

Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia

Effect of *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) on tomato production (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse in Bogotá plateau, Colombia

Johanna Aldana¹, José Ricardo Cure², María Teresa Almanza², Daniela Vecil¹ y Daniel Rodríguez²

Resumen: En varios países se utilizan con éxito especies de abejorros del género *Bombus* para la polinización de tomate, reportándose incrementos de productividad hasta del 40%. En la Sabana de Bogotá existen varias especies nativas del género, por lo que se planteó examinar su potencial, desde el punto de vista de su cría en cautiverio y de su utilización como polinizadores de tomate y otras solanáceas. En este trabajo se evaluó el potencial de la especie nativa *Bombus atratus* como polinizador de tomate, mediante la introducción al cultivo de colonias criadas en cautiverio. Se comparó la autopolinización espontánea de la planta, frente a la obtenida con ayuda de las obreras de *B. atratus*. Los frutos visitados por ellas presentaron incrementos significativos para las variables 'peso fresco del fruto' (40,9%), 'número de semillas' (103,3%), 'diámetro ecuatorial' (14,3%) y 'proporción de lóculos bien desarrollados' (42,2%). La relativa facilidad para la cría de esta especie en cautiverio, y el potencial demostrado en el aumento de productividad del tomate bajo invernadero, muestran la necesidad de profundizar en estos estudios en Colombia.

Palabras clave: polinización por vibración, producción en tomate, abejorros.

Abstract: In Europe and North America, the use of bumblebees for pollination improved tomato production up to 40%. In Bogotá plateau, Colombia, there are also various bumblebee species that could be managed in captivity in order to increase greenhouse production of tomato and other *Solanaceae* crops. This particular work studied a potential of the native bumblebee species *Bombus atratus* for pollination purposes in tomato through introducing bumblebee populations growing in captivity into tomato culture. In this study, the results of the comparison among self-pollination and pollination done by worker bumblebees of *Bombus atratus* are presented. Fruits obtained from pollination performed by *B. atratus* had significantly more fresh weight (40.9%), larger equatorial diameter (14.3%), and presented significantly more seeds (103.3%) and proportion of well developed locules (42.2%) as compared with fruits obtained from self-pollination. The results of the study on rearing of *B. atratus* in captivity and increases in the quality of fruits produced by bumblebee-affected pollination are promising and encourage more specific pollination studies in tomato and other *Solanum* species in Colombia.

Key words: buzz pollination, tomato production, bumblebees.

Introducción

ENTRE LOS FACTORES que reducen la productividad y calidad del cultivo de tomate se encuentran la falta de polinización, las temperaturas desfavorables para la an-

tesis, una iluminación insuficiente, el exceso o falta de nutrientes y la humedad relativa (HR): cuando es alta se dificulta la liberación del polen por las anteras, mientras que cuando es baja se obstaculiza su germinación (Vallejo, 1999; Esmeijer, 2000).

Fecha de recepción: 20 de noviembre de 2006
Aceptado para publicación: 06 de junio de 2007

¹ Estudiantes, Facultad de Ciencias, Programa de Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.

² Docentes, Facultad de Ciencias, Programa de Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. e-mail: jrcure@umng.edu.co, daniel.rodriguez@umng.edu.co

La flor de tomate tiene mecanismos que le permiten lograr hasta 98% de autopolinización, la cual, sin embargo, no es suficiente para producir frutos de alta calidad. Se ha comprobado que el tamaño del fruto depende directamente de la cantidad de granos de polen que se depositan sobre el estigma; así, a menor cantidad, se producen frutos más pequeños, con pocas semillas y deformes (Free, 1970). La liberación de buenos volúmenes de polen de las anteras poricidas necesita de agentes externos, sean mecánicos o biológicos, que por vibración liberen el polen o modifiquen las condiciones fisiológicas de la flor. Con esta finalidad se han utilizado polinizadores eléctricos manuales (Morandin *et al.*, 2001) y reguladores de crecimiento para mejorar la partenocarpia de los frutos; no obstante, su uso incrementa la labor y los costos de producción (Kaftanoglu, 2000).

La utilización de abejorros para la polinización mejora la fecundación, la producción de semillas y, por tanto, la calidad del fruto (Free, 1970, Kevan *et al.*, 1991, Van Ravestijn y Van der Sande, 1991, Schoonhoven *et al.*, 1998). Las especies comúnmente utilizadas a nivel mundial son *B. terrestris* y *B. impatiens*, las cuales han sido introducidas a diferentes países como Japón, donde se han reportado efectos no deseables como el cruce con especies nativas y la introducción de enfermedades (Free, 1970, Alford, 1975, Kaftanoglu, 2000).

En nuestro país no hay reportes sobre utilización de abejorros como parte del proceso regular de producción de tomate. Sin embargo, los productores han manifestado su interés de contar con esta posibilidad, pues saben de las ventajas que representan a productores de otros países. En este contexto, se hace relevante desarrollar los estudios pertinentes en Colombia a partir de especies nativas, de tal forma que la presión por mejorar las productividades no acabe abriendo las puertas a la importación de especies foráneas o de especies nativas producidas en el exterior. El desarrollo de esta tecnología en el país es urgente y se encuadra dentro de los tres grandes objetivos establecidos en el Convenio de Diversidad Biológica: conservación de la biodiversidad, utilización sostenible de sus componentes y la participación justa de los beneficios, resultado del uso de los recursos genéticos (Instituto Alexander von Humboldt, 2003).

Algunos antecedentes que representan la base de los estudios sobre la biología de las especies nativas del género *Bombus* en Colombia, son los de Osorno y Osorno (1938), en el que se anotan algunos aspectos bionómicos

de su nidificación y abundancia en los alrededores de la ciudad de Bogotá; así mismo, los de Liéavano *et al.* (1991 y 1994) que muestran la distribución altitudinal de varias especies y ofrecen llaves de identificación y, más recientemente, los estudios de Nates y González (2000).

