborada de malla mosquitera y palos de madera que sirven como postes y son la base o soporte sobre los que se coloca la malla; generalmente son rectangulares y de dimensiones variables, dependiendo en su totalidad de la cantidad, distribución y variedad de plantas a sembrar. Debido a su rusticidad son poco recomendables para la introducción de colonias de abejorros como método de polinización, por contar con aberturas u orificios por los cuales podrían escapar los abejorros ya sea durante su etapa de adaptación o durante el pecoreo.

Una **casa-sombra** es una estructura compuesta con postes de aluminio y malla antiáfidos, generalmente utilizada para la producción intensiva de productos agrícolas; tiene

dimensiones específicas, contando individualmente con una superficie de 1260 m² y una capacidad de cultivo de entre 3000 y 4000 plantas de tomate de la variedad determinada.

Un **invernadero**, es una estructura con más tecnología, elaborada con postes de aluminio, malla tipo mosquitera y plástico que permiten la ventilación y control de la temperatura al interior. El plástico utilizado en estos invernaderos posee un revestimiento de polietileno que difiere la transmisión de la luz, principalmente de los rayos ultravioleta (UV) e interfiere en la orientación de los abejorros, causando una baja actividad de pecoreo.⁵⁶

Por las características de las estructuras anteriormente mencionadas, se decidió trabajar en casas-sombra, tanto por la disponibilidad de los propietarios de los cultivos como de las características de tamaño y materiales adecuadas para el desarrollo del experimento.

4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El experimento de polinización se realizó durante la temporada de lluvias (julio a noviembre) en las localidades de El Progreso (Lat 16.1153O, Lon -91.8583N)^{††} y San Antonio Tzalani (Lat 16.128094O, Long -91.93314N) que coincide con la segunda temporada de producción de tomate en la región. Ambos sitios son similares; pertenecen al Municipio de La Trinitaria, Chiapas y se ubican a una altura de 1520 msnm, existiendo una distancia aproximada de 13 km entre ellos (Figura 1).⁴⁰

Para el desarrollo del trabajo, se utilizaron tres casas-sombra comerciales con cuatro de cinco tratamientos cada una de acuerdo con el siguiente diseño experimental:

^{††} Datos obtenidos de GPS

Casa-sombra 1, (ubicada en la localidad del Progreso) se desarrollaron los siguientes métodos de polinización: por *B. ephippiatus*, especie de abejorro nativo (Be), además de los métodos convencionales por aplicación de fitohormona (H), vibración manual (M) y por viento o testigo (T).

Casa-sombra 2, (ubicada en la localidad de San Antonio Tzalani) se desarrollaron los siguientes métodos de polinización: por *B. ephippiatus*, especie de abejorro nativo (Be), además de los métodos convencionales por aplicación de fitohormona (H), vibración manual (M) y por viento o testigo (T).

Casa-sombra 3, (ubicada en la localidad del Progreso) se desarrollaron los siguientes métodos de polinización: por *B. impatiens* (Bi), especie de abejorro introducido, criado comercialmente Koppert®^{§§}. Además de los métodos convencionales por aplicación de fitohormona (H), vibración manual (M) y por viento o testigo (T).

De esta manera las casas-sombra 1 y 2 se consideraron como una repetición o pseudo-réplica, tratando de mantener, dentro de lo posible, las mismas condiciones en el interior de ambas casas-sombra, sobre todo de manejo del cultivo, para de esta manera, contar con una base de datos capaz de absorber la mayor variabilidad posible (siendo más confiable) para tratamientos futuros enfocados a valorar la eficacia polinizadora de *B. ephippiatus* respecto de los métodos convencionales de polinización; mientras que la casa-sombra 3, básicamente, permitió comparar la eficiencia polinizadora entre *B. ephippiatus* y *B. impatiens*.

^{§§} Koppert: empresa especialista en sistemas de polinización natural para cultivos de alto valor. Tel. + 31 (0) 105140444. Fax. + 31 (0) 10 5115203

4.1. Selección y marcaje de plantas y racimos

En cada una de las casas-sombra se establecieron surcos, de tal manera que del total de surcos presentes en cada una de ellas, se descartaron los surcos de los extremos. Para cada tratamiento se utilizaron 40 plantas seleccionadas aleatoriamente, las cuales se ubicaron dentro de los surcos, de tal forma que por cada surco se tuvieran plantas correspondientes a cada tratamiento (Figura 4). Las plantas seleccionadas se marcaron de dos maneras: la primera de ellas consistió en colocar en la base del tallo una etiqueta para identificar la planta y el tratamiento (Figura 5) y la segunda forma consistió en utilizar estacas de madera insertadas sobre la tierra, a pocos centímetros al frente de la planta, etiquetadas en colores diferentes (un color para cada tratamiento) con la misma información, lo que permitió una identificación rápida a larga distancia para reducir el daño en las plantas por manejo y evitar perturbar la actividad de los polinizadores durante el experimento (Figura 6).

Los colores utilizados fueron anaranjado para la polinización realizada por abejorros, verde para la polinización realizada por vibración manual, rosa para la aplicación de fitohormona y azul para el tratamiento testigo. Para cada planta marcada se seleccionaron tres racimos con flores días antes del periodo de antesis (periodo de maduración de los estambres y liberación del polen) (Figura 7). Los racimos identificados se etiquetaron en la base del tallo del racimo con los siguientes datos: número de surco, número de planta, número de racimo y tratamiento.

4.1.1. Tratamientos de polinización

Debido a que durante el tiempo del experimento se aplica periódicamente la fitohormona por aspersión en el área foliar de la planta como una medida de manejo de rutina, tuvieron que adaptarse medidas de control como el embolsado de todas las plantas seleccionadas para los tratamientos distintos al de aplicación de fitohormona. El embolsado consistió en cubrir en su totalidad cada planta con bolsas plásticas (bolsa para basura) al menos una hora antes de la aplicación y fueron retiradas media hora después de la aplicación (Figura 8). Con esto se redujo el riesgo de contaminar los distintos tratamientos y obtener un efecto aditivo en los resultados, es decir, que la planta al mismo tiempo se sometiera a dos estímulos diferentes que provocaran un incremento en el porcentaje de amarre y por consecuencia una producción mayor de frutos.

Polinización por abejorros

Para el total de plantas a utilizar se seleccionaron tres racimos (entre el 1° y 5°) producidos por planta, permaneciendo expuestos a la actividad de polinización de los abejorros. Para todos los racimos se corroboró que las flores fueran visitadas por los abejorros, observando las marcas de daño mediante el método utilizado por Morandin (Figura 9).⁵⁶ Este método, basado en el daño causado por las mandíbulas y extremidades de los abejorros sobre los conos de las anteras florales al momento de pecorear (percibido visualmente como hematomas), es considerado como la acción que desencadena la liberación del polen.

Polinización por aplicación de fitohormona

Para este tipo de polinización los racimos seleccionados fueron cubiertos con malla de nylon con una abertura de menos de 1 mm de diámetro, recibiendo la aplicación foliar de fitohormona recomendada en la etiqueta del producto cada 15 días, dentro de un horario de 8:00 a 10:00 am. Posterior al periodo de antesis e inicio del desarrollo de los frutos, la malla de protección contra la polinización por abejorros fue retirada, dando libertad al desarrollo de los frutos hasta alcanzar su maduración.

Para este tratamiento los productos aplicados fueron: **Bionare®^{***}** y **Germi Phos®^{†††}**. La aplicación de estos productos se realizó bajo recomendación de un Ingeniero Agrónomo y entre productores, respaldada en su experiencia. A diferencia de los otros tratamientos, la exposición a la fitohormona sobrepasó al periodo de amarre para los frutos de los racimos seleccionados, aplicándose hasta el amarre de frutos de los últimos racimos producidos por la planta.

Polinización por vibración manual

Este tratamiento consiste en el desprendimiento del polen de las anteras, por medio de vibración directa sobre la planta, fue realizado de la siguiente manera: cada uno de los racimos seleccionados para este tratamiento, fueron cubiertos con malla de nylon antes de la antesis. Durante la antesis, la polinización se realizó sacudiendo manualmente la planta completa, diariamente durante 10 segundos con movimientos rítmicos laterales.

^{***} Bioestimulante líquido de alta concentración y solubilidad el cual está diseñado para evitar la caída de flores

^{†††} Nutriente foliar rico en L-aminoácidos

Polinización por viento o testigo

En condiciones naturales, la polinización llevada a cabo por el viento favorece el desprendimiento del polen de las anteras al estigma de la flor (de la misma u otra) por el efecto mecánico de arrastre que provoca la fuerza del viento, lo cual igualmente favorece la autofertilización. Para efectos de este trabajo se evaluó la polinización ejercida por el viento evitando cualquier tipo de manipulación deliberada durante la antesis sobre los racimos previamente seleccionados; para ello, estos racimos se cubrieron con una media de nylon abarcando desde el comienzo de la floración hasta que iniciara el desarrollo del fruto, de tal manera que no interfiriera con su crecimiento.

