

Sistemas de polinización en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) como base para estudios genéticos y de conservación

Pollination systems in sweet granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) as a basis for genetic and conservation studies

Juan Carlos Arias Suárez¹, John Ocampo Pérez^{1,2*} y Ramiro Urrea Gómez³

¹Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. ² Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT/DAPA, Palmira, Colombia. ³ Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales, Colombia. *Autor por correspondencia: jaocampop@unal.edu.co

Rec.: 20.02.2015 Acep.: 17.07.2015

Resumen

Por su agradable sabor y contenido nutricional, la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) es una de las principales especies frutales de la región Andina tropical. A pesar de su importancia, existe poca información relacionada con los sistemas de polinización que permitan determinar la compatibilidad genética en la especie. Por esta razón, en el presente estudio se estableció la efectividad de los polinizadores naturales y el porcentaje de autopolinización para mejoramiento genético de la especie. La investigación se realizó en la granja Tesorito (Manizales, Caldas) a 2340 msnm (17 °C, HR 78%, BS 1215 horas/año y pluviosidad de 1800 mm/año). En cinco tratamientos, se evaluó la efectividad de la polinización natural y asistida en 42 accesiones de granadilla originarias de 10 departamentos colombianos. La fase de antesis inicia a las 3:00 h y finaliza a 5:00 h, siendo más activa durante los últimos 60 minutos (70%). La granadilla alcanzó hasta 34.3% de formación de frutos por autopolinización espontánea, no obstante la intervención de un vector animado (*Xylocopa* spp.) incrementó significativamente la formación de los frutos (70%). La precipitación fue la única variable que presentó una alta correlación en todos los tratamientos de polinización ($r = -0.70$), demostrando un efecto negativo en ellos. El conjunto de resultados sugieren que *P. ligularis* es una especie autofértil, pero el flujo génico y la productividad dependen de los agentes polinizadores. Estos polinizadores deben ser conservados e integrados en los planes de manejo del cultivo, debido a que proporcionan un servicio reproductivo y ecosistémico.

Palabras clave: Abeja carpintera, autocompatibilidad, frutal tropical, relación planta/polinizador.

Abstract

The sweet granadilla (*P. ligularis* Juss.) is one of the main fruit species of tropical Andean region for its pleasant taste and nutritional content. Despite its importance, there is little information related pollination systems for determining genetic compatibility species. For this reason, this study aims to establish the effectiveness of natural pollinators and set the percentage of self-pollination for breeding. The study was carried out in the Tesorito farm (Manizales, Caldas) to 2,340 masl (17°C, RH 78%, BS 1,215 hours/year and rainfall 1,800 mm/year). The effectiveness of natural and assisted pollination was evaluated in 42 accessions of sweet passion fruit coming from 10 Colombian departments by using five treatments. Anthesis begin at 3:00 hours and finish at 5:00 hours, being more active during the last 60 minutes (70%). The sweet passion fruit can reach up 34.3% of set fruit by spontaneous self-pollination; however, the intervention of an animated vector significantly increased the set fruit (70%). The precipitation was the only variable that presented a high correlation in all the pollination treatments ($r = -0.70$), demonstrating its negative effect on them. Together these results suggest that *P. ligularis* is self-fertile specie, but depends on the pollinator agents for the genetic flow and the productivity. Further, natural pollinators should be preserved and integrated into crop management plans because they provide a reproductive service and ecosystem.

Keywords: Carpenter bee, plant/pollinator relationship, self-compatibility, tropical fruit.

Introducción

La granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) es originaria de los Andes tropicales y su adaptación llega hasta el sur de México, entre 1500 y 2600 m.s.n.m. Es la tercera especie de importancia económica del género *Passiflora* L. por su fruto comestible que es comercializado en mercados nacionales e internacionales (Coppens d'Eeckenbrugge Segura, Hodson y Gongora, 2001). Colombia es el principal productor a nivel mundial de granadilla, con 4500 ha cultivadas y una producción aproximada de 55,000 t/año, concentrada en los departamentos del Huila, Cundinamarca y Boyacá (Agronet, 2014). El cultivo es gran generador de empleos rurales (210 jornales/ha por año) y contribuye sustancialmente a la economía campesina, por su constante producción y rentabilidad (Rivera, Miranda, Ávila y Nieto, 2002).