Nuestros trabajos con las especies del género *Bombus* se iniciaron hace siete años combinando la gran tradición de estudios en abejas que tiene el Brasil y las experiencias compartidas con el grupo de investigaciones en abejas de la Universidad de Bonn en Alemania. En estos trabajos nuestro grupo adquirió importantes conocimientos en la cría de abejorros y la ecología de la polinización (Vergara *et al.*, 2003; Almanza *et al.*, 2006 a, b).

Con base a lo anterior, se planteó este proyecto con el objetivo principal de valorar la eficiencia de la actividad polinizadora que presenta *B. atratus* sobre la producción final de los frutos en cultivos semi-comerciales de tomate sembrados bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Manejo del cultivo

El estudio se realizó en un cultivo semi-comercial de tomate variedad 'Durinta larga vida', en un área de 250 m² bajo invernadero localizado en el Centro Experimental de la Universidad Militar Nueva Granada en el municipio de Cajicá, situado a 39 km al norte de Bogotá. La altitud es de 2.558 msnm y la temperatura media anual de 14°C. La siembra se distribuyó en seis camas con dos hileras de 77 plantas cada una y una densidad de 3 plantas/m², para un total de 892 plantas. Cuando se presentaron eventos de ataque de plagas el manejo se realizó mediante la utilización de controladores biológicos como *Encarsia formosa* contra la mosca blanca, *Aphelinus sp.* contra los pulgones y *Apanteles sp.* contra el barrenador del tomate (*Tuta absoluta*). Los agentes de control biológico se obtuvieron de la cría permanente existente en las instalaciones de la Universidad Militar (Bustos, 2004). El fertirriego, las labores culturales, el monitoreo de las plagas, el control de las liberaciones de los agentes de control biológico y la aplicación de los fungicidas, se realizaron de acuerdo con el protocolo implementado en la Universidad. No se utilizaron insecticidas durante todo el ciclo del cultivo, pero sí fungicidas en cinco oportunidades, contra *Sphaerotheca*, *Botrytis* y *Phytophthora*, ocasiones en las cuales se impidió la salida de las abejas.

Descripción y manejo de las colonias de abejorros

Se utilizaron dos colonias. La primera colonia se ubicó en el centro del cultivo de tomate el 13 de septiembre, cuando las plantas tenían su tercer racimo y se retiró el 28 de octubre de 2004, cuando estas tenían el séptimo racimo en producción. La colonia contaba con 13 obreras y dos celdas de huevo, había perdido la reina y se encontraba en fase de producción de machos. La ausencia de la reina fundadora no afectó la actividad forrajera de la colonia dado que en esta especie se presenta el reemplazo de la reina por una reina falsa. Esta es una obrera, generalmente de gran tamaño, que toma el control de la colonia y que puede llegar a producir nuevas obreras, reinas y machos cuando se aparea (Silva-Matos y Garófalo, 1995). Para el 20 de septiembre había siete obreras muertas.

La segunda colonia se introdujo el 10 de noviembre de 2004, cuando el cultivo estaba en su séptimo racimo y permaneció hasta el 6 de enero de 2005, cuando se había producido el racimo once. Esta colonia se ubicó en una esquina del invernadero. Provenía de una reina obtenida de un cruce realizado en el laboratorio y contenía en el momento de ser introducida 26 obreras, 5 celdas de huevo, 13 celdas de larva y 13 celdas de pupa. La reina murió dos días antes de su introducción en el cultivo, pero sin embargo, las obreras presentaban un comportamiento normal de cuidado y alimentación de la cría.

Las colonias fueron colocadas a un metro de altura en un pedestal elaborado en madera con un par de cintas color amarillo e icopor en las partes inferior y superior (figura 1). Como el néctar no lo brinda la flor del tomate se les proveía agua azucarada en relación 1:1 en volumen, manteniendo diariamente el recurso en bebederos de aves de 20 mL a un lado de la caja y reemplazándolo cada dos días para evitar la fermentación.

Durante los experimentos se observaron visitas constantes de abejorros provenientes de nidos silvestres de la misma especie. El área de estudio se encontraba cubierta en su mayor parte por pastizales, los cuales ofrecen condiciones muy propicias para la nidificación de *B. atratus* (Liévano *et al.*, 1994). Hay también en el área alguna actividad agrícola bajo invernadero y a campo abierto. En la zona hay alguna actividad agrícola bajo invernadero y a campo abierto, con presencia de cultivos de hortalizas florecidos, así como de plantas silvestres (diente de león, carretón, abutilón y alcaparro), conjunto vegetal que les



Figura 1. Caja de la colonia mostrando el bebedero, entrada al nido y bandas amarillas para orientación de las obreras.

proporciona suficientes recursos de polen y néctar necesarios para el desarrollo de las colonias. Las visitas de abejorros silvestres aportó a la actividad polinizadora de las obreras de la colonia ubicada en el cultivo con tal propósito pero tal contribución es difícil de estimar.

Registro de datos. El registro de la información y la toma de datos se realizó diariamente desde el 13 de septiembre del 2004 hasta el 6 de enero del 2005, entre las 7:00 am. y la 1:00 pm.

Experimentos realizados

En este estudio se llevaron a cabo tres ensayos: a) evaluación de métodos para evitar la polinización por abejorros; b) comparación entre polinización libre con y sin empleo de bolsa cerrada, y c) efecto de la polinización con abejorros sobre la producción y calidad de frutos.

Evaluación de métodos para evitar la polinización por abejorros. Este experimento se realizó evaluando los racimos 9 a 11 con el objetivo de establecer si se generó un efecto inhibitorio sobre la polinización por falta de ventilación dentro de bolsas colocadas sobre los botones florales, que pudiera afectar la liberación del polen y, por tanto, la calidad final del fruto. Los tratamientos evaluados fueron: 'polinización mediante visita por las obreras', 'polinización espontánea mediante el embolsamiento de botones florales con bolsas totalmente cerradas' y 'polinización espontánea mediante el embolsamiento de botones florales con bolsas abiertas en la parte inferior' (figura 2).