4.1.2. Preparación e introducción de las colonias de abejorros

Para instalar las colonias de abejorros nativos e introducidos, dentro de cada casa-sombra, fue necesario adaptar una caja de madera (huacal) al centro del cultivo, sobre uno de los postes que sirven como soporte y forman parte de la estructura de la casa-sombra. La colonia de abejorros nativos (*B. ephippiatus*), conteniendo aproximadamente 150 individuos (una reina y obreras), se colocó a una altura de 1.50 m del suelo y bajo una lámina plástica para evitar la entrada de agua a la colonia. Durante este tiempo se mantuvo la alimentación energética para los abejorros nativos, debido a que las flores del tomate no producen néctar (Figura 10).⁵⁷ No así para los abejorros comerciales ya que cuentan con un alimentador de jarabe al interior de la colmena. Durante la aplicación de insecticidas químicos para combatir plagas del cultivo, se evitó el contacto de estos productos tóxicos para los abejorros retirando las colonias de ambas especies de las casas-sombra, siguiendo el control de riesgos recomendado por la empresa Koppert®; para ello se cerraron las

colmenas al oscurecer o antes del amanecer, asegurando de esta manera que cerca o el 100% de abejorros se encontraran al interior de su respectiva colonia. Cada colonia de abejorros comerciales contó con un promedio de 60 individuos, entre nacidos y por emerger (una reina y obreras). Por otro lado, cada colmena comercial está diseñada con un sistema de regulación de entrada y salida de abejorros (accesos específicos, Figuras 11a, 11b y 11c) y cuenta con un envase plástico de solución azucarada.

Las colonias de abejorros nativos (*Bombus ephippiatus*), fueron extraídas del campo en la localidad de Mukulwitz en el Municipio de Oxchuc, Chiapas y fueron colocadas en cajas de madera, alimentadas artificialmente con un endulzante líquido comercial (“La Madrileña®”) altamente concentrado de fructosa y sacarosa,⁵⁸ permaneciendo en el laboratorio poco más de una semana antes de ser introducidas al interior de la casa-sombra.

4.1.3. Disposición final de las colonias de abejorros

Dentro del desarrollo del experimento, las colonias de *B. ephippiatus* alcanzaron el “punto de cambio” (explicado con anterioridad), por lo que al quedar únicamente individuos reproductivos (reinas y machos) estos fueron llevados al laboratorio en las instalaciones de ECOSUR^{†††} unidad San Cristóbal, Chiapas; para posteriores estudios y manipulación enfocada básicamente al desarrollo de colonias en cautiverio.

Respecto a la colonia de *B. impatiens* los ejemplares fueron sacrificados por refrigeración para inducir la diapausa, finalmente algunos individuos fueron conservados en congelación y otros en alcohol al 96% para realizar un análisis de patógenos, lo que

^{†††} ECOSUR: El Colegio de la Frontera Sur

formará parte de futuras investigaciones. Desafortunadamente y aunado a la gran demanda de colonias introducidas de abejorros, no se cuenta con una legislación hacia las empresas, usuarios u organismos de gobierno (SAGARPA) sobre la disposición final de estas colonias; tampoco existe un organismo o dependencia que se encargue de verificar que este manejo se realice.⁵⁹ Lo anterior representa no solo un alto riesgo zoonosológico para las especies de abejas nativas, sino también para la diversidad de plantas nativas.^{6,7}

4.1.4. Variables evaluadas

Porcentaje de amarre: para evaluar la eficacia del polinizador con relación a la cantidad de frutos, se calculó la diferencia porcentual del número de frutos producidos entre el número de flores producidas en tres racimos de cada planta seleccionada por tratamiento.

Peso de los frutos: el peso en gramos de cada fruto se calculó utilizando una balanza de triple brazo (OHAUS®) con una precisión mínima de 1g.

Número de semillas: de cada fruto se extrajeron y contaron el número total de semillas, separándolas de la pulpa con un colador y extrayendo el jugo. Posteriormente, se secaron sobre una bolsa de papel para hacer el conteo total de semillas.

Concentración de azúcares: se determinó esta variable de azúcares a partir del jugo de cada tomate homogeneizado, se tomaron tres muestras consistentes en una gota de jugo; para esto se utilizó un refractómetro de mano (ATAGO®, modelo HSR500), el cual mide el rango de grados Brix en una escala de 0.0 ~ 90.0.

4.1.5. Análisis de datos

El análisis de variables se realizó mediante la prueba de ANOVA de un factor y la prueba de Tukey para la comparación de medias entre tratamientos. Con la prueba de ANOVA se determinó si existían diferencias significativas entre tratamientos para cada una de las variables estudiadas, mientras que con la prueba de Tukey HSD se determinaron los tratamientos, para cada una de las variables, entre los que existieron diferencias significativas y la magnitud entre éstas. Todos los análisis se realizaron con el programa JMP versión 7.0.⁶⁰ Las variables de porcentaje de amarre y concentración de azúcares fueron transformadas arcoseno. Las demás variables se analizaron con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se realizaron las transformaciones correspondientes para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.⁶¹

5. RESULTADOS

Considerando las tres casas-sombra en conjunto, se observó en términos generales que *B. ephippiatus* presentó valores altos en el porcentaje de amarre, número de semillas y concentración de azúcares (Figura 12). El porcentaje de amarre de *B. ephippiatus* (Be) ($68\% \pm 24$ D.E.) fue significativamente mayor que los demás métodos de polinización ($F_{4, 1171} = 12.91$, $P < 0.001$). Los tratamientos testigo (T) ($57\% \pm 29$ D.E.) y vibración manual (M) ($56\% \pm 25$ D.E.) fueron similares, mientras que ante el abejorro introducido *B. impatiens* (Bi) ($27\% \pm 31$ D.E.) y fitohormona (H) ($50\% \pm 26$ D.E.) no hubo diferencia significativa (Figura 12a). Por otro lado, el peso promedio de los frutos de tomate de los tratamientos (T) ($107.73\text{g} \pm 32.79$ D.E.) y (H) ($105.64\text{g} \pm 31.79$ D.E.) fueron significativamente mayores a los demás tratamientos ($89.32\text{g} \pm 29.56$ D.E.), ($32.28\text{g} \pm 20.52$ D.E) y ($92.44\text{g} \pm 37.71$ D.E.) (Be, Bi y M) respectivamente, ($F_{4, 1152} = 39.43$, $P < 0.001$) (Figura 12b). El número promedio de semillas fue significativamente mayor en (Be) (124.50 ± 37.56 D.E.) respecto a todos los tratamientos con excepción a (Bi) (100.17 ± 47.03 D.E.) ($F_{4, 1110} = 22.27$, $P < 0.001$), el promedio de semillas por fruto fue de 124 y 100 respectivamente (Figura 12c) Para la concentración de azúcares los tratamientos de ambos polinizadores (Be) ($7.27^{\circ}\text{Bx} \pm 1.33$ D.E.) y (Bi) ($7.30^{\circ}\text{Bx} \pm 2.30$ D.E.) fueron significativamente mayores que los otros tratamientos ($6.33^{\circ}\text{Bx} \pm 2.43$ D.E.), ($6.68^{\circ}\text{Bx} \pm 1.92$ D.E.) y ($6.55^{\circ}\text{Bx} \pm 1.99$ D.E) (T, H y M) respectivamente ($F_{4, 549} = 2.5$, $P < 0.05$, Figura 12d).

Al interior de la casa-sombra 1 (Figura 13) el porcentaje de amarre del polinizador (Be) ($75\% \pm 21$ D.E.) y (T) ($71\% \pm 32$ D.E) fueron significativamente mayores que (H) ($54\% \pm 26$ D.E.) y (M) ($58\% \pm 24$ D.E.) ($F_{3, 462} = 16.5$, $P < 0.001$, Figura 13a). Para el peso

promedio de frutos no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos de (Be) (94.05g \pm 29.61 D.E.), (T) (99.54g \pm 34.20 D.E.) y (H) (102.86g \pm 29.27 D.E.), solo el tratamiento de (M) (65.67g \pm 28.40 D.E.) fue significativamente menor respecto a los demás ($F_{3, 146} = 23.8$, $P < 0.001$, Figura 13b). Para el número promedio de semillas el tratamiento (Be) (128.72 \pm 38.24 D.E.) fue significativamente mayor que los demás tratamientos ($F_{3, 146} = 13.3$, $P < 0.001$, Figura 13c).

En la casa-sombra 2 (Figura 14), el porcentaje de amarre de los tratamientos (Be) (53% \pm 24 D.E.) y (M) (53% \pm 25 D.E.) fueron significativamente mayores que los tratamientos (T) (36% \pm 18 D.E.) y (H) (33% \pm 15 D.E.) ($F_{3, 330} = 20.9$, $P < 0.001$, Figura 14a). Para el peso promedio de frutos el tratamiento (Be) (79.87g \pm 27.33 D.E.) fue significativamente menor que el resto de tratamientos (116.17g \pm 36.19 D.E.), (120.21g \pm 34.99 D.E.) y (104.39g \pm 34.58 D.E.) (T, H y M) respectivamente ($F_{3, 317} = 18.6$, $P < 0.001$, Figura 14b). El número promedio de semillas del tratamiento (Be) (116.65 \pm 35.25 D.E.) fue significativamente mayor al resto de los tratamientos ($F_{3, 310} = 16.6$, $P < 0.001$, Figura 14c). No se encontraron diferencias entre tratamientos para la concentración de azúcares (Figura 14d).