La especie es diploide ($2n = 18$) con flor hermafrodita y polinización cruzada (Rivera *et al.*, 2002). El tipo de polinización es favorecida por la posición de las anteras debajo del estigma y es realizada principalmente por insectos de los géneros *Xylocopa* spp. y *Epicharis* sp., comúnmente conocidos como abejorros (Franco, Alzate, y Peláez, 2007). La granadilla posee varias recompensas para los polinizadores, los cuales son atraídos por los colores vistosos de la flor, aromas fuertes y abundancia de néctar (Franco *et al.*, 2007). Estos agentes polinizadores (*Xylocopa* spp.) construyen sus nidos dentro de los postes de madera que soportan la estructura de conducción de la planta o en troncos de árboles aledaños a los cultivos (González, González, y Cuellar, 2009). Las poblaciones de abejorros dependen principalmente de la abundancia de néctar del estado de conservación de los hábitat alrededor de los cultivos (Calle *et al.* 2010; Arias *et al.*, 2014) y de las condiciones climáticas de cada zona (Da Silva *et al.*, 1999). En adición, el uso excesivo e inadecuado de agroquímicos ha causado una reducción de las poblaciones de este insecto, trayendo como consecuencia la reducción en la producción de frutos (Calle *et al.*, 2010). Bernal *et al.*, (2014) y Ocampo *et al.*, (2015) afirman que la abundancia de polinizadores en los cultivos de granadilla puede incrementar la productividad y la variación genética debido al constante intercambio de polen entre plantas.

En el trópico el 70% de los cultivos dependen de la acción de polinizadores para su producción y son considerados como un servicio reproductivo y ecosistémico (FAO, 2008). De esta manera, la polinización se convierten en una etapa crucial de la reproducción en la mayoría de las plantas con flores, donde los vectores de polen son esenciales para mantener la transferencia de genes, tanto en ecosistemas naturales como agrícolas (Bonilla,

2012). A escala global, se estima que al menos un tercio de los cultivos dependen de los servicios de polinización proporcionada por insectos y otros animales para asegurar su producción en el presente y para el futuro (Calle *et al.*, 2010). Sin embargo, las percepciones de los agricultores acerca de la biología de la polinización y el servicio que estos prestan en los cultivos no es clara ni valorada (Ghazoul, 2007). El valor económico *per-se* del servicio de polinización por insectos no es valorado por los productores cuando dan más importancia a los riesgos que conlleva la producción agrícola y en especial, la protección del cultivo (Mburu *et al.*, 2006; Calle *et al.*, 2010). Hasta hace poco tiempo los agricultores consideraban la polinización como uno de los numerosos 'servicios gratuitos' de la naturaleza, al punto de clasificarla muy pocas veces como un insumo agrícola o como un tema de relevancia que debe ser tenido en cuenta (FAO, 2008).

En la región Andina las investigaciones sobre la polinización en frutales es escasa y en particular, en las especies cultivadas de *Passiflora*. Por otro lado, Rivera *et al.* (2002) establecieron que el máximo porcentaje de receptividad se alcanza entre 2 y 4 horas después de la apertura de la flor. Por el contrario, estudios más recientes han demostrado que la granadilla es una especie autocompatible, en la cual es necesaria la presencia de un insecto polinizador que realice la transferencia de polen a los estigmas de la flor para la formación de los frutos (Franco *et al.*, 2007). No obstante, el tamaño de las muestras de las investigaciones anteriores no permitió determinar con claridad el grado de autofertilidad de la granadilla y el papel de los vectores animados en el proceso de polinización. Por otro lado, para definir las estrategias de mejoramiento genético es esencial el conocimiento de la biología reproductiva en la especie y principalmente el grado de autocompatibilidad. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron establecer la efectividad de los polinizadores naturales para que los productores adopten el concepto de servicio de polinización y determinar el porcentaje de autopolinización para estudios genéticos en granadilla.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en la granja Tesorito, localizada en el municipio de Manizales (Caldas-Colombia) a 2340 m.s.n.m. (5° 01' 49"N, 75° 26' 13" O). La temperatura media es de 17 °C, precipitación promedio anual de 1800 mm, humedad relativa de 78% y brillo solar de 1215 horas/luz por año (estación meteorológica, granja Tesorito, Universidad de Caldas). Los principales