Para la elaboración de las bolsas se empleó velo suizo, material recomendado por Wyatt *et al.* (1992) (citado en Kearns e Intuye, 1993), quien afirma que mantiene constante y no influye en gran medida sobre la humedad relativa ni la temperatura de la flor, de manera que no se afectan ni la esperanza de vida de las flores ni la calidad final del fruto.

Para este experimento los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza completamente al

azar con estructura de tratamientos factorial, asumiendo como factores el racimo y el tipo de polinización.

Efecto de la polinización libre y del uso de bolsa cerrada o abierta. Este ensayo fue realizado en el racimo 6 con el fin de establecer si el embolsado podría generar algún efecto en la polinización diferente a la polinización libre en ausencia de bolsa, caso en el cual no podría considerarse como un testigo representativo de la condición presente; en efecto, esto ocurre en cultivos comerciales, donde la polinización ocurre de forma espontánea.

Los tratamientos evaluados fueron: ‘polinización obtenida de flores visitadas por las obreras’, ‘polinización espontánea mediante el embolsamiento de botones florales con bolsas totalmente cerradas’ y ‘polinización espontánea sin embolsar los botones’; para ello se realizó un seguimiento de las flores que estaban expuestas a los abejorros pero que no fueron visitadas. Éstas se reconocieron por la ausencia de la marca necrótica en el cono de la antera (figura 3). Los resultados se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar y se asumieron como tratamientos los tres tipos de polinización.



Figura 2. Racimos y botones florales embolsados de tomate ‘Durinta’: a) racimos embolsados con bolsa cerrada; b) racimos embolsados con bolsa abierta.

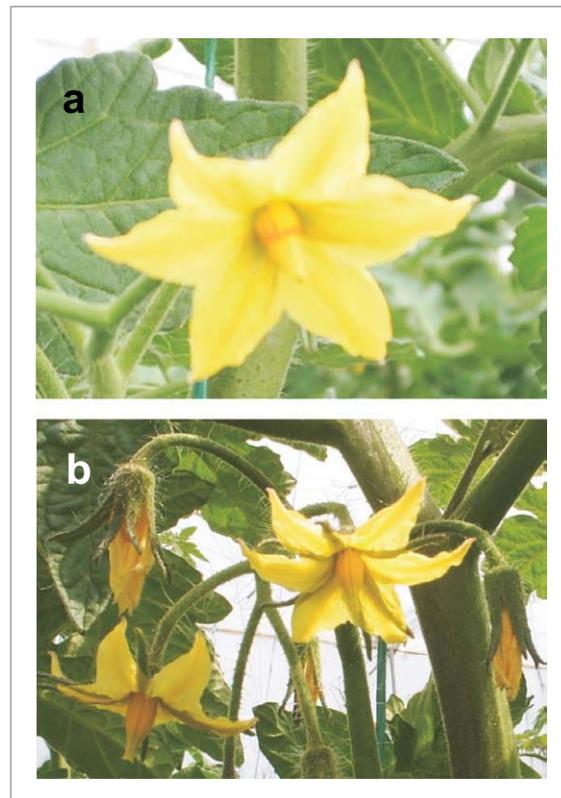


Figura 3. Flores de tomate variedad ‘Durinta larga vida’ cultivada bajo invernadero: a) cono de la antera sin marca; b) cono de la antera marcada por la visita del abejorro.

Efecto de la polinización con abejorros sobre la producción y calidad de frutos.

Este experimento se realizó con el fin de comparar el efecto de la polinización con abejorros y la polinización espontánea que se logró mediante el empleo de bolsa cerrada. Los tratamientos evaluados fueron: ‘exclusión de abejorros mediante bolsa cerrada’ y ‘polinización obtenida mediante abejorros’. Para este experimento se consideraron los racimos 4 a 11. Los resultados se analizaron mediante un diseño completamente al azar con estructura de tratamientos factorial. Como factores se evaluaron el tratamiento de polinización y el racimo. Este último factor se evaluó adicionalmente porque en plantas de crecimiento indeterminado, como el tomate, las características de los frutos (variables medidas en el presente trabajo) pueden cambiar por el efecto que tiene el desarrollo de la planta y el racimo del que hace parte. Por esta razón, en el análisis se quiso discriminar el efecto que tiene el efecto del tratamiento de polinización con el del racimo.

En todos los experimentos realizados se evaluaron como variables de respuesta el peso de los frutos, el diámetro, número de semillas y porcentaje de lóculos bien desarrollados. Así mismo, para todos los casos, el pedúnculo se marcó con el número del racimo embolsado y el tipo de bolsa empleada para poder distinguir el fruto en el momento de la cosecha. En cuanto al manejo de las bolsas, éstas se iban corriendo hacia la parte distal del tallo a medida que los frutos del racimo iban cuajando, dejando expuestos los frutos ya formados y cubiertos los botones y flores restantes en el racimo.

Métodos de campo empleados en los diferentes ensayos

Tiempo entre polinización y fructificación.

Se definió el momento de cuajado del fruto, que era cuando la flor estaba senescente (figura 4a). Para estimar el tiempo de cuajamiento de las flores no visitadas, se hizo seguimiento a 70 plantas escogidas aleatoriamente en el racimo 10 (incluyendo plantas con botones embolsados tanto con bolsa abierta como con bolsa cerrada). Para conocer el tiempo de cuajamiento de las flores visitadas por los abejorros, se marcaron las flores con una etiqueta registrando la fecha de visita (figura 4b). Para ambos casos se realizó un seguimiento diario y se registró el tiempo que transcurría desde que la flor estaba totalmente abierta hasta el momento en que cuajaba el fruto.