Con respecto a la casa-sombra 3 (Figura 15), el porcentaje de amarre fue significativamente menor en (Bi) (27% \pm 31 D.E.) respecto a los demás tratamientos (57% \pm 23 D.E.; 58% \pm 28 D.E. y 56% \pm 28 D.E. para T, H y M) ($F_{3, 383} = 3.9$, $P < 0.01$, Figura 15a). Para el peso promedio de frutos el tratamiento (Bi) (32.28g \pm 20.53 D.E.) fue menor a todos los tratamientos (110.25g \pm 26.36 D.E.; 96.36g \pm 27.07 D.E. y 110.46g \pm 32.72 D.E. para T, H y M respectivamente) ($F_{3, 371} = 56.2$, $P < 0.001$, Figura 15b). En cuanto al número de semillas promedio por fruto, no se encontró diferencia significativa entre tratamientos

(Figura 15c); no obstante, (Bi) presentó una mayor concentración de azúcares ($7.30^{\circ}\text{Bx} \pm 2.30 \text{ D.E.}$) en comparación a los demás tratamientos ($6.17^{\circ}\text{Bx} \pm 2.59 \text{ D.E.}$; $6.52^{\circ}\text{Bx} \pm 1.83 \text{ D.E.}$; $6.36^{\circ}\text{Bx} \pm 2.18 \text{ D.E.}$; T, H y M, respectivamente ($F_{3,310} = 16.6$, $P < 0.001$, Figura 15d).

6. DISCUSIÓN

En este trabajo, en el que se evaluó la eficiencia del abejorro nativo de México *Bombus ephippiatus*, como agente polinizador de un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*), en casa-sombra en el sur de Chiapas, se verificó que el abejorro en cuestión, presentó ventajas en la eficiencia de polinización comparable con otros métodos, para algunas características evaluadas. Una característica en la cual el uso de este abejorro destacó, cuando se comparó su actividad polinizadora, considerando las dos casas-sombra en conjunto, fue principalmente en el porcentaje de amarre (Figura 12a), la cual es una característica que se relaciona directamente con la cantidad de frutos que se logran cosechar y por ende con la producción agrícola, que a su vez depende de la eficacia en la transferencia de polen llevada a cabo por un polinizador.¹ En cuanto al número de semillas y a la concentración de azúcares, que son características indicativas de la calidad de los frutos, y se relacionan con el efecto que los polinizadores tienen,³³ se encontró que *B. ephippiatus* presentó una eficiencia comparable con la de *B. impatiens* (Figuras 12c y 12d); superando ambos abejorros a los otros métodos de polinización probados, tales como el uso de fitohormona y vibración manual así como al testigo, particularmente para la concentración de azúcares (Figura 12d), mientras que para el número de semillas, el abejorro nativo superó a los sistemas químico y mecánicos (Figura 12c).

Estos resultados concuerdan parcialmente con los resultados de otros experimentos con abejorros.^{23,62} En trabajos previos, se ha encontrado que el aumento en el rendimiento del tomate se relaciona con el incremento del número de semillas por fruto, debido a un mayor número de los granos de polen que fertilizan los óvulos y en consecuencia puede influir en el aumento de peso del fruto,^{62,63} no así el peso y concentración de azúcares, variables que

pueden ser mayormente dependientes del vigor de la planta,⁶⁴ condición que responde con mayor frecuencia a la calidad del medio (calidad o cantidad de nutrientes disponible en suelo para la planta); de hecho, durante el experimento se observó en varias plantas, signos de deficiencia de nutrientes como potasio y nitrógeno, lo que genera un patrón de coloración amarillo en el margen de las hojas.⁶⁵ No obstante, en el presente trabajo no se realizó un análisis sanitario ni de nutrientes en las plantas, variables en las cuales podrían incorporarse algunos componentes o características para evaluarse en futuros trabajos.

Referente a la evaluación del comportamiento de *B. ephippiatus* como polinizador en casas-sombra independientes, los resultados muestran que el número de semillas obtenidas tras la polinización efectuada por este abejorro en la casa-sombra 1 y 2, fue mayor que los tratamientos testigo, fitohormona y manual (Figuras 13 y 14). Las otras características tales como el porcentaje de amarre, peso y concentración de azúcares no fueron consistentes, es decir, presentaron mayor variabilidad; sin embargo, podría considerarse que para el porcentaje de amarre y concentración de azúcares, el efecto de este polinizador fue comparable con aquellos tratamientos que mostraron un mejor resultado.

Referente al peso promedio de los frutos, no existe concordancia entre el resultado obtenido en la casa-sombra 1 en comparación con la casa-sombra 2, este resultado podría deberse a las diferencias ambientales generadas en las distintas unidades agrícolas (casas-sombra), situación que sugiere la necesidad de considerar varios invernaderos que permitan evaluar con los mismos tratamientos, a manera de evaluar la variación entre invernaderos en el diseño de experimentos de polinización, ello con el fin de controlar la variación debida a diferencias intrínsecas a la ubicación de los invernaderos o al manejo al interior de cada invernadero por los distintos propietarios y con esto tener una estimación más precisa

que pueda absorber las diferencias causadas por efectos particulares de manejo, además de las diferencias en la calidad de las plantas y el medio en el que se desarrollan en cada sistema agrícola.

Algunos aspectos que posiblemente influyeron en la diferencia en los resultados pudieron derivarse, por ejemplo, del tipo o años de uso del suelo, de tal forma que en la casa-sombra 2, la tierra fue más propensa a retener agua, además de que la diferencia en la inclinación del terreno, dentro de las casas-sombra, pudo afectar el desarrollo de las plantas debido a un diferente gradiente de humedad.⁶⁵ Una de las prácticas comunes en estos sistemas de cultivo de tomate, es el uso de la pendiente natural del terreno para facilitar el riego y esto genera un gradiente de menor humedad en la parte alta y mayor humedad en la parte baja de la casa-sombra, lo que podría afectar a las plantas de estudio, ello en términos de estrés hídrico lo cual puede afectar a las variables medidas. Esto sugiere considerar, a futuro, evaluar la variación ambiental dentro de la casa-sombra con un diseño estratificado para evaluar si la posición de las plantas en el invernadero incrementa la variación de la respuesta.

Por otro lado, se identificaron variaciones en las prácticas de manejo del cultivo por parte de los agricultores, sobre todo en cuanto a la frecuencia de aplicación de insumos agrícolas como fertilizantes, riego y aplicación de químicos, además de variación en la calidad y humedad del suelo, lo cual podría generar diferencias en la salud de las plantas, siendo que estas variables no pudieron controlarse debido a que no se pudo manipular el manejo técnico en las casas-sombra con los que se trabajó, las cuales tienen diferentes propietarios. Por ejemplo, la casa-sombra 3 se inundó parcialmente durante el transcurso del experimento, con lo que se perdieron plantas. La variación debida a estos aspectos

coincide con aquella identificada en otros experimentos en los que se han evaluado polinizadores nativos de diferentes regiones,^{23,66} mostrando una ventaja en la producción y calidad de tomates en sistema agrícola bajo diferentes condiciones ambientales.

En este experimento, no se pudo controlar el tamaño de las colonias en ambas especies de abejorros, debido a esto, la colonia de *B. ephippiatus* tuvo un mayor número de obreras respecto a la de *B. impatiens*; por lo que esto podría subestimar la eficacia de *B. impatiens* en los resultados obtenidos y por tanto representar una diferencia en las variables de respuesta, debido a una menor probabilidad de frecuencia de visitas florales y por tanto una menor probabilidad de polinizar el total de flores por racimo seleccionado. Por lo anterior se podría mencionar que algunas variables como el porcentaje de amarre, el número de semillas y el peso promedio de los frutos, aparentemente tuvieron mejor respuesta con *B. ephippiatus* que con *B. impatiens* (Figuras 12 a 15); sin embargo, este argumento tendría que ser comprobado con otro trabajo, empleando un diseño experimental más completo donde se controle, en mayor medida la variabilidad y que se acompañe de un análisis estadístico específico; además, tomando en cuenta la anterior consideración, puede apreciarse en las referidas Figuras que *B. impatiens* tuvo respuestas menores o iguales en la mayoría de las variables evaluadas, con excepción de la concentración de azúcares, la cual aparentemente también tuvo semejanza con la obtenida con *B. ephippiatus*, esto aun considerando un tamaño de muestra reducido ($n= 24$). Este pequeño tamaño de muestra se debió a que hubo un desfase en la introducción de abejorros comerciales, lo cual tuvo como consecuencia que se contara únicamente con un total de 84 plantas con flores disponibles en periodo de antesis, correspondientes a los últimos racimos producidos por la planta (decimosegundo a decimoquinto). Esta situación pudo contribuir de manera negativa en el

número efectivo de flores, esto es, a que el número de flores fuera menor por estar en la fase final de antesis, o porque se redujera el vigor de las plantas por efecto de la edad o por una diferencia en la intensidad de cuidados de las plantas (menor frecuencia de aplicación de fitohormona y fertilizantes). No obstante, para este caso, no debería de influir la cantidad de plantas sobre el número de flores por racimo, pero sí como se mencionó, la edad de la planta, lo que se refleja en un bajo porcentaje de amarre. Finalmente se considera que sería importante evaluar el tamaño y la forma de las semillas en términos de la calidad del fruto, ya que el tamaño de la semilla está relacionado con su viabilidad y esto es dependiente de la eficiencia y eficacia del polinizador.