cultivos o sistemas agrícolas presentes en el área de estudio son tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), curuba India (*Passiflora tarminiana* Coppens & Barney), gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims), sistemas forestales comerciales y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.).

Material vegetal

El estudio se realizó entre agosto de 2010 y febrero de 2012 y en él se incluyeron 42 accesiones de la colección nacional de granadilla (*P. ligularis*) provenientes de 10 departamentos colombianos de la región Andina. De cada accesión se sembraron cinco plantas, distanciadas 4 m x 4 m, bajo el sistema de tutorado en emparrado.

Observación de la apertura floral

Previamente a la antesis, entre las 16:00 y las 18:00 horas se marcaron al azar un total de 50 botones florales en 25 plantas de las diferentes accesiones. Posteriormente, se realizaron observaciones continuas a cada botón floral marcado en intervalos de 1 hora, a partir de las 00:00 h hasta que el 100% de las flores estuvieran abiertas (antesis). Durante cada hora se registró el número de las flores abiertas y la hora en la cual ocurría el evento.

Tratamientos de polinización

Los tratamientos de polinización natural, autopolinización asistida y manual dirigida (Figura 1) fueron realizados en diferentes épocas de floración. En cada tratamiento se evaluó el efecto de estos tratamientos en la producción de frutos, siguiendo la metodología empleada en otras pa-

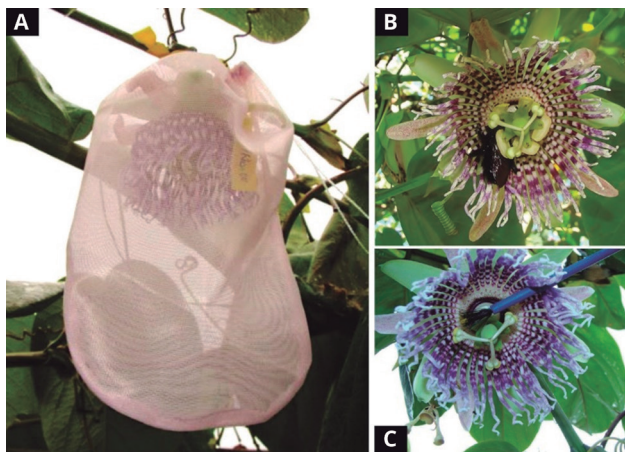


Figura 1. Tipos de tratamientos de polinización utilizados en Granadilla. **A.** Autopolinización espontánea (A.P.E.), **B.** Polinización natural por *Xylocopa* sp. (P.N.) y **C.** Polinización cruzada manual (P.C.M.).

Fotos: John Ocampo.

sifloras (Rendón, Ocampo y Urrea, 2013; Arias *et al.*, 2014), de la forma siguiente: (1) Tratamiento 1 (T1), autopolinización espontánea (A.P.E.), consistente en marcar y embolsar con una muselina de 10 x 20 cm los botones florales, evitando la visita de los agentes polinizadores. De esta forma la flor se autofecundó naturalmente (Figura 1a). (2) Tratamiento 2 (T2), autopolinización (A.P.), en este tratamiento se marcaron y embolsaron botones florales que fueron emasculados y polinizados manualmente con la ayuda de un pincel utilizando polen de la misma flor y luego fueron embolsados nuevamente. (3) Tratamiento 3 (T3), polinización natural (P.N.) en él se marcaron las flores en pre-antesis y se dejaron expuestas a la acción de los polinizadores (Figura 1b). (4) Tratamiento 4 (T4) Geitonogamia consistió en marcar y embolsar botones florales, los cuales fueron emasculados y polinizados manualmente con la ayuda de un pincel, utilizando polen de otra flor de la misma planta y embolsados nuevamente. (5) Tratamiento 5 (T5), polinización cruzada manual (P.C.M.) consistió en marcar y embolsar botones florales, los cuales en el momento de la apertura fueron emasculados y polinizados manualmente con polen proveniente de flores de otras plantas, una vez realizada la polinización la flor se embolsó nuevamente (Figura 1c).

