

Estudio sobre polinización y biología floral en *Passiflora edulis f. edulis* Sims, como base para el premejoramiento genético

Study of pollination and floral biology of *Passiflora edulis f. edulis* Sims as a basis for pre-breeding

Juan Sebastián Rendón¹, John Ocampo^{2*}, Ramiro Urrea³

¹Ingeniero Agrónomo, Universidad de Caldas/Agrojar, Jardín, Antioquia, Colombia

²Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D., Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira/Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT / DAPA, Colombia.

³Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Colombia.

*Autor para correspondencia: jaocampop@unal.edu.co

Rec.:17.08.12 Acep.:22.10.13

Resumen

La gulupa es la segunda especie en importancia económica del género *Passiflora* L., ya que se comercializa como fruta fresca y procesada en todos los continentes. El objetivo de esta investigación fue estudiar los mecanismos de polinización natural y asistida para comprender el sistema reproductivo de la gulupa, con el fin de implementar estrategias de premejoramiento genético y de conservación. Un total de 32 accesiones de 10 departamentos colombianos fueron evaluadas bajo cinco tratamientos de polinización natural y asistida en Manizales, Caldas, a 2340 m.s.n.m. Los resultados mostraron que 80% de la antesis en la gulupa ocurre entre 6:00 y 8:00 a.m., predominando las flores que poseen el estilo totalmente curvo (66.4%). Los mayores porcentajes de frutos formados se presentaron en los tratamientos de autopolinización manual y geitonogamia (82 y 86%), seguidos por la polinización cruzada (68%) con diferencias significativas (Duncan, $P < 0.05$). La alta precipitación durante la fase de antesis (≥ 9 mm/día) tuvo un impacto negativo sobre la polinización y la actividad de los agentes polinizadores. Los frutos de flores polinizadas manualmente y en forma natural presentaron un promedio de 151 a 157 semillas, sin diferencias significativas. Los resultados mostraron que la gulupa es una especie autofértil, que depende de los insectos polinizadores para el flujo génico y la productividad. La capacidad de autocompatibilidad de la gulupa (28 a 86%) permite a los productores conservar la calidad genética de las plantas élite o su uso en programas de mejoramiento genético para la obtención de cultivares de mayor rusticidad y productividad.

Palabras clave: Autocompatibilidad, gulupa, *Passiflora*, polinización, producción de fruto, semilla

Abstract

The purple passion fruit is the second economically most important species of the genus *Passiflora* L. as it is marketed as fresh and processed fruit in all continents. The objective of this research was to study the mechanism of natural and assisted pollination to understand gulupa reproductive system that enables the implementation of pre-breeding and conservation strategies. A total of 32 accessions from 10 Colombian departments under five pollination treatments (natural and assisted) were evaluated in Manizales, Caldas at 2,340 m.a.s.l. Results show that 80% of the anthesis in purple passion fruit occurred between 6:00 and 8:00 hours, prevailing flowers with fully curved style (66.4%). The

highest percentage of fruit formation was found in manual self-pollination and geitonogamy treatments (82 and 86%), and followed by cross-pollination (68%) with significant differences (Duncan, $P < 0.05$). High precipitation during the anthesis phase (≥ 9 mm/day) generated a negative impact on pollination and on the activity of pollination agents. Fruit from manually and natural pollinated flowers showed an average of 151 to 157 seeds with no significant differences. The results show that the purple passion fruit is an autofertile species that depends on pollinator insects for genetic flow and productivity. The capacity of autocompatibility of the purple passion fruit (28 to 86%) permits producers conserve the genetic quality of elite plants or their use in genetic breeding programs to obtain greater cultivar robusticity and productivity.

Key words: Fruit production, *Passiflora*, pollination, purple passionfruit, self-compatibility

Introducción

La gulupa o curuba redonda (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) es una de las principales especies del género *Passiflora* L. por su alto potencial económico en los mercados nacionales e internacionales (Ocampo y Wyckhuys, 2012). Esta especie es originaria del sur de Brasil, Paraguay y el norte de Argentina, y ha sido introducida en los cinco continentes como planta ornamental y en cultivo comercial. El fruto es una baya de forma esférica u ovoide de color púrpura oscuro cuando está maduro y en su interior amarillo casi anaranjado con agradable aroma, rico en azúcares, vitaminas (A, B12, B3 y C) y minerales (Sims, 1818). La flor de la gulupa es solitaria, hermafrodita, pentámera, provista de cinco pétalos y sépalos de color blanco y corona compuesta de dos series exteriores de color blanco y púrpura hacia la base (Sims, 1818). La polinización es realizada principalmente por los abejorros del género *Xylocopa* spp., los cuales son atraídos por el dulce del néctar, donde son impregnados por el polen pegajoso de las anteras (Nishida, 1963; Ángel *et al.*, 2011; Nates *et al.*, 2012).