Otra consideración a tomar en el diseño de experimentos de polinización, es la época en la que se realicen. Para esta región la segunda temporada de cultivo, que corresponde a la época de lluvias (agosto- noviembre), tiene dificultades respecto a la primer temporada de siembra (febrero-mayo), cuando la humedad aumenta y la temperatura ambiental es menor, facilitando la presencia de enfermedades en las plantas y limitando el movimiento de polen entre las flores.⁶⁷ Para este cultivo se sabe que las temperaturas cercanas o menores a los 10°C influyen directamente sobre el desarrollo de frutos de tomate, atribuida principalmente a la baja viabilidad del polen producido en estas condiciones.⁶⁷ Además, estas temperaturas afectan simultáneamente la iniciación y el desarrollo de las flores y los frutos así como del rendimiento, ya que influyen directamente sobre la asimilación de nutrientes en la planta.⁶⁸ Por ende, podrían hacerse experimentos en otra época cuando las condiciones para el cultivo de esta planta sean óptimas.

Una dificultad asociada en la comparación de eficiencia y eficacia polinizadora entre especies de polinizadores, radica en las diferencias intrínsecas de las especies, por ejemplo,

diferencias en el tamaño corporal de los polinizadores.⁹ Algunos estudios demuestran que estas diferencias se ven reflejadas en el número de flores visitadas por unidad de tiempo, de visitas por flor y de la cantidad de polen que pueden transportar durante estas visitas, obteniendo resultados favorables para las especies del género *Bombus*.^{3,9} Así también, la conducta de los individuos o la abundancia de individuos por colonia (requerimientos), influye en la eficiencia de los polinizadores,⁶⁹ aspecto que ha sido poco explorado. En este estudio se encontró que el tamaño de la colonia de *B. impatiens* fue de aproximadamente 60 individuos, por lo tanto de menor tamaño que la colonia de *B. ephippiatus*, de aproximadamente 150 individuos, sin embargo, el tamaño del invernadero para *B. impatiens* fue de mayor tamaño, lo que compensa la diferencia de las colonias en la densidad dentro de los invernaderos que pretende proponer el uso de polinizadores nativos como una alternativa al uso de polinizadores introducidos, más que evaluar las diferencias en el tamaño de las poblaciones.

Otro hecho que debe tomarse en cuenta en experimentos de polinización en los que se requiere la manipulación de plantas, como por ejemplo el embolsado, consiste necesariamente en controlar o estimar el efecto bolsa, que se refiere a contaminación cruzada entre tratamientos por favorecer la dispersión de polen entre unidades experimentales, pudiendo incrementar el porcentaje de amarre y por consecuencia el número de frutos obtenidos, esto se ha evaluado en pocos trabajos.²³

Extrapolando los resultados obtenidos en este trabajo y con base en el rendimiento obtenido por ciclo de producción, se encontró que la polinización por abejorros *B. ephippiatus* produce en promedio 13.6% más tomates en comparación con el resto de los tratamientos, esto representa una diferencia de producción promedio de 24.5 frutos por m².

Ahora bien, considerando que el peso promedio de los tomates obtenido en el presente trabajo, fue de 98.78 g cada uno y multiplicando este valor por la cantidad de frutos obtenidos, se obtiene un valor total aproximado de 2.4 kg de tomate por m², lo que representa un incremento de 120 cajas de 25 kg cada una por ciclo de producción (**Cuadro 1**). Por lo tanto, esto podría representar no sólo un ingreso extra para los agricultores por la producción que se genera con el servicio de los polinizadores nativos, sino también un posible ahorro de recursos al reducir los costos de producción por sustituir la aplicación de fitohormona.

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye que con *B. ephippiatus* se incrementa la cantidad y calidad de tomates producidos comercialmente en sistemas cerrados tipo casa-sombra en el sur de Chiapas, lo cual redunda no sólo en un beneficio económico a los productores sino también en aspectos sanitarios, prescindiendo de la introducción de abejorros del extranjero, lo cual conlleva al riesgo de adquirir patógenos exóticos que afecten principalmente a los abejorros nativos. Además, indirectamente se contribuye a mantener la biodiversidad de la apifauna y a su vez de la flora que depende de ella, lo cual beneficia a la cadena alimenticia, esto es, a la vida de muchas especies, incluyendo la del ser humano en el planeta.

7. REFERENCIAS

1. KLEIN AM, VAISSIERE BE, CANE JH, STEFFANDEWENTER I, CUNNINGHAM SA, KREMEN C, TSCHARNTKE T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Royal Society* 2007;274:303-313.
2. GOULSON D. *Bumblebees behavior and ecology*. 1st ed. New York: Oxford University Press, 2003.
3. ROLDÁN-SERRANO A, GUERRA-SANZ JM. Quality fruit improvement in sweet pepper culture by bumblebee pollination. *Scientia Horticulturae* 2006;110:160-166.
4. VELTHUIS HHW, VAN-DOORN A. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie* 2006;37:421–451.
5. VELTHUIS HHW. The historical background of the domestication of the bumblebee, *Bombus terrestris*, and its introduction in agriculture. In: Kevan P, Imperatriz-Fonseca VL, editors. *Pollinating Bees- the conservation link between agriculture and nature*. Ministry of Environment. Brazil, 2002:177-184.
6. GOULSON D. Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annu Rev Ecol Syst* 2003;34:1-26.
7. WINTER K, ADAMS L, THORP R, INOUE D, DAY L, ASCHER J, *et al*. Importation of nonnative Bumble bees into North America: Potential consequences of using *Bombus terrestris* and other non-native bumblebees for Greenhouse Crop Pollination in Canada, Mexico, and the United States. White Paper of the North American Pollinator Protection Campaign. 33 pp. 2006.
8. WILLIAMS PH. An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini) *Bulletin of The Natural History Museum. Entomology* 1998;67:79-152.
9. PALMA G, QUEZADA-EUÁN JJG, REYES-OREGEL V, MELÉNDEZ-RAMÍREZ V, MOO-VALLE H. Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). *J Appl Entomol* 2008;132:79–85.
10. MOLLER H. Lessons for invasion theory from social insects. *Biol Conserv* 1996;78:125-142.

11. COLLA SR, OTTERSTATTER MC, GEGEAR RJ Y THOMSON JD. Plight of the bumblebees: pathogen spillover from commercial to wild populations. *Biol Conserv* 2006;129:461-467.
12. VON-HOLLE B, SIMBERLOFF D. Ecological resistance to biological invasion overwhelmed by propagule pressure. *Ecology* 2005;86:3212-3218.
13. MEMMOT J, CRAZE PG, HARMAN HM, SYRETT P, FOWLER SV. The effect of propagule size on the invasion of an alien insect. *J Anim Ecol* 2005;74:50-62.
14. INARI N, NAGAMITSU T, KENTA T, GOKA K, HIURA T. Spatial and temporal pattern of introduced *Bombus terrestris* abundance in Hokkaido, Japan, and its potential impact on native bumblebees. *Popul Ecol* 2005;47:77-82.
15. INGS TC, WARD NL, CHITTKA L. Can commercially imported bumble bees out-compete their native conspecifics? *J Appl Ecol* 2006;43:940-948.
16. MORALES CL. Introducción de abejorros (*Bombus*) no nativos: causas, consecuencias ecológicas y perspectivas. *Ecología Austral* 2007;17:51-65.
17. SCHMID-HEMPEL P. Parasites in social insects. New Jersey: Princeton University press, 1998.
18. SCHMID-HEMPEL P, LOOSLI R. A contribution to the knowledge of *Nosema* infections in bumblebees, *Bombus* spp. *Apidologie* 1998;29:525-535.
19. SIMBERLOFF D, VON-HOLLE B. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? *Biological invasions* 1999;1:21-32.
20. VERGARA CH. Environmental impact of exotic bees introduced for crop pollination. in: *The impact of bees on agricultural systems*. Oxford University Press. En Prensa.2008:145-165.
21. CAMERON SA; HINES HM, WILLIAMS PH. A comprehensive phylogeny of the bumble bees (*Bombus*). *Biol J Linn Soc.* 2007;91:161-188.
22. KREMEN C, WILLIAMS NM, THORP RW. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Science* 2004;99:16812-16816.
23. ALDANA J, CURE JR, ALMANZA MT, VECIL D, RODRÍGUEZ D. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía Colombiana* 2007;25(Pt1):62-71.