En los tratamientos 2, 4 y 5 donde se realizó polinización manual, el polen transferido se distribuyó uniformemente en cada uno de los estigmas de la flor con la ayuda de un pincel. Quince días después de realizado el procedimiento, en cada tratamiento se verificó y registró el éxito de la polinización obteniendo, de esta forma, el porcentaje de fertilidad. En total se tuvieron cuatro repeticiones en el tiempo y 25 botones por unidad para cada uno de los tratamientos.

Análisis de datos

La información generada de los cinco tratamientos fue tabulada y analizada con el programa estadístico SAS v9. empleando el método univariado con la estadística descriptiva (promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y correlación de Pearson). Adicionalmente, se realizó una prueba de comparación entre promedios de Duncan ($P \leq 0.05$). En forma adicional los datos fueron relacionados con las variables climáticas de precipitación (mm), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), radiación solar (h/día) y humedad relativa (HR), registradas durante el desarrollo del estudio.

Muestreo e identificación de especímenes

Los agentes polinizadores fueron muestreados en diferentes épocas directamente en las flores de *P. ligularis*, con la ayuda de una malla entomológica.

Para la identificación con las claves taxonómicas según de González *et al.* (2009) los especímenes fueron montados con alfileres entomológicos y fotografiados.

Resultados y discusión

Biología floral

La flor de la granadilla (*P. ligularis*) exhibe características que promueven o demandan la alo-gamia, como el tamaño de la flor, corona vistosa de color púrpura claro y néctar fragante. Tales características están adaptadas a las necesidades de polinizadores especializados, con capacidad de realizar la transferencia de polen. Esta es la resultante de la interacción mutualista entre la necesidad de la planta para movilizar su polen hasta los estigmas y por el polinizador para encontrar una fuente de alimento (Bonilla, 2012). Las primeras observaciones mostraron que la flor de granadilla inicia el proceso de la antesis entre las 03:00 y 05:00 horas, en ausencia de la luz solar. El mayor porcentaje de apertura floral ocurrió durante los últimos 60 minutos (04:00 a 05:00 horas) donde se registró el 70% de las flores en antesis (Figura 2). Rivera *et al.* (2002) indican que el máximo porcentaje de receptividad estigmática en la especie se alcanza entre 2 y 4 horas después de la antesis. Por otro lado, Ángel-Coca, Nates, Ospina, Melo y Amaya (2011) observaron que en *P. edulis* f. *edulis* la máxima receptividad de la flor coincidió con la mayor tasa de concentración de néctar y azúcar. Este comportamiento en la biología reproductiva de las especies permite un lapso de tiempo adecuado para la sincronización entre el inicio de la actividad del polinizador natural y la receptividad de la flor. Estudios realizados por Scorza y Dornelas (2014) demuestran que algunas especies de *Passiflora* presentan características florales asociadas a polinizadores específicos para asegurar la reproducción.

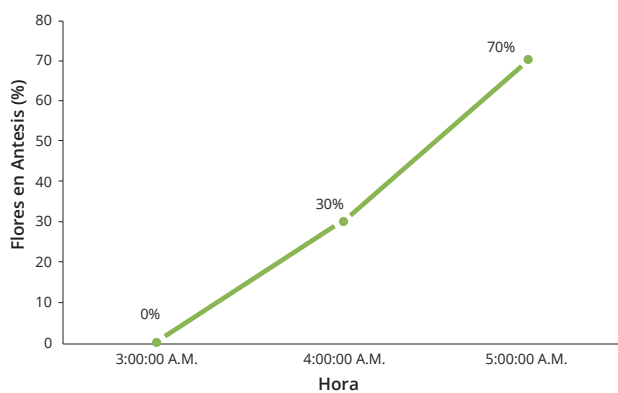


Figura 2. Apertura de la flor (antesis) en la granadilla (*P. ligularis*), granja Tesorito (2.340 msnm), Manzales, Colombia.