En Colombia la gulupa se encuentra en las zonas de ladera por encima de 1500 m.s.n.m. en forma renaturalizada o silvestre y adoptada en huertos caseros por los campesinos. Por otro lado, su cultivo es relativamente nuevo para Colombia y en los últimos años ha tenido una creciente demanda en los mercados internacionales, ocupando el tercer lugar después del banano y la uchuva en el renglón de las frutas exportadas hacia el mercado europeo. En Colombia aún no hay reportes de cultivares y los agricultores obtienen las semillas de los mejores frutos de

cada cosecha o de plántulas provenientes de viveros comerciales sin garantía de calidad genética.

En el género *Passiflora* L. existen varios estudios sobre la biología floral, con énfasis en los mecanismos de polinización por diferentes agentes como insectos, aves y mamíferos (Kishore *et al.*, 2010). En la especie *P. mooreana*, Amela y Hoc (1998a) identificaron tres fases florales y determinaron que la anthesis dura 24 h, dependiendo de las condiciones climáticas. Los mismos autores (Amela y Hoc, 1998b) también encontraron que *P. foetida* L. puede producir frutos por autogamia inducida y polinización libre, e indican que la especie es autógama facultativa. En una investigación sobre biología floral en *P. cincinnata* Mast, Aponte y Jáuregui (2004), establecieron que el 75% de la formación de frutos depende de los mecanismos de polinización cruzada por insectos (*Xylocopa* spp.). En otro estudio en *P. edulis* f. *edulis*, *P. quadrangularis* L., *P. foetida* L. y *P. edulis* f. *flavicarpa*, Degener menciona que el mayor número de frutos formados (cuajados) ocurre cuando los estilos de la flor (gineceo) están completamente curvos, lo que permite una mayor receptividad del polen (Kishore *et al.*, 2010). En maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa*) pruebas de viabilidad de polen mostraron que éste puede mantenerse viable hasta 24 h después de la anthesis, con porcentajes entre el 50% y 75% (Souza *et al.*, 2004). Por otro lado, el éxito y la capacidad de reproducción de este tipo de plantas están relacionados directamente con la hora de apertura floral y el tiempo que permanece abierta, que dependen de las condiciones ambientales de cada zona. En algunas especies de *Passiflora* la apertura

ocurre con la aparición de la luz solar, como en *P. foetida* (Amela y Hoc, 1998b), *P. edulis* f. *edulis* (Ángel *et al.*, 2011). Sin embargo, en otras especies como *P. edulis* f. *flavicarpa* (maracuyá) la antesis se inicia después de las 12:00 horas en la mayoría de las zonas de producción (Souza *et al.*, 2004).

En Colombia, la información sobre estudios de polinización y sistemas de reproducción en *Passiflora* son escasos. Un primer estudio realizado por Ángel *et al.* (2011) en cultivos comerciales localizados en Buenavista (Boyacá) estableció que la gulupa es una especie autoincompatible que necesita de los agentes polinizadores para producir cosecha, ya que solo el 33% de los frutos se forman sin el acceso de estos. Por otro lado, en un estudio publicado por Medina-Gutiérrez *et al.* (2012) se encontró que las diferencias en altitud (1657 y 2225 m.s.n.m.) en dos cultivos de gulupa establecidos en Boyacá (Colombia) afectaron la composición, el número de visitantes y los polinizadores. El conocimiento de la biología reproductiva tiene importancia práctica en la agricultura, ya que permite dirigir patrones de cruzamiento interespecíficos y desarrollar prácticas de manejo orientadas a favorecer la especie vegetal y sus polinizadores (Sage *et al.*, 2005).

El objetivo de esta investigación fue estudiar los mecanismos de polinización natural y asistida para comprender el sistema reproductivo de la gulupa, que permita la implementación de estrategias para el mejoramiento genético y la conservación de genotipos superiores.

Materiales y métodos

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

Material vegetal. El estudio fue realizado con plantas de 32 accesiones de gulupa de 15 meses de edad (Cuadro 1) provenientes de 10 departamentos colombianos y evaluadas entre julio de 2010 y septiembre de 2011.