Marcación de las flores por las abejas. Al visitar una flor, las obreras de abejorro se agarran del cono de las anteras con las mandíbulas y hacen vibrar la flor con movimientos de los músculos del tórax. Esta vibración permite la polinización de la flor al mismo tiempo que deja sobre las anteras un daño mecánico que es fácilmente distinguible como una marca de visita (Esmeijer, 2000). Para medir el grado de marcado de las flores y su relación con la actividad polinizadora se adaptó la escala de Morandin *et al.* (2001) para describir la intensidad de marcaje en la flor por el abejorro (figura 3b). Los tipos de marca se diferenciaron por la intensidad y extensión de la coloración oscura sobre la porción central del cono formado por las anteras. El nivel 1 se caracterizaba por una pequeña marca necrótica, que no se extendía alrededor de todo el cono de las anteras; en el nivel 2 había más de una marca pero su conjunto tampoco circulaban totalmente la mitad del cono formado por las anteras; en el nivel de marcaje 3 las marcas rodeaban la mitad del cono de las anteras; en



Figura 4. Evaluación del tiempo de cuajamiento: a) flor senescente; b) fruto con la etiqueta colocada a las flores visitadas.

el nivel 4 la marca era completa, rodeando totalmente el cono de las anteras.

Se relacionó la calidad del fruto con la intensidad del marcaje y con la duración de las visitas de las obreras; en efecto, con ayuda de un cronómetro se midió la duración de la vibración del abejorro en la flor. Después de cronometrar la visita, la flor se marcó usando una etiqueta (figura 4b) con información sobre el racimo, la fecha, el tiempo de visita de la obrera y el nivel de marcaje (1-4).

En cuanto al análisis estadístico se calcularon correlaciones para las variables con respecto al nivel de marcaje y la duración de las visitas, usando la aplicación Proc Corr del SAS® para obtener los coeficientes de Spearman y Pearson (SAS Institute, 2001).

Cosecha de los frutos. Los frutos se cosecharon utilizando como criterio el punto de corte (entre 3 y 4) según la tabla de colores propuesta por el Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA-Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá). Los frutos fueron pesados en fresco, se midió el diámetro ecuatorial, se contó el número de lóculos bien desarrollados y el número total de semillas por fruto, luego de ser extraídas en su totalidad.

Resultados y discusión

Evaluación de métodos para evitar la polinización por abejorros

En la tabla 1 puede verse que para todas las variables evaluadas se encontró un efecto altamente significativo, tanto del racimo, como del método de polinización. También se encontró en todos los casos que la interacción es altamente significativa, lo que indica que el efecto de la polinización depende en alguna medida del racimo.

Lo anterior se puede corroborar al observar la figura 5, donde se encontró que hay una diferencia altamente significativa en todas las variables evaluadas a los frutos. Se puede observar que los métodos de embolsado (bolsa abierta y bolsa cerrada) no difieren notablemente entre sí, por lo que no hay efecto de bolsa que afecte la calidad final del fruto, pero la polinización con abejorros permite obtener un peso promedio, diámetro, número de semillas y porcentaje de lóculos bien desarrollados significativamente superior al logrado con cualquiera de los dos métodos de embolsado, comportamiento que fue similar en todos los racimos.

Tabla 1. Efecto de la polinización sobre las diferentes variables de los frutos.

EV. Variable	Probabilidad (P>F)			
	Peso	Diámetro	No. Sem	% Loc B. D.
Racimo	0,00067**	0,00227**	0,128	0,00017**
Polinización	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Racimo*Polinización	0,0229*	0,02597*	0,00024**	0,129

No. Sem: número de semillas; % Loc B.D.: Porcentaje de lóculos bien desarrollados. ANOVA: * P<0,05 diferencia significativa; ** P<0,001 Diferencia altamente significativa.

Nota: Los valores que aparecen en la tabla son las probabilidades asociadas a la prueba F (Pr>F) del análisis de varianza. En general este valor se asume significativo cuando P<0,05. Por ejemplo, en la tabla los valores de 0,00 son probabilidades menores a 0,05 lo que indica que el efecto de los tratamientos resulta significativo. Como este valor por sí solo es suficiente para interpretar si hay o no significancia, no se consideró necesario incluir convenciones adicionales como letras.

Efecto de la polinización libre y del uso de bolsa cerrada o abierta

En todas las variables que fueron evaluadas en los frutos se encontró una diferencia altamente significativa en cuanto al método de polinización empleado (ANOVA, F>0,1347 en todos los casos, g. 1 = 2 en todos los casos, P<0,05 en todos los casos) (figura 6).

Los tratamientos que excluyen la visita de los abejorros (bolsa cerrada y polinización espontánea sin visita de abejorro) no difieren notablemente entre sí, lo que indica que el embolsado no afecta la calidad final del fruto producido; así mismo, puede decirse que no hay ningún efecto en la polinización libre en ausencia de bolsa por lo que es un testigo confiable y representativo de la condición de los cultivos comerciales, donde la polinización se da de forma espontánea.

Respecto de la polinización espontánea mediada por los abejorros si hay diferencias significativas que muestran que mediante este tratamiento se favorece peso del fruto, su diámetro, el número de semillas y el porcentaje de lóculos bien desarrollados de los frutos, pues fueron significativamente superiores a lo obtenido incluso con el testigo (polinización espontánea sin visitas de abejorros).