En el presente estudio se observó que la duración de la flor en antesis puede alcanzar 36 horas, periodo de tiempo que depende de las condiciones ambientales de cada zona donde los cultivos se encuentren establecidos. Estos resultados son de gran importancia para la planificación de labores culturales, en especial aquellas relacionadas con la protección del cultivo, por tanto éstas no se deberán realizar en las primeras horas de la mañana cuando ocurre la mayor actividad de los polinizadores.

Insectos polinizadores

En el momento de la polinización fueron capturados un total de 14 individuos de insectos polinizadores en la flor de la granadilla. Los individuos una vez montados y fotografiados fueron determinados con la ayuda de las claves taxonómicas de González *et al.* (2009) como pertenecientes al género *Xylocopa* spp. En contraste, Franco *et al.* (2007) reportan que los principales insectos polinizadores de la granadilla en el municipio de Guarne (Antioquia, Colombia) pertenecen a varios géneros (*Xylocopa* spp., *Anthophorula* spp. y *Bombus* spp.). Por otro lado, *Apis mellifera* L. fue observada con una alta actividad en el área de estudio y visitando las flores de granadilla; no obstante esta abeja no contribuye con el proceso de polinización por el tamaño de su cuerpo y por el contrario, disminuye el contenido de polen en las anteras.

Sistemas de polinización

Los frutos formados resultantes en los diferentes tratamientos de polinización se incluyen en la Figura 3 y Tabla 1. Se observa un alto grado de autofertilidad en la especie, la cual alcanzó hasta 34.3% de formación de frutos por autopolinización espontánea (A.P.E). No obstante, bajo este tratamiento el cuajamiento de frutos fue inferior a los demás ($P \leq 0.05$). De igual manera, no se presentaron diferencias entre los demás tratamientos en los cuales se hizo la transferencia manual de polen y en aquellos donde ocurrió la intervención de los vectores naturales (Tabla 1). Este hecho es contrastante con lo indicado en estudios relacionados, en los cuales la especie se describe como autoincompatible. Los resultados mostraron que, aun cuando la granadilla puede formar frutos sin la intervención de un vector animado, la sola presencia de insectos polinizadores o la práctica de polinización manual pueden incrementar entre 52.5 y 70.3% la producción de frutos. El alto porcentaje de cuajamiento de frutos (59%) obtenido en el tratamiento de polinización natural (P.N.) contrasta con los hallazgos de Franco *et al.* (2007) quienes encontraron 10% de cuajamiento; lo que sugiere que los abejorros del género *Xylocopa* spp. son más eficientes en

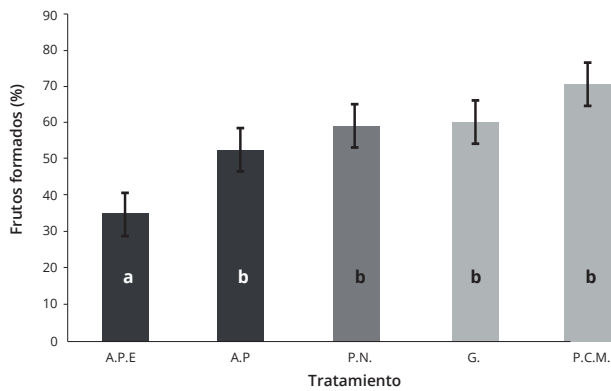


Figura 3. Formación de frutos (cuajamiento) bajo condiciones de campo en granadilla ($n=100$). A.P.E: autopolinización espontánea, A.P: autopolinización manual, P.N. polinización natural, G: geitonogamia, P.C.M: polinización cruzada manual. Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

Tabla 1. Valores obtenidos en la formación de frutos de los diferentes tratamientos en granadilla.