24. CANTO-AGUILAR MA, PARRA-TABLA V. Importance of conserving alternative pollinators: assessing the pollination efficiency of the squash bee, *Peponapis limitaris* in *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Journal of Insect Conservation* 2000;4:203-210.
25. KREMEN C, WILLIAMS NM, BUGG RL, FAY JP, THORP RW. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecol Lett* 2004;7:1109-1119.
26. CHACOFF N, AIZEN MA. Edge effects on flower-visiting insects in grape fruit plantations bordering premontane subtropical forests. *J Appl Ecol* 2006;43:18-27.
27. GREENLEAF S, KREMEN C. Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biol Conserv* 2006;133:81-87.
28. WESTPHAL C, DEWENTER IS, TSCHARNTKE T. Mass flowering crops enhance pollinator densities at landscape scale. *Ecol Lett* 2003;6:961-965.
29. GREER L. Alternative pollinators: Native Bees. *Horticultural Technical* 1999;14pp.
30. FUENTES ME, MADRID CA. Biología de *Bombus ephippiatus* Say (Hymenoptera, Apidae). Tesis de licenciatura. Puebla, México. Universidad de las Américas Puebla, Puebla 2003.
31. LABOUGLE, JM. "Bombus of Mexico and Central América". *University of Kansas Science Bulletin* 1990;54:35-73.
32. VERGARA CH, FONSECA-BUENDÍA P. Pollination of greenhouse tomatoes by the Mexican Bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Pollination Ecology* 2012;7(4):27-30.
33. CHAVARRÍA-VILLASEÑOR G. Systematics and Behavior of the Neotropical Bumble Bees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus*) Ph. D. Thesis. Department of Organismic and Evolutionary Biology. Harvard University, Cambridge, Massachusetts, U.S.A, 1996.
34. PRYS-JONES OE, COBERT SA. Bumblebees. Richmond Publishing. Slough, England. 1991.
35. ALFORD DV. Bumblebees. Davis-Poynter, London. 1975.
36. ARRIAGA-CABRERA L. The invasive species program of the Mexican commission for the knowledge and use of diversity. Weeds across borders: Proceedings of a North American Conference held in Tucson, Arizona 2002.

37. CUADRIELLO-AGUILAR JI, SALINAS-NAVARRETE JC. Los riesgos de importar polinizadores exóticos y la importancia de su legislación. Primer Taller de Polinizadores en México (NAPPC); 2006 noviembre 20-22; San Juan del Río (Querétaro) México.
38. BELL MC, SPOONER-HART RN, HAIG AM. Pollination of greenhouse tomatoes by the Australian bluebanded bee *Amegilla (Zonamegilla) holmesi* (Hymenoptera: Apidae). *J Econ Entomol* 2006;99:437-442.
39. CAUICH O, QUEZADA-EUÁN JG, MACIAS-MACIAS JO, REYES-OREGEL V, MEDINA-PERALTA S, PARRA-TABLA V. Behavior and pollination efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in subtropical México. *Horticultural Entomology* 2004;97:475-481.
40. INSTITUTO NACIONAL PARA EL FEDERALISMO Y EL DESARROLLO MUNICIPAL, GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIAPAS. Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Chiapas. Chiapas, 2005.
41. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). Diciembre 2011. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografías/Jitomate/pdf>
42. SLADEN F.W.L. The bumble-bee. Macmillan, London, 1912.
43. PRYS-JONES OE, CORBET SA. Bumblebees. Richmond Publishing Co. Ltd. England, 1987.
44. BLOCH G, W BORTS, HUANG Y, ROBINSON G. Effect of social conditions on juvenile hormone mediated reproductive development in *Bombus terrestris* workers. *Physiol Entomol* 1996;21:257.
45. HEINRICH B. Bumblebee Economics. Harvard College. United States of America. 2000.
46. BROWN MB, BAER R, SCHMID-HEMPEL, SCHMID-HEMPEL P. Dynamics of multiple-mating in the bumblebee *Bombus hypnorum*. *Insectes Soc* 2002;49:315-319.
47. Bloch G, Hefetz A. Regulation by dominant workers in bumblebee (*Bombus terrestris*) queenright colonies. *Behav Ecol Sociobiol* 1999;45:125-135.
48. DUCHATEAU M, MARIEN J. Sexual biology of haploid and diploid males in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Insectes Soc* 1999;42:255-266.

49. PELLETIER L, MACNEIL N. The effects of food supplementation on reproductive success in bumblebee field colonies. *Oikos* 2003;103:688.
50. OSBORNE JL, WILLIAMS IH. Bumble bees as pollinators of crops and wild flowers. In *Bumble Bees For Pleasure and Profit*, Ed. Matheson A. IBRA. 1996: 24-31.
51. LLORENTE-TORRES MD. Biología y métodos de cría de *Bombus ephippiatus* Say (tesis de licenciatura). Puebla (Puebla) México: Universidad de las Américas, 2005.
52. MAROTO JV. Horticultura herbácea especial. 4^{ta} edición. Madrid, Mundi-Prensa. 1994;611pp.
53. KINET JM, PEET MM. Tomato in: *The physiology of vegetable crops*. CABI-International, Wallingford, United Kingdom 1997:207-258.
54. SANTIAGO J, MENDOZA M, BORREGO M. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero: criterios fenológicos. *Agronomía mesoamericana* 1998;9(1):59-65.
55. SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP) diciembre 2011. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346.
56. MORANDIN LA, LAVERTY TM, KEVAN PG, KHOSLA S, SHIPP L. Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) activity and loss in commercial tomato greenhouses. *Can Entomol* 2001;133:883-893.
57. FREE JB. *Insect Pollination of Crops*. 2da edición. Ed. Academic Press, Haracourt Brace Javanovich Publishers. Gran Bretaña. 1993.
58. VERGARA CH, FONSECA-BUENDÍA P, AGUIRRE-SÁNCHEZ A. 2006. Evaluación de la eficiencia de *Bombus ephippiatus* Say (Hymenoptera, Apidae) como polinizador de jitomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Memoria del 4o. Encuentro de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria y Agroindustrial en el Estado de Puebla. Puebla, Puebla. 10 de Julio de 2006.
59. EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR. Taller/cursos: Estatus de conservación y riesgos sanitarios de abejorros nativos del género *Bombus* en México. Febrero 13-17, 2012 San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
60. SAS Institute. JMP The statistical discovery software (computer program) versión 5.0.1 Cary (NC): SAS Institute Inc, 2007.

61. ZAR JH. Biostatistical analysis. 5th ed. Upper Saddle River, N. J: Prentice-Hall, 2010.
62. AL-ATTAL YZ, KASRAWI MA, NAZER IK. Influence of pollination technique on greenhouse tomato production. *Agricultural and Marine Sciences* 2003;8(1):21-26.
63. FIUME F, PARISI B. PGB and pollinating Bombidae insects on tomato fructification (protected cultivations Italy). *Colture Protette* 1994;23:87-93.
64. WEREING P, PATRICK J. Source-sink relations and partition of assimilates. In J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in differents environments. Cambridge Univ. Press. 1975;481-499.
65. GARZA AM, MOLINA VM. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León. Gobierno de Nuevo León, Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 2008.
66. DOGTEROM MH, MATTEONI JA, PLOWRIGHT RC. Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae). *J Econ Entomol* 1998;91:71-75.
67. FERNÁNDEZ-MUÑOZ J, GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ J, CUARTERO J. Variability of pollen tolerance to low temperatures in tomato and related wild species. *J Hortic Sci* 1995;70:41-49.
68. ZAMSKI E, SHAFFER A. Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships. New York, Marcel Dekker, 1996.
69. JAUKER F, BONDARENKO B, BECKER HC, STEFFAN-DEWENTER EI. Pollination efficiency of wild bees and hoverflies provided to oilseed rape. *Agr Forest Entomol* 2012;14:81-87.

8. CUADROS

Tratamiento	% de amarre	Número de frutos/m²	Rendimiento Kg/m²
<i>B. ehippiatus</i> (Be)	67.6	121.7	12.0
<i>B. impatiens</i> (Bi)	26.7	48.1	4.8
Testigo (T)	56.4	101.6	10.0
Fitohormona (H)	49.8	89.7	8.9
Vibración manual (M)	55.8	100.5	9.9

Cuadro 1. Comparación entre tratamientos en la producción de tomates y rendimiento en kilogramos por metro cuadrado de cultivo obtenido en este estudio.