Efecto de la polinización con abejorros en variables de producción y calidad de frutos

En la tabla 3 es evidente que en todas las variables evaluadas en los frutos hay un efecto altamente significativa-

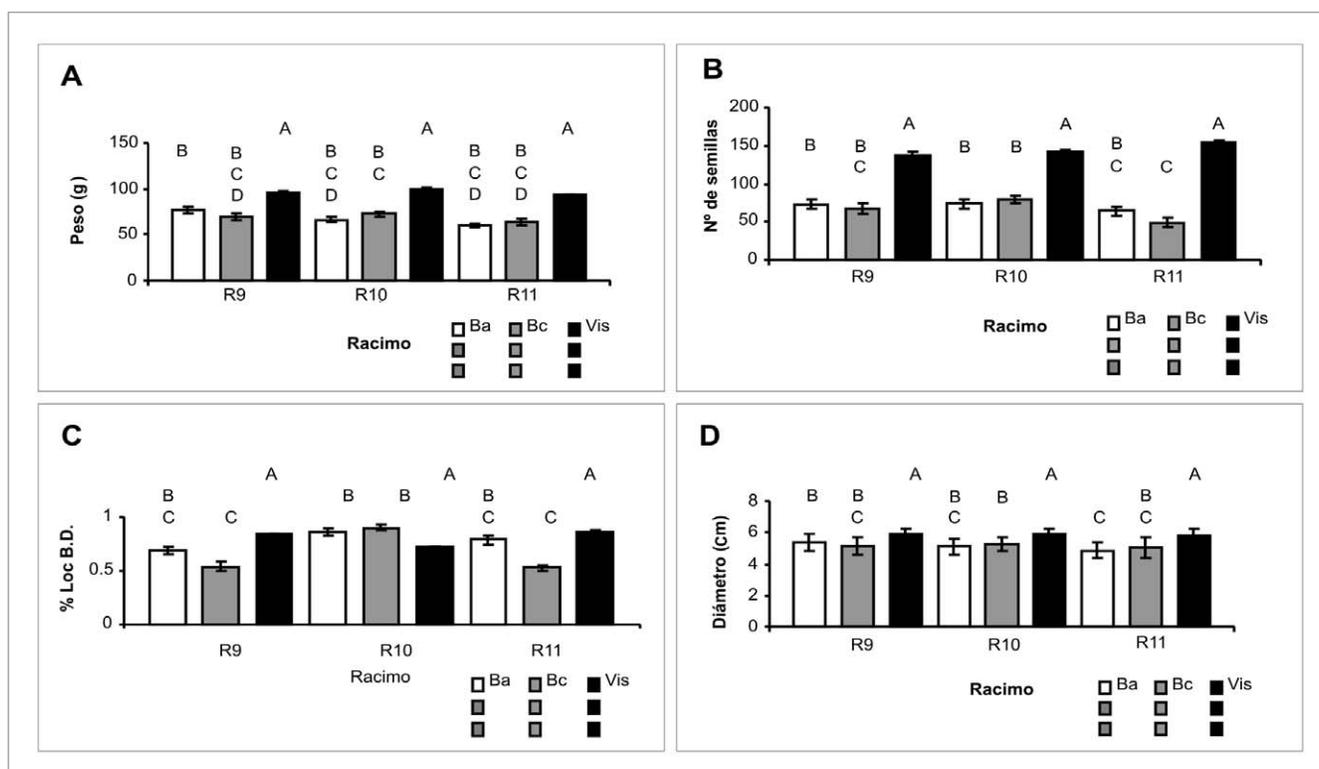


Figura 5. Efecto de los tratamientos de polinización sobre diferentes variables medidas en los frutos: a) efecto sobre el peso final; b) efecto sobre el número de semillas; c) efecto sobre el porcentaje de lóculos bien desarrollados; d) efecto sobre el diámetro. Ba: bolsa abierta, Bc: bolsa cerrada, Vis: polinización espontánea mediada por abejorros.