Tratamiento	Mínimo (%)	Máximo (%)	Promedio (%)	D. E.	C.V. (%)
Autopolinización espontánea (A.P.E)	11	52	34.3	10.8	31.8 a*
Autopolinización (A.P)	40	69	52.5	12.9	24.5 b
Polinización natural (P.N)	32	70	59.0	13.8	23.4 b
Geitonogamia (G)	50	71	60.0	8.7	14.7 b
Polinización cruzada manual (P.C.M)	65	73	70.3	3.8	5.4 b

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $P \leq 0.05$).

la zona agroecológica donde se realizó la presente investigación. Estos investigadores también encontraron que el tiempo promedio de permanencia del insecto polinizador (*Xylocopa* spp.) en la flor de granadilla es de 31.48 segundos, lo que permite alcanzar hasta 40% de formación de frutos. No obstante indican que la eficiencia en la polinización depende de factores como la localización de la plantación, influencia de cultivos aledaños, la aplicación de agroquímicos y la presencia de otros insectos como *Apis mellifera*, por su hábito de robo de polen.

Por otro lado, los resultados sugieren que *P. ligularis* es autofértil con una tendencia a la alogamia y puede llegar a formar frutos sin la intervención de un agente animado. Este comportamiento reproductivo también fue encontrado para *P. edulis* f. *edulis* (gulupa) por Ángel-Coca *et al.* (2011) y Rendón *et al.* (2013), pero con un mayor porcentaje de autofertilidad. El conocimiento de la biología reproductiva tiene una gran importancia práctica en la agricultura, ya que permite estimar resultados de cosecha, dirigir cruzamientos intraespecíficos e implementar

prácticas de manejo orientadas a la conservación de los polinizadores.

Los coeficientes de variación (C.V.) de los diferentes tratamientos alcanzaron valores entre 5.4 y 31.8% (Tabla 1). La polinización cruzada manual (P.C.M.) y la geitonogamia (G) autopolinización fueron los menos variables (5.4 y 14.7%), mientras que en los demás tratamientos los valores fueron mayores que 23%. Estos resultados son contrastantes con lo reportado en *P. edulis* f. *edulis* (gulupa), ya que la polinización natural (P.N.) fue extremadamente variable, con 64.4% de coeficiente de variación (Rendón *et al.*, 2013). En *P. edulis* f. *flavicarpa* (maracuyá) este mismo tratamiento (P.N.) presentó solo el 11.3% de variación, con un comportamiento muy anormal en la autopolinización manual (A.P.) con 149% de variabilidad (Arias, Ocampo y Urrea 2014). Las diferencias entre las especies de granadilla, maracuyá y gulupa se basan en los grados de autofertilidad, la abundancia de polinizadores, las condiciones agroecológicas y las prácticas culturales en cada zona productora.

La precipitación, entre las variables climáticas, presentó el mayor efecto entre los tratamientos de polinización. El análisis mostró una correlación negativa de ésta con los tratamientos de P.N. ($r = -0.87$), A.P.E ($r = -0.47$), P.C.M ($r = -0.78$), A.P.M ($r = -0.67$), mientras fue positiva con el tratamiento de geitonogamia ($r = 0.86$). En este mismo sentido, la polinización natural fue el único tratamiento que fue afectado ($P < 0.05$) por otras variables climáticas como la temperatura ($r = -0.78$). Esto indica que en la mayoría de los tratamientos las condiciones climáticas, en especial la precipitación, presentó un comportamiento directamente proporcional con la formación de los frutos. La receptividad estigmática y la viabilidad del polen pueden estar directamente relacionadas con valores máximos de estas variables climáticas registradas en este estudio. Las observaciones indican que tanto el aumento en la precipitación, como la temperatura tienen una consecuencia negativa en la actividad de los agentes polinizadores y en la formación de los frutos. Este efecto puede ser atribuido a dos fenómenos: la reducción en la actividad antes y durante la antesis (+/- entre las 06:00 y las 17:00 horas) de los vectores de polen, o a la receptividad estigmática y viabilidad del polen.