9. FIGURAS



Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades de El Progreso y San Antonio Tzalani en el municipio de la Trinitaria, Chiapas. Tomado de Google earth US Dept of State Geographer © 2012 Google



Figura 2. *B. ephippiatus* reina observada en campo

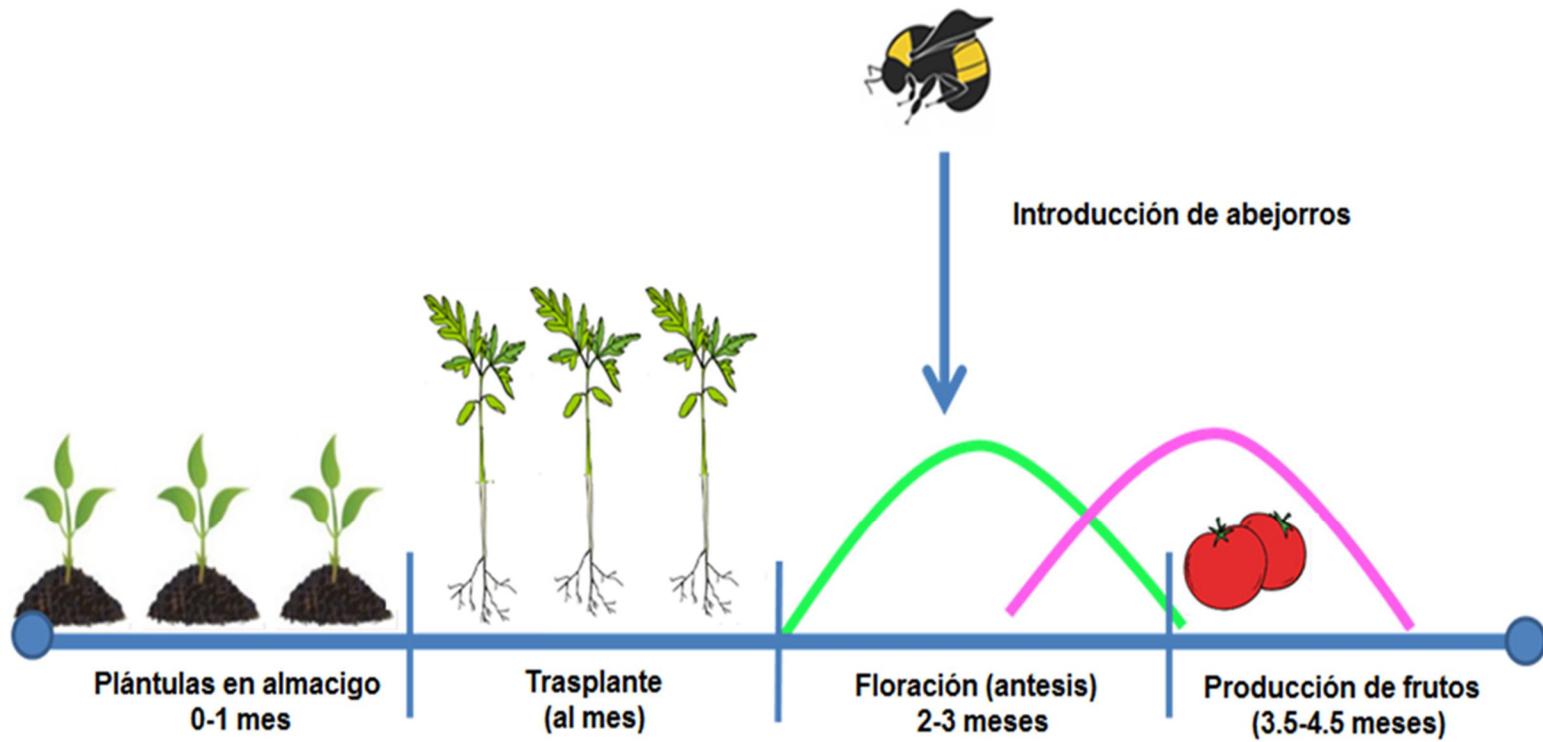


Figura 3. Esquema que representa el ciclo de producción del tomate (*Lycopersicon esculentum*), variedad determinado, bajo un sistema de cultivo en casa-sombra.

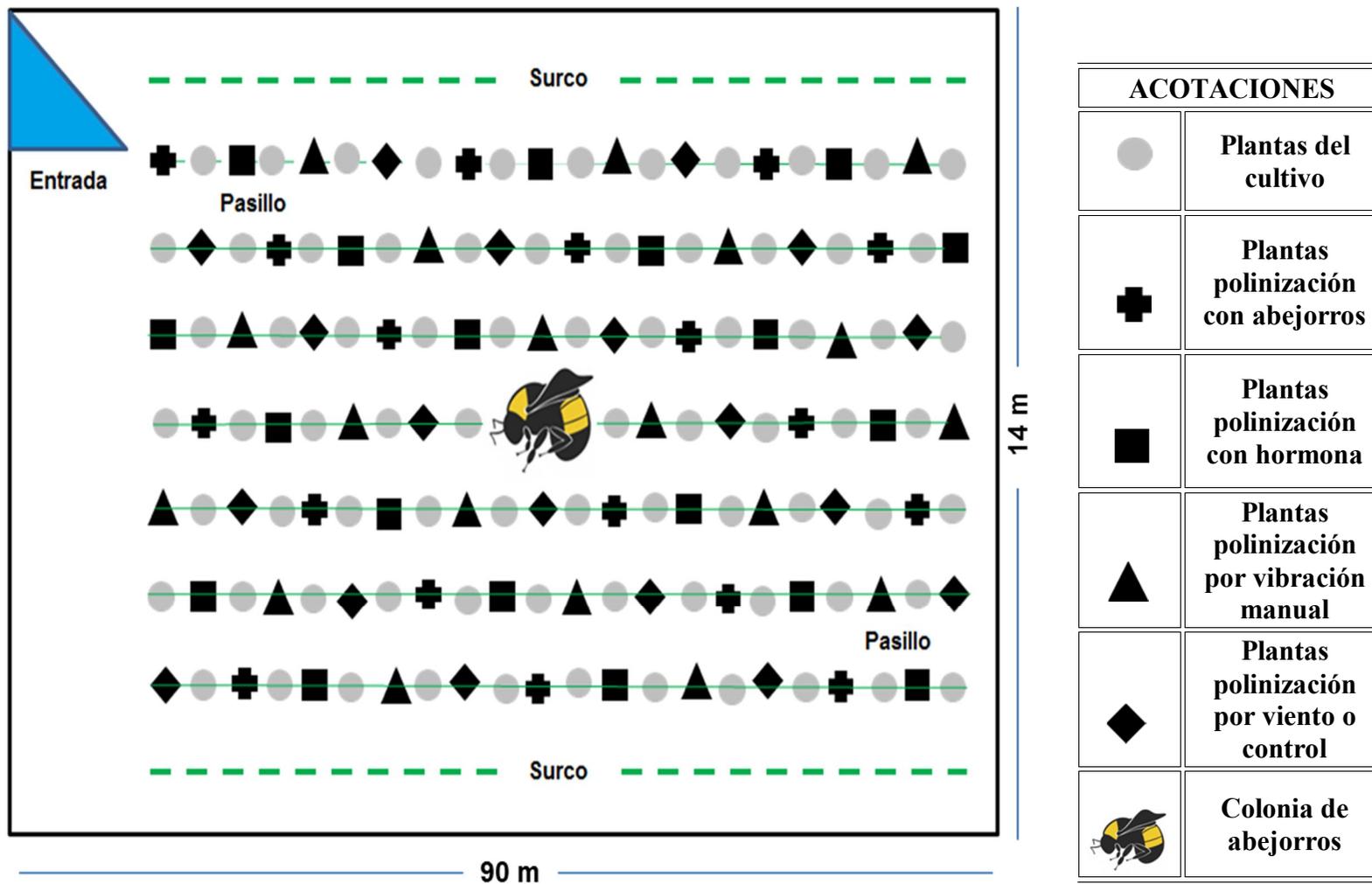


Figura 4. Esquema que muestra la distribución de las plantas por tratamiento, seleccionadas aleatoriamente al interior de cada una de las casas-sombra



Figura 7. Racimos con flores de tomate, en la fase anterior al periodo de antesis



Figura 8. Embolsado de plantas tratadas con fitohormona

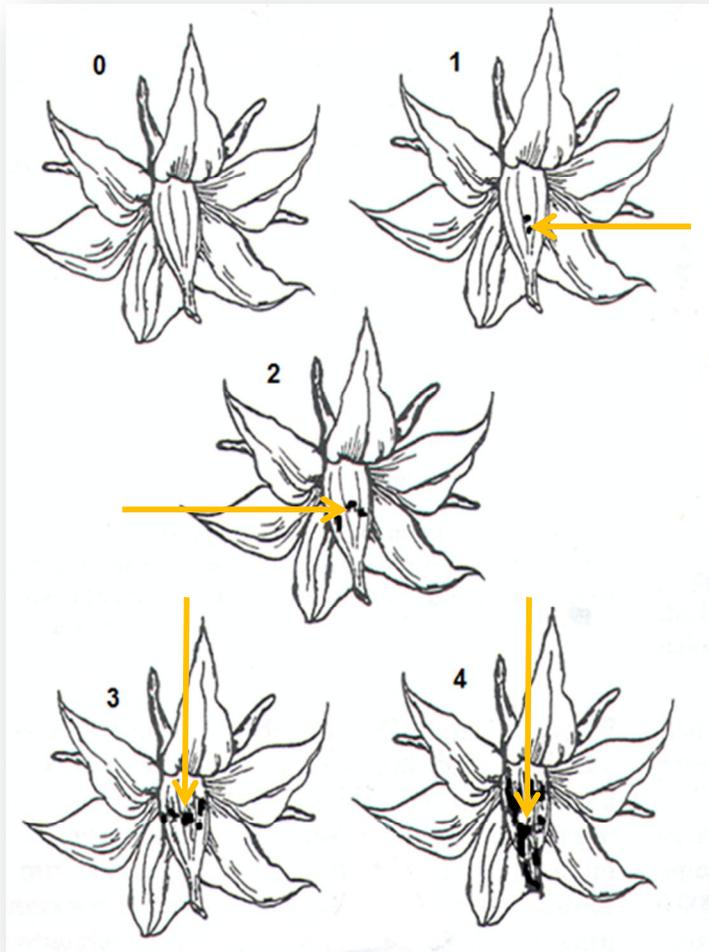


Figura 9. Daño floral causado a las anteras por los abejorros al momento de polinizar. (Tomado de L. Morandín, 2001)