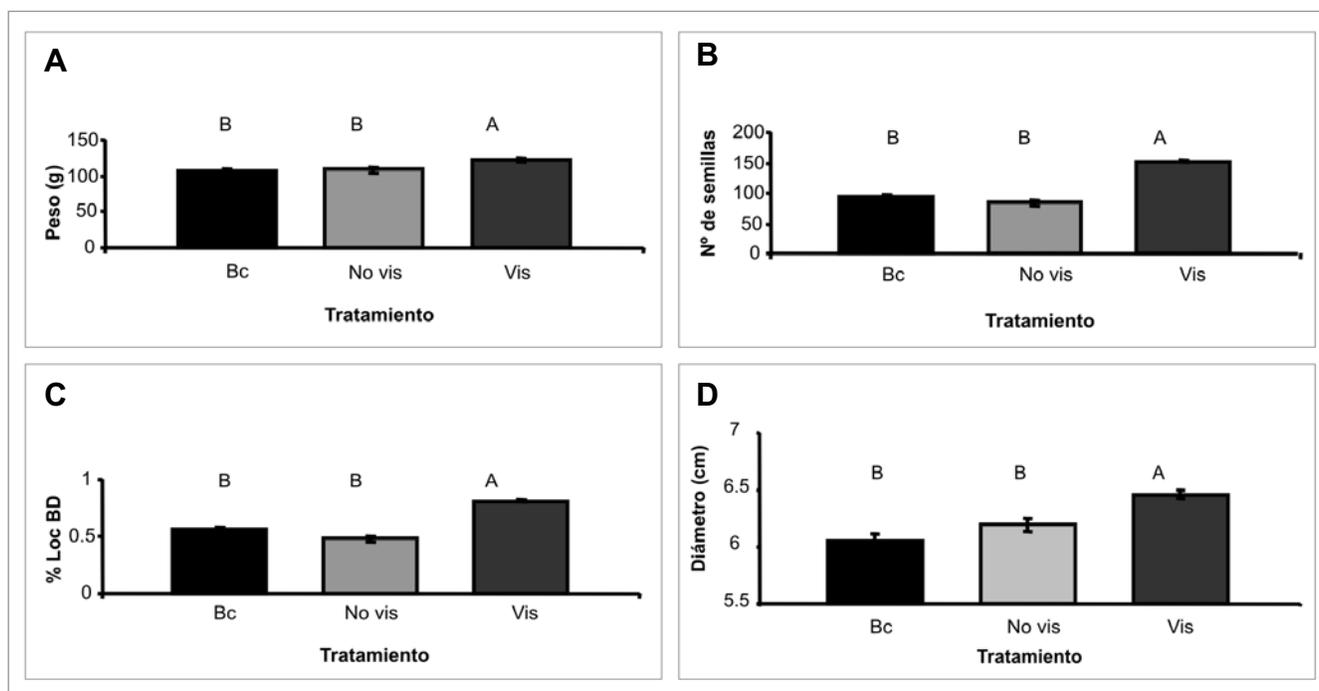


Figura 6. Comparación entre polinización libre con y sin uso de bolsa cerrada con la polinización mediada por abejorros sobre las diferentes variables medidas en los frutos: a) efecto sobre el peso final de los frutos; b) efecto sobre el número de semillas; c) efecto sobre el porcentaje de lóculos bien desarrollados; d) efecto sobre el diámetro. Bc: Bolsa cerrada; No vis: polinización espontánea sin visitas de abejorros; Vis: polinización espontánea mediada por abejorros.

Tabla 3. ANOVA realizada para valorar el efecto de la polinización sobre las diferentes variables de los frutos.

E.V.	Probabilidad (P>F)			
	Peso	Diámetro	No. Sem	% Loc B. D.
Racimo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Polinización	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Racimo*Polinización	0,0000	0,0000	0,0000	0,0078

No. Sem.: número de semillas, % Loc B.D. Porcentaje de lóculos bien desarrollados. E.V.: Fuente de variación, P<0,05: diferencia significativa; P< 0,001: diferencia altamente significativa.

tivo, tanto del racimo, como del método de polinización. Así mismo, se encontró en todos los casos que la interacción es altamente significativa, por lo que puede afirmarse que el efecto de la polinización depende del racimo en alguna medida.

Al realizar la comparación de medias –como se muestra en la tabla 4 y la figura 7–; se encontraron diferencias significativas en todas las variables evaluadas sobre los frutos para valorar el efecto de la polinización con y sin abejorros.

Se puede observar que entre los dos tratamientos empleados (exclusión de abejorros mediante bolsa cerrada y polinización espontánea mediada por abejorros) hay diferencias altamente significativas para todas las variables de los frutos y en todos los racimos siempre a favor de las flores visitadas por abejorros. Lo anterior indica el efecto positivo de la polinización mediada por abejorros sobre el fruto resultante en cuanto al peso, diámetro,

número de semillas y porcentaje de lóculos bien desarrollados, indicadores de la calidad final del fruto.

En términos generales se encontró que los frutos provenientes de flores visitadas por abejorros presentaron diferencias altamente significativas con respecto a todos los demás tratamientos, y que ellos a su vez no difirieron significativamente entre sí, demostrándose que hubo un efecto positivo sobre el tomate producido debido a la acción del insecto polinizador.

De esta forma, los frutos con mayor peso, diámetro, semillas y mayor uniformidad se desarrollaron a partir de flores visitadas por *B. atratus* (figuras 5 a 7). El desarrollo del fruto depende de una adecuada fecundación de los óvulos y éstos, su vez, de la cantidad adecuada de granos de polen transferidos al estigma. En casos donde hay baja deposición de polen se producen frutos más pequeños, con pocas semillas y deformes (Fletcher y Gregg, 1907, citados por Free, 1970). Aunque el peso es una característica determinada por varios factores como las condiciones de la planta y los recursos disponibles para la fructificación (Picken, 1984, citado por Morandin *et al.*, 2001), también se debe considerar la polinización como proceso importante (Fletcher y Gregg, 1907, citados por Free, 1970) en la producción, como puede resaltarse de este resultado puesto que los frutos provenían de plantas desarrolladas bajo las mismas condiciones y del mismo estado fenológico.

Los frutos obtenidos a partir de las visitas realizadas por los abejorros presentaron un mayor número de se-

Tabla 4. Valores promedio del peso, el diámetro, número de semillas y proporción de lóculos bien desarrollados para los tratamientos evaluados y los racimos 4 a 11. La letras en el margen derecho muestra los grupos de la prueba ANOVA.

Tratamiento/ Racimo	PESO (g)															
	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
Bolsa cerrada	86,15	EF	106,62	C	105,16	C	91,57	EF	86,96	DEF	68,61	G	71,55	FG	63,06	G
Visita abejorro	137,35	A	122,09	B	121,57	B	97,77	CDE	102,10	CD	95,82	CDE	88,59	CDE	92,94	CDE
DIAMETRO (cm)																
Bolsa cerrada	5,94	DE	6,11	CD	6,00	D	5,81	DE	5,58	EF	5,08	G	5,23	FG	5,01	G
Visita abejorro	6,88	A	6,50	B	6,42	BC	5,99	D	6,05	D	5,86	DE	5,92	DE	5,82	DE
NUMERO SEMILLAS																
Bolsa cerrada	58,04	D	88,23	BC	92,47	B	86,37	BC	94,24	B	67,22	CD	80,31	BC	49,25	D
Visita abejorro	152,09	A	143,48	A	152,86	A	135,80	A	148,66	A	137,50	A	143,12	A	154,55	A
PROPORCION LOCULOS BIEN DESARROLLADOS																
Bolsa cerrada	0,33		0,57	CD	0,57	CD	0,73	BC	0,78	BC	0,54	CD	0,90	B	0,53	CD
Visita abejorro	0,95	A	0,96	A	0,81	A	0,86	A	0,85	A	0,84	A	0,72	A	0,87	A