Un factor que influye en la polinización natural se relaciona directamente con las condiciones climáticas. Estos investigadores observaron que en *P. edulis* f. *flavicarpa* (maracuyá) el porcentaje de formación de los frutos durante los días nublados fue, en promedio, de 25%, mientras que se alcanza hasta 94% en días soleados. Además, los factores climáticos también pueden tener influencia negativa en la germinación del polen durante

el proceso de fertilización. En la presente investigación, la presencia de una elevada precipitación presentó una correlación negativa en la formación de los frutos en la mayoría de tratamientos, lo que evidencia su efecto notorio en la interacción planta-polinizador. En relación con lo anterior, Hegland Nielsen, Lazaro, Bjerknæs y Totland (2009), indican que las condiciones ambientales tienen un efecto evidente en esta interacción, debido a que la fenología de la planta (floración) puede ser alterada por los cambios climáticos extremos e intervenir en el acople temporal entre el insecto polinizador y la flor. De igual manera, Medina-Gutiérrez, Ospina-Torres y Nates-Parra (2012) hallaron un efecto significativo de la altitud en la composición y el número de visitantes florales en *P. edulis* f. *edulis*.

Los polinizadores naturales proporcionan un servicio ambiental esencial para los ecosistemas naturales y para los agroecosistemas. En el caso de la granadilla estos cumplen un papel ecológico, tanto desde el punto de vista productivo como en el mantenimiento de la diversidad genética. Estos componentes deben ser integrados a los planes de manejo del cultivo, donde la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) contribuya en su conservación, debido a que la producción de los frutos y su calidad dependen de ellos. Adicionalmente, los agricultores y comunidades deben adoptar medidas para conservar y fortalecer los lazos entre los diferentes aspectos de la agrobiodiversidad y contribuir a la estabilidad a largo plazo de cara al cambio climático inminente (Kjohl, Nielsen, y Stenseth, 2011). Así mismo, los resultados de los tratamientos de polinización asistida deben ser considerados en la estructuración de un programa de mejoramiento genético en granadilla para el direccionamiento efectivo de los cruzamientos. El grado de autocompatibilidad presente en la especie puede contribuir en la selección de genotipos superiores que porten genes de interés agronómico para la obtención de cultivares que permitan enfrentar los problemas limitantes del cultivo y aumentar el rendimiento en kilogramos por planta. Otra alternativa, es la exploración de la hibridación interespecífica entre la granadilla y las especies andinas de su acervo genético primario como *P. tiliifolia* L., *P. magnifica* L.K. Escobar, *P. platyloba* Killip, *P. seemannii* Griseb o *P. fieldiana* S. Tillett, las cuales poseen fruto comestible y no han sido tenidas en cuenta para el mejoramiento.

Conclusiones

La autopolinización espontánea (A.P.E) presentó el menor porcentaje de los frutos formados (34%), confirmando que la granadilla es una planta autofértil, con tendencia a la alogamia.

No se encontró diferencia significativa entre la polinización natural (P.N), realizada por abejorros de *Xylocopa* spp. y los tratamientos con polinización manual asistida (A.P., G. y P.C.M).

Se confirma que los polinizadores naturales proporcionan un servicio reproductivo esencial, que permite la producción de frutos y el mantenimiento de la diversidad genética en los cultivos de granadilla, lo que justifica la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para la conservación de estos organismos.

El fenómeno de autofertilidad en la granadilla es fundamental para la producción de cultivares en los programas de mejoramiento genético, debido a la capacidad de la autofecundación para producción de individuos con alto grado de homocigosis.

Los tratamientos de polinización manual asistida pueden ser adoptados cuando las poblaciones de agentes polinizadores sean bajas, como una práctica complementaria para mantener la producción de frutos.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por la financiación del proyecto 74-2008L6772-3447. Especial gratitud al ingeniero Sebastián Rendón por el apoyo en la recolección de información.