Figura 10. Alimentación de la colonia de *B. ephippiatus* al interior de la casa-sombra



Figura 11. Abejorros introducidos. Colonia de *B. impatiens* al interior de la casa-sombra (a), nótese los compartimentos de entrada y salida de abejorros (b)

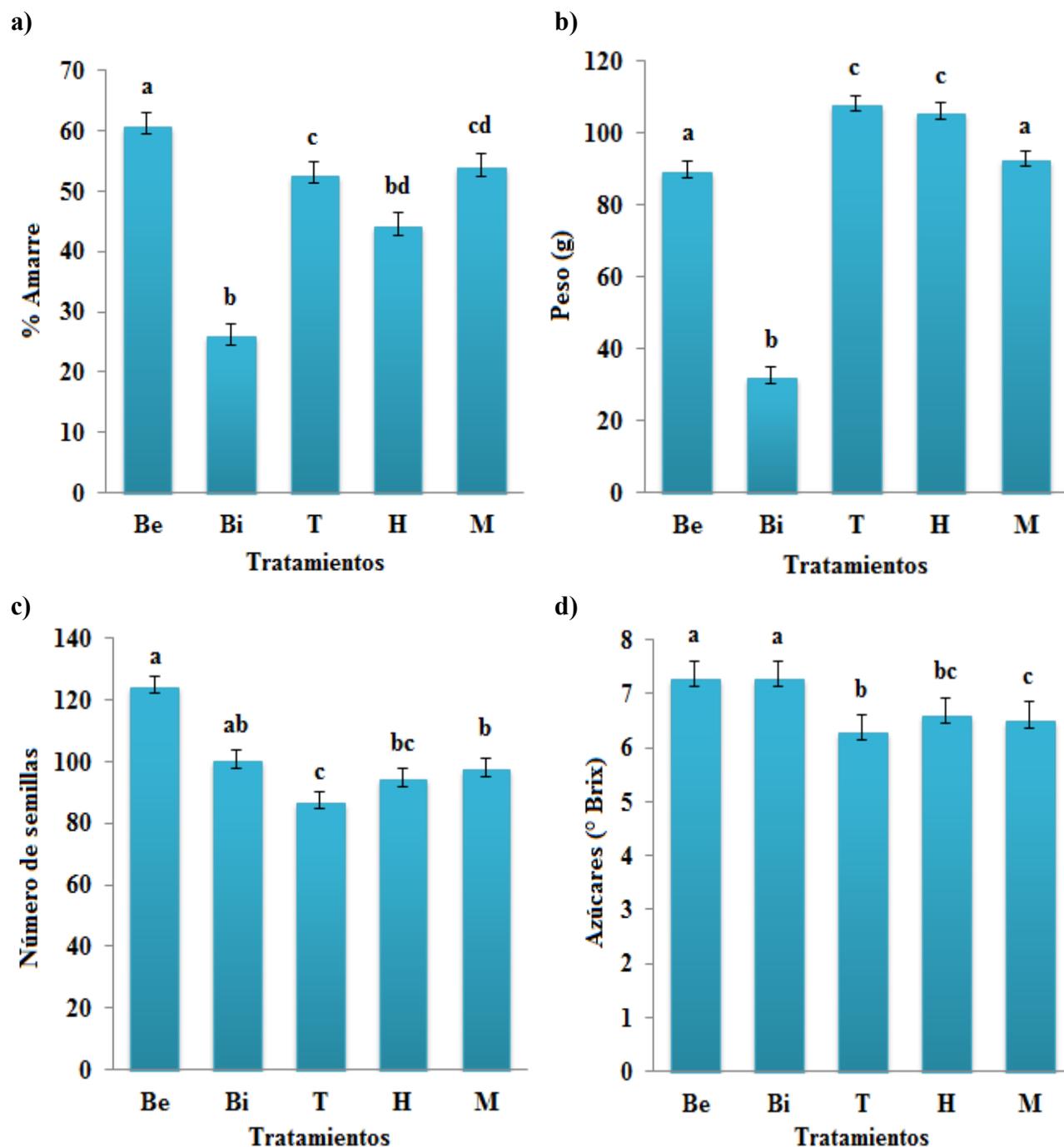


Figura 12. Comparación entre tratamientos considerando las tres casas-sombra en conjunto.

Be) Polinización por *B. ephippiatus*, Bi) Polinización por *B. impatiens*, T) Testigo, H) Polinización con fitohormona y M) Polinización por vibración manual para el porcentaje de amarre (a), peso (b), número de semillas (c) y concentración de azúcares (d). Se muestran los promedios ± E.E. Literales diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (P < 0.05). Datos transformados para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.

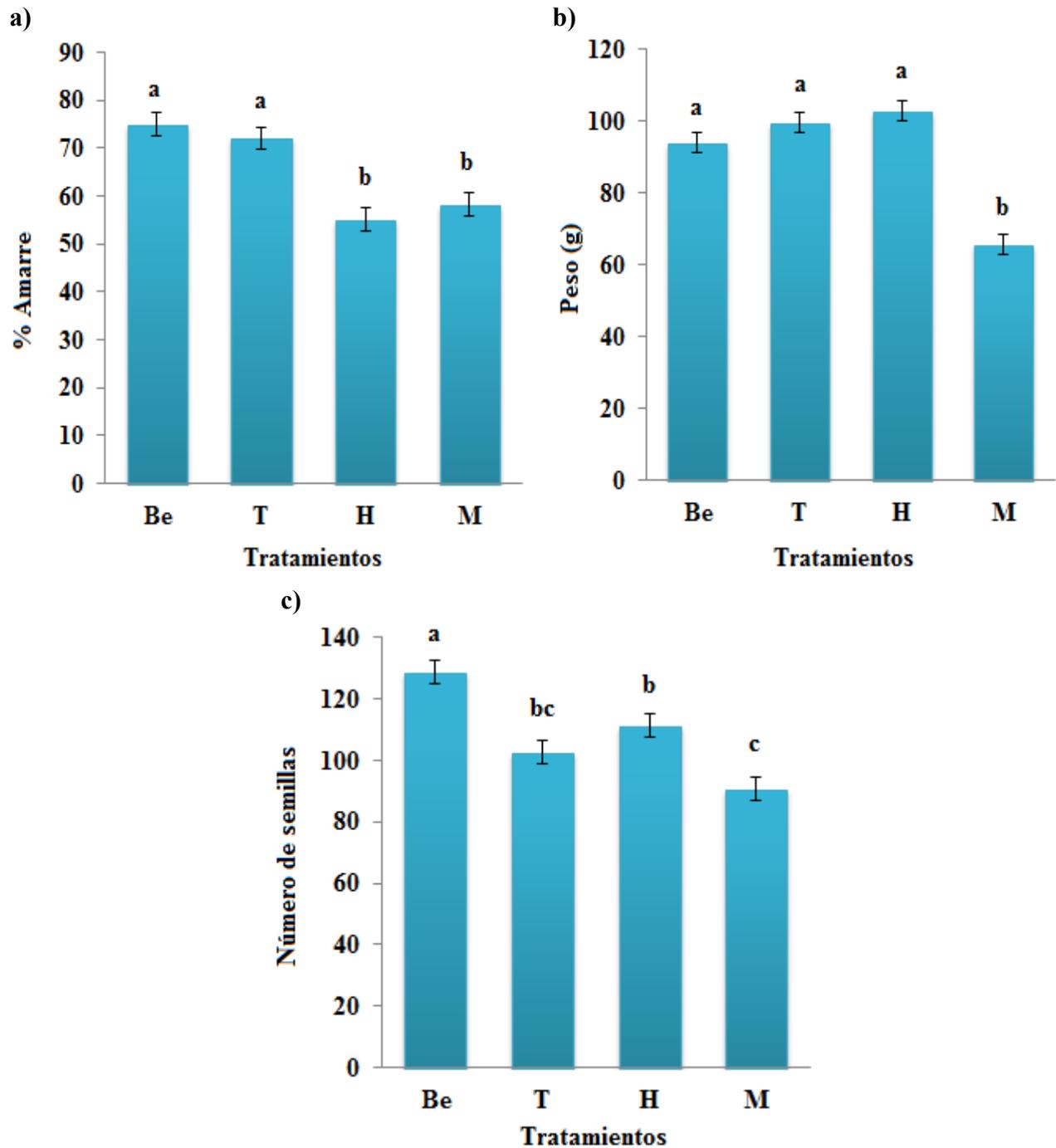


Figura 13. Comparación entre los tratamientos para la casa-sombra 1. Be) Polinización por *B. ephippiatus*, T) Testigo, H) Polinización con fitohormona y M) Polinización por vibración manual, para el porcentaje de amarre (a), peso (b) y número de semillas (c). Se muestran los promedios \pm E.E. Literales diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Datos transformados para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.