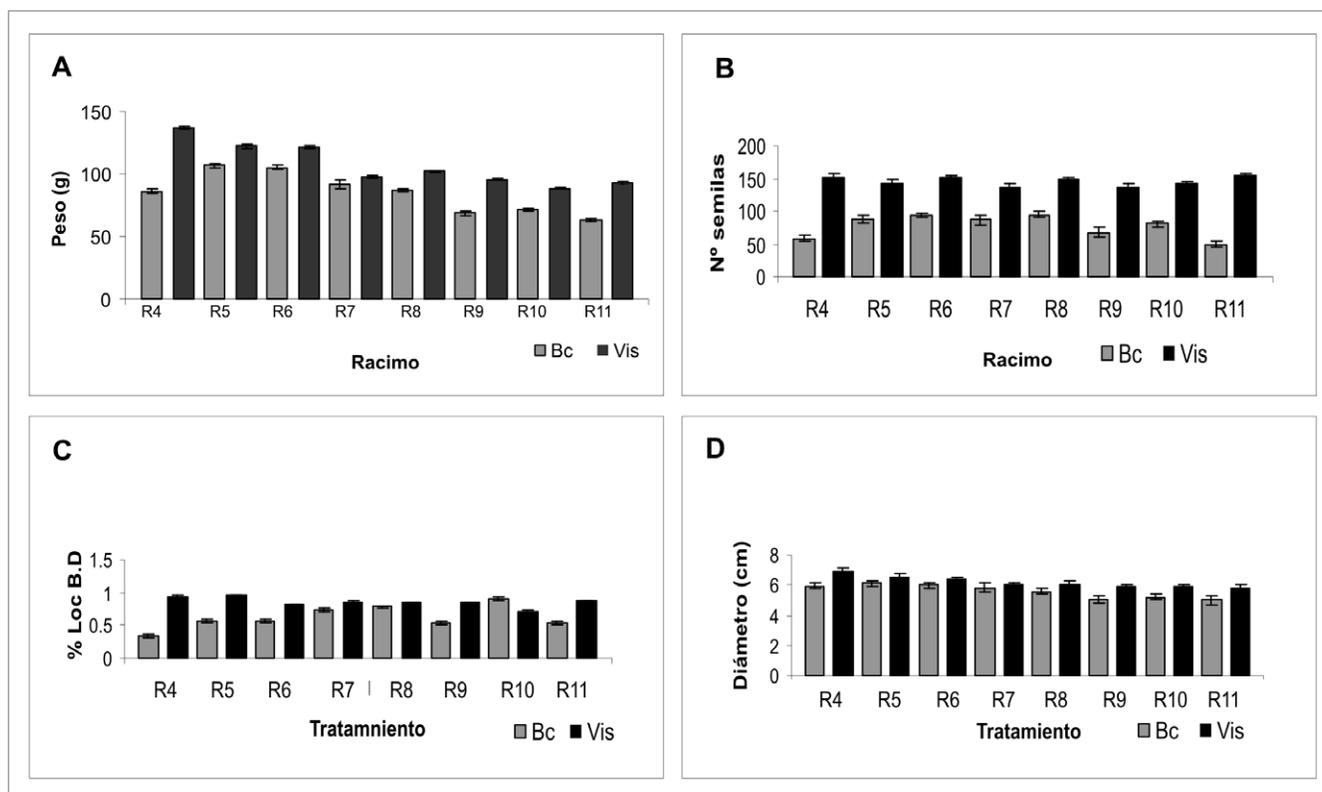


Figura 7. Comparación de medias que muestra el efecto de la polinización con abejas en comparación con la exclusión mediante bolsa cerrada sobre las diferentes variables medidas a los frutos: a) efecto sobre el peso final de los frutos; b) efecto sobre el número de semillas; c) efecto sobre el porcentaje de lóculos bien desarrollados; d) efecto sobre el diámetro. Bc: bolsa cerrada, Vis: polinización espontánea mediada por abejas.

millas respecto de los frutos no polinizados por medio de abejas, siendo este resultado significativo y congruente con otros estudios realizados en tomate (Kevan *et al.*, 1991; Van Ravestijn y Van der Sande, 1991). El número de semillas es un criterio importante a estudiar porque es indicador directo de una buena productividad correlaciona con otras características del fruto como peso, volumen y diámetro (Meisels y Chiasson, 1997) que constituyen criterios importantes de producción y comercialización.

A pesar de que la variedad ‘Durinta’ es multilocular (Western Seed, 2003), el porcentaje de lóculos bien desarrollados muestra un efecto benéfico de la polinización con abejas sobre el desarrollo y la forma del fruto. Los polinizados por abejas, no sólo tuvieron un mayor diámetro, sino que además presentaron formas más regulares y redondeadas como resultado del desarrollo uniforme de más lóculos (figura 8). Esta característica se vio influida por la polinización, ya que la formación de semillas dentro del ovario estimula el desarrollo y crecimiento del fruto (Salisbury y Ross, 1992).

Los anteriores resultados fueron congruentes con lo encontrado por Dogterom *et al.*, (1998), quienes hallaron un aumento en dichas variables en frutos de tomate provenientes de racimos polinizados por *B. vonesenskii*. Así, los aumentos de peso y diámetro también fueron significativamente mayores en los frutos polinizados por abejas como resultado de una mejor polinización, lo que repercute en mejores calidad y comercialización, como plantean Morandin *et al.* (2001).

Tiempo entre polinización y fructificación

No se observaron diferencias entre los dos tipos de bolsas empleadas para la exclusión de abejas en los ensayos de polinización, como se observa en la figura 9. Allí es evidente que las flores visitadas por las abejas cuajaron más rápido (en promedio 1,6 días) que aquellas embolsadas (2,83 días). Morandin *et al.* (2001) reportaron que las flores de tomate no visitadas por *B. impatiens* permanecen sobre las plantas más tiempo (longevidad 50,7% mayor) que aquellas visitadas. No sabemos las implicaciones que este hecho tendría sobre la productividad de la planta.