Cada accesión estaba compuesta por cinco plantas, establecidas a una distancia de 4 m entre surcos x 3 m entre plantas manejadas con prácticas agronómicas, que incluyeron fertilización edáfica mensual (NKP), riego natural por precipitación, podas de formación y sanitarias, siguiendo las recomendaciones de Ocampo y Wyckhuys (2012).

Cuadro 1. Accesiones evaluadas en el estudio de la Colección Nacional de Gulupa *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, Colombia.

Departamento	Código	No. accesiones
Boyacá	BoyEdu	6
Antioquia	AntEdu	4
Caldas	CalEdu	2
Cundinamarca	CunEdu	7
Huila	HuiEdu	4
Quindío	QuiEdu	2
Tolima	TolEdu	3
Putumayo	PutEdu	1
Valle del Cauca	ValEdu	1
Risaralda	RisEdu	2
Total	-	32

Estudios florales

Biología floral. La hora de la antesis se determinó con la marcación de 25 botones florales en fase de pre-antesis de forma aleatoria en las diferentes accesiones a partir de las 0:00 h, seguido cada hora hasta las 12:00 h del conteo del número de flores abiertas. El tipo de flor en relación con la curvatura del estilo (sin curvatura, parcialmente curvo y totalmente curvo) fue establecido marcando 20 flores por cada accesión (dos plantas) y contabilizando la frecuencia de cada tipo presente en la flor (Foto 1).

Polinización. El conocimiento de los aspectos de biología reproductiva en la gulupa se realizó mediante la polinización natural y controlada, evaluando el efecto de los diferentes tratamientos sobre la producción de frutos y semillas, siguiendo las metodologías de Ángel *et al.* (2011) y Medina-Gutiérrez *et al.* (2012). Estos experimentos se llevaron a cabo marcando y embolsando 25 botones (fase de pre-antesis) cada semana en tres plantas por accesión durante un mes y con tres repeticiones en el tiempo (periodos), para un total de 300 flores por accesión; los tratamientos de polinización fueron los siguientes: (1) Autopolinización (AP). Para