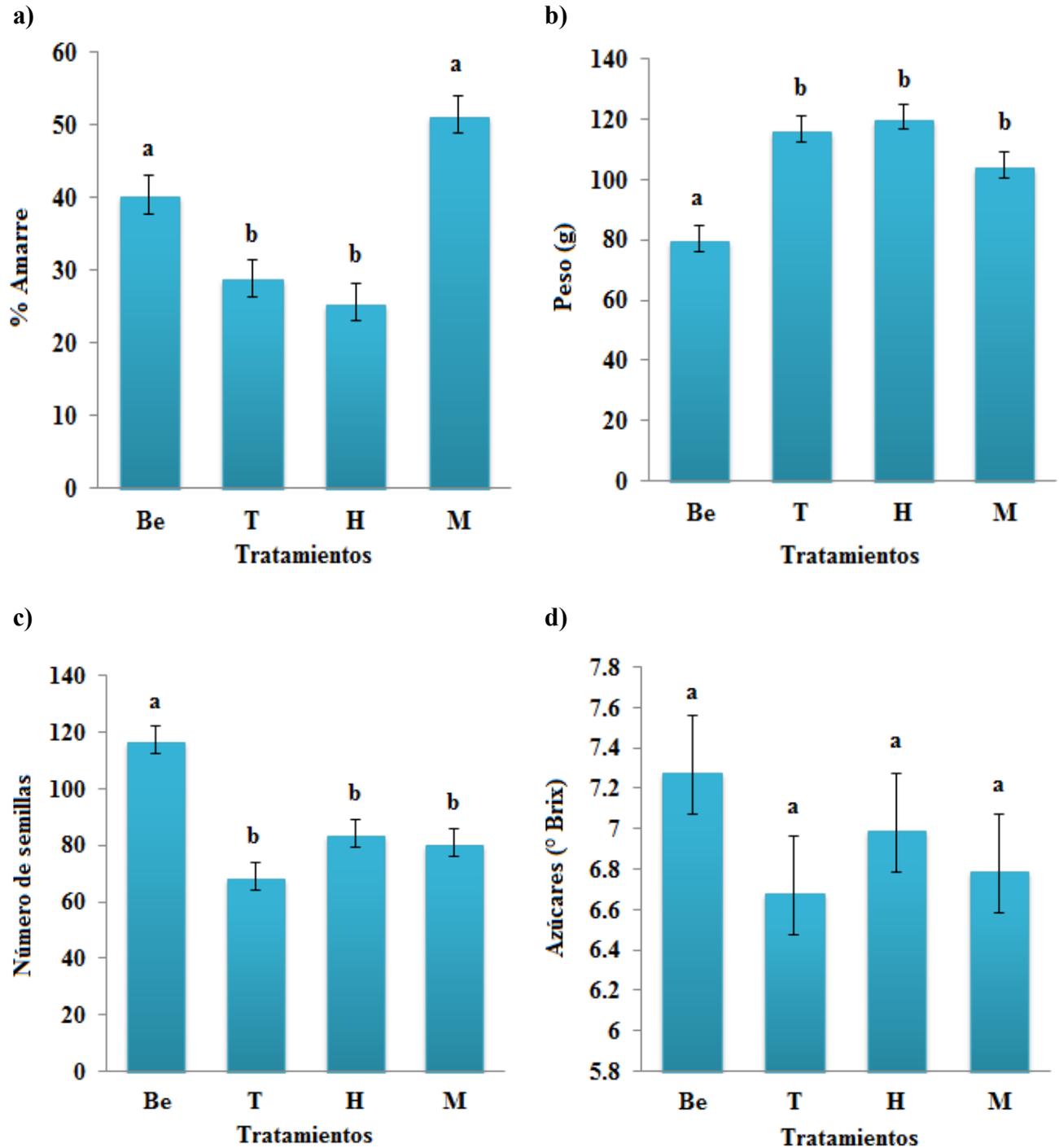


Figura 14. Comparación entre los tratamientos para la casa-sombra 2. Be) Polinización por *B. ephippiatus*, T) Testigo, H) Polinización con fitohormona y M) Polinización por vibración manual para el porcentaje de amarre (a), peso (b), número de semillas (c) y Concentración de azúcares (d). Se muestran los promedios ± E.E. Literales diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05). Datos transformados para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.

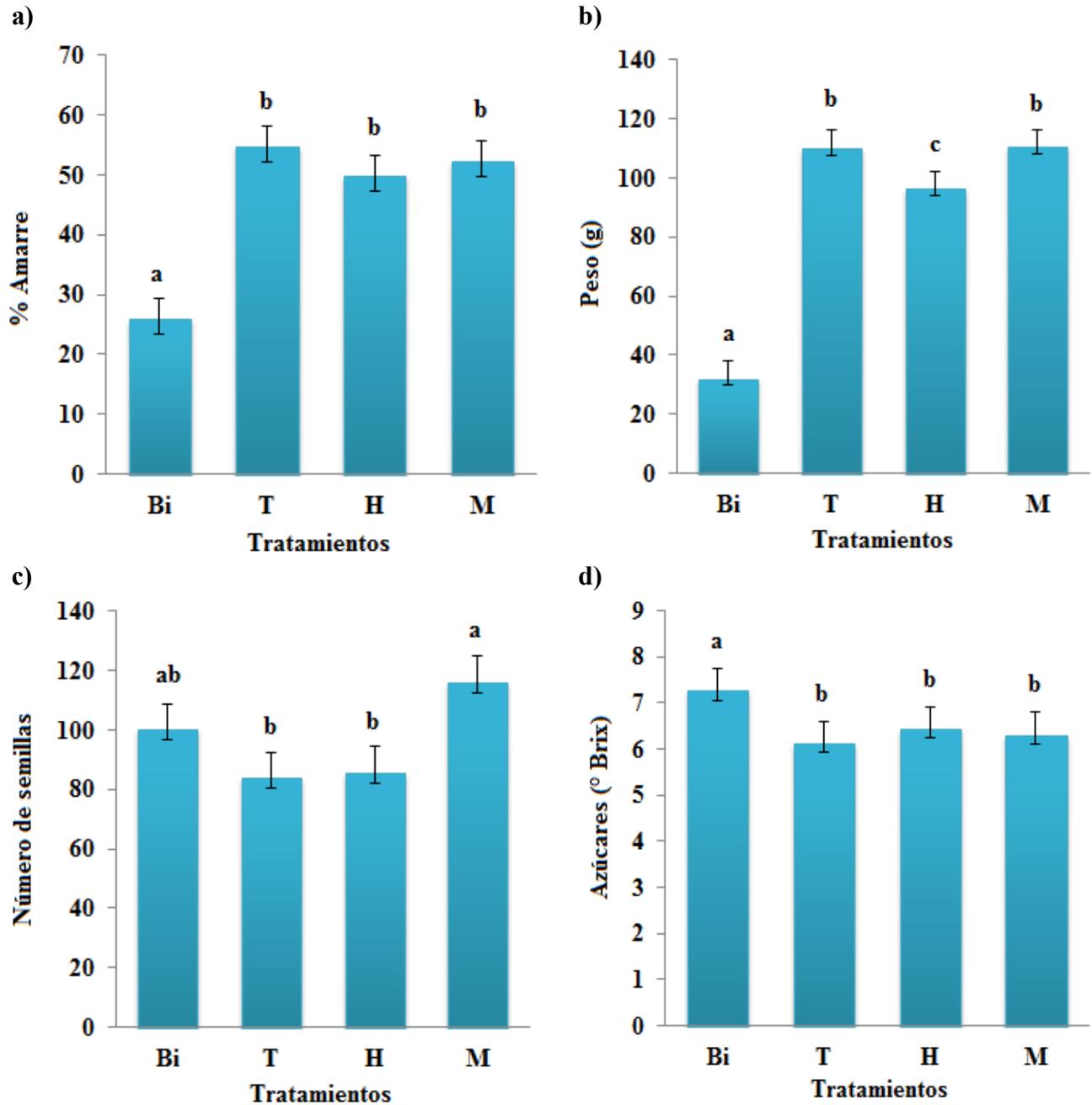


Figura15. Comparación entre los tratamientos para la casa-sombra 3. Bi) Polinización con *B. impatiens*, T) Testigo, H) Polinización con fitohormona y M) Polinización por vibración manual para el porcentaje de amarre (a), peso (b), número de semillas (c) y porcentaje de azúcares (d). Se muestran los promedios ± E.E. Literales diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Datos transformados para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.