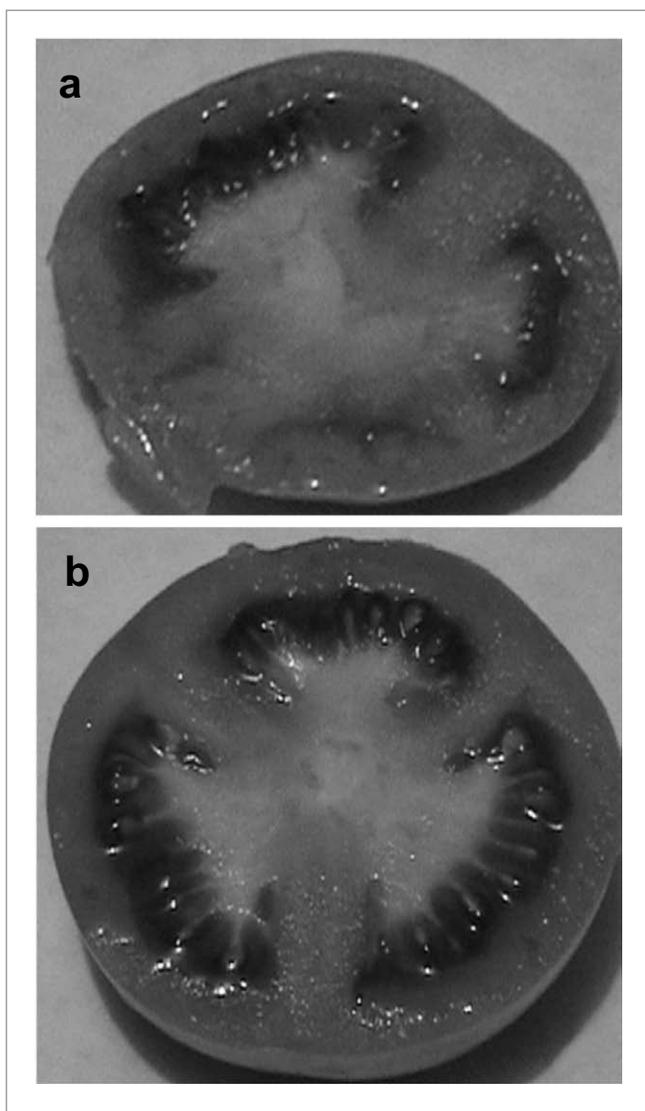


Figura 8. Lóculos de los frutos: a) fruto que muestra un desarrollo poco uniforme de los lóculos; b) fruto con los tres lóculos armónicamente desarrollados.

Marcación de las flores por las abejas

La intensidad de la vibración que efectúan las obreras sobre la flor se puede traducir en una mejor polinización por efecto de una mayor deposición de granos de polen sobre el estigma (Morandin *et al.*, 2001). Muchos agricultores utilizan el marcaje que efectúan las obreras sobre las anteras de las flores para monitorear la actividad polinizadora de los abejorros en sus cultivos (Morandin *et al.*, 2001). Por esta razón, se evaluó el nivel de marcaje que efectúa la obrera durante la vibración de la flor con relación al peso, diámetro del fruto y número de semillas, para determinar si el aumento de estas variables correlaciona positivamente con la actividad forrajera del abejorro.

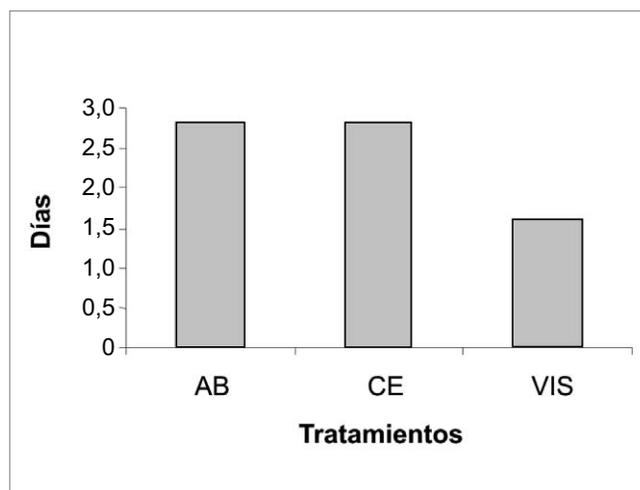


Figura 9. Promedio del tiempo de cuajamiento de los frutos en los diferentes tratamientos empleados. AB: Bolsa abierta (n=200), CE: Bolsa cerrada (n=200), VIS: Polinización espontánea mediada por abejorros (n=129).

Las correlaciones arrojaron relación estrecha entre el nivel de marcaje de las flores visitadas, el peso y el diámetro de los frutos, con probabilidades de 0,45 y 0,35 ($P < 0,05$) respectivamente. En cuanto a la correlación de las variables con el tiempo de visita, la única que la presentó fue el diámetro, con una probabilidad de 0,31 ($P < 0,05$).

Al igual que lo que se ha encontrado en tomate con las visitas que efectúan las obreras de *B. impatiens* (Morandin *et al.*, 2001), si existe una correlación positiva entre el nivel de marcaje, el peso y el diámetro del fruto. Sin embargo, en el presente estudio no se encontró correlación entre el marcaje y el número de semillas. Este es un resultado interesante porque sugiere que no necesariamente un mayor marcaje indica una mayor deposición de granos de polen al estigma. Es posible que la categoría de marcaje más fuerte se origine de un número mayor de vibraciones, lo cual puede ocurrir en el caso en que el abejorro encuentra una cantidad menor de polen extraíble. El tiempo de visita no presentó la misma correlación positiva, puesto que únicamente se correlacionó con el diámetro. Por lo tanto, podría decirse que el tiempo de visita no implica un nivel mayor de polinización porque no se encontró correlación con el número de semillas.

La no correlación del número de semillas con las dos anteriores variables de comportamiento de la obrera, puede resultar interesante en el sentido que, grandes cantidades de polen transferidas al estigma, pueden llegar a afectar el éxito reproductivo, de manera que basta con niveles intermedios de polinización para ob-