Referencias

- Agronet. (2014). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, Análisis - Estadísticas, Granadilla. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co>
- Ángel-Coca, C., Nates, G., Ospina, R., Melo, C.D., y Amaya, M. (2011). Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. *Caldasia*, 33(2), 433 - 451.
- Arias-Suárez, J.C., Ocampo, J., y Urrea, R. (2014). La polinización natural en el maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como un servicio reproductivo y ecosistémico. *Rev. Agron. Meso.*, 25(1), 73-83. Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v25i1.14200>
- Bernal, N., Ocampo, J., y Hernández, J. (2014). Caracterización y análisis de la variabilidad genética de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en Colombia empleando marcadores microsatélites. *Rev. Bras. Frut.* 36(3), 598-611. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-251/13>
- Bonilla, M.A. (2012). La polinización como servicio ecosistémico. En: Iniciativa colombiana de polinizadores ICPA (eds.). Abejas. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Cap. 1. p. 1-103.
- Calle, Z., Guariguata, M.R., Giraldo, E., y Chará, J. (2010). La producción de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Colombia: perspectivas para la conservación

- del hábitat a través del servicio de polinización. *Interciencia*, 35(3), 207 - 212.
- Coppens d'Eeckenbrugge, G., Segura, S. D., Hodson, E., y Gongora, G. A. (2001). *Passion Fruits*. En: Charrier, A.; Jacqout, M. y Hamon, S. (eds.). *Tropical Plant Breeding*. Montpellier, France. Cap. 17. p. 381-401. France.
- Da Silva, M., Bruckner, C., Picanço, M., y Molina, A. (1999). Número floral, clima, densidad poblacional de *Xylocopa* spp. (Hymenoptera: Anthophoridae) y polinización del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Rev. Biol. Trop.*, 47(4), 7 - 10.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2008). Economic valuation of pollination services. En: FAO (ed.). *Pollination services for sustainable Agriculture*. Rome. Cap. 2. p. 19-30.
- Franco, Y., Alzate, F.; y Peláez, J. M. (2007). Factores ambientales incidentes en la población de *Xylocopa* y su efecto en el cultivo de granadilla en tres veredas del municipio de Guarne (Colombia). *Rev. Univ. Católica Orien.*, 24, 73-88. Doi: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a03>
- Ghazoul, J. (2007). Challenges to the uptake of the ecosystem service rationale for conservation. *Cons. Biol.* 21, 1651-1652. Doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00758.x
- González, V. H.; González, M. M.; y Cuellar, Y. (2009). Notas biológicas y taxonómicas sobre los abejorros del maracuyá del género *Xylocopa* (Hymenoptera: Apidae, Xylocopini) en Colombia. *Acta Biol. Col.*, 14, 31-40.
- Hegland, S. J., Nielsen, A., Lazaro, A., Bjerknes, A. L., y Totland, O. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology Letters* 12, 184-195. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x
- Kjohl, M., Nielsen, A., y Stenseth, C. (2011). *Potential effects of climate change on crop pollination*. 38 p. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Doi:10.1007/s10661-014-3758-x
- Mburu, J., Gerard, L., Gemmilland, B., y Collette, L. (2006). *Tools for Conservation and Use of Pollination Services. Economic Valuation of Pollination Services: Review of Methods*. 43 p. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO.
- Medina-Gutiérrez, J., Ospina-Torres, R., y Nates-Parrá, G. (1ª. eEd.) (2012). Efectos de la variación altitudinal sobre la polinización en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*). *Acta Biol. Col.* 7(2), 379 - 394.
- Rendón, J. S., Ocampo, J., y Urrea, R. (2013). Estudio sobre polinización y bioogía floral en *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims como base para el premejoramiento genético. *Acta Agronómica*, 62(3), 232-241.
- Rivera, B., Miranda, D., Ávila, L. A., y Nieto, A.M. (2002). *Manejo integral del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.)*. 130 p. Manizales Colombia: Ed. Litoas.
- Scorza, L. C., y Dornelas, M. C. (2014). Rapid touch-stimulated movement in the androgynophore of *Passiflora* flowers (subgen. *Decaloba*; Sect. *Xerogona*): An Adaptation to enhance cross-pollination?. *Plant Signal. Behav.* 9: e27932. Doi: 10.4161/psb.27932