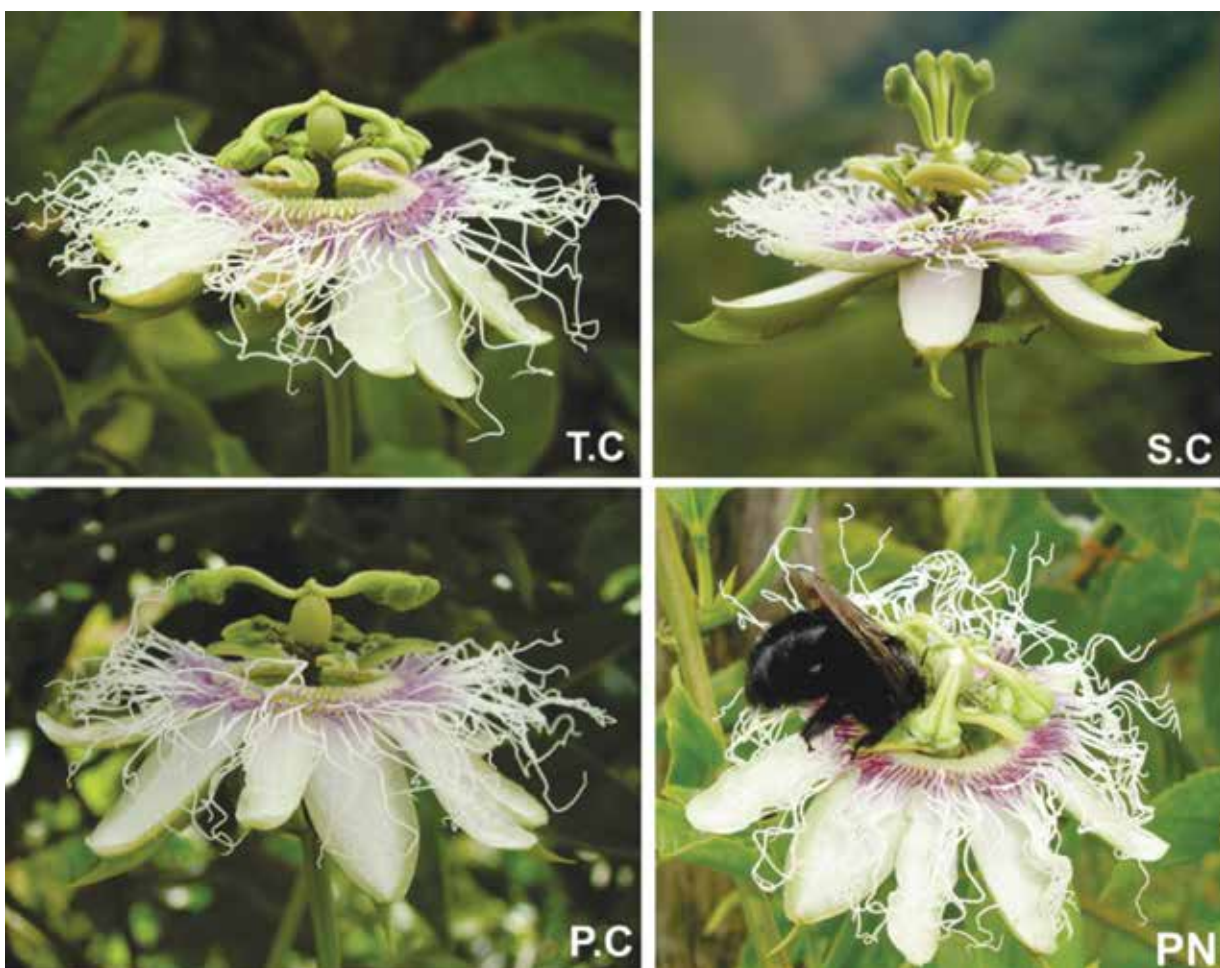


Foto 1. Tipos de flor en gulupa, *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, de acuerdo con la posición de los estigmas (T.C. = curvo, S.C. = sin curvatura y P.C. = parcialmente curvo) y abejorro polinizador del género *Xylocopa* spp.

la autopolinización natural, los botones florales fueron marcados y protegidos con bolsas de muselina de 10 x 20; (2) Polinización natural (PN). Para este método se marcaron flores en fase de antesis y se dejaron expuestas a los polinizadores naturales; (3) Autopolinización manual (APM). En este método, las flores en fase de pre-antesis fueron marcadas y cubiertas con bolsas y polinizadas cuando abrieron con la ayuda de un pincel, antes de cubrirlas nuevamente; (4) Geitonogamia (G). Las flores en fases de pre-antesis fueron marcadas y embolsadas; cuando abrieron fueron emasculadas y polinizadas manualmente con polen de otra flor perteneciente a la misma planta, finalmente se embolsaron de nuevo; (5) Polinización cruzada (PC). En este método, en plantas de diferentes accesiones se retiraron las anteras de flores en fase de antesis, se

mezclaron para obtener el polen que fue utilizado para polinizar flores previamente emasculadas en otras plantas.

Cuando se realizó la polinización manual en los tratamientos 3, 4 y 5, la cantidad de polen fue distribuida uniformemente en cada flor, con la ayuda de un pincel, colocando una cantidad aproximadamente igual en cada uno de los estigmas. La eficiencia de los diferentes tratamientos fue evaluada 8 días después de la polinización y cuando los frutos alcanzaron la madurez de cosecha (frutos formados o cuajados y número de semillas por fruto). Por otra parte, se recolectaron los insectos vectores (11 individuos), los que fueron fotografiados e identificados con las claves taxonómicas de González *et al.* (2009) como especies del género *Xylocopa* spp. (Hymenoptera: Apidae: Xylocopini).

Análisis de datos

Los datos obtenidos de los diferentes tratamientos fueron tabulados y analizados con el programa SAS v9. con parámetros de estadísticas descriptivas de promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y con una prueba de comparación entre promedios de Duncan ($P < 0.05$). Adicionalmente, el tratamiento de polinización natural (PN) fue relacionado con la información climática de precipitación (mm) registrada durante el desarrollo del estudio, mediante la correlación de Pearson (r).

Resultados y discusión

Biología floral

Las flores de la gulupa iniciaron el proceso de antesis con la presencia de luz solar, a partir de las 6:00 h y hasta las 10:00 h (Figura 1). El mayor porcentaje de flores abiertas (56%) ocurrió entre las 6:00 y 7:00 h, lo que concuerda con el estudio de Kishore *et al.* (2010) en India, donde 54.5% de la antesis ocurrió en este mismo intervalo. Posteriormente, a las 8:00 h, las flores alcanzaron 24% de la antesis, descendiendo hasta 4% a las 10:00 h. Este porcentaje acumulado (80%) entre 7:00 y 8:00 h es similar al encontrado por

Ángel *et al.* (2011) en Buenavista (Boyacá, Colombia), donde registraron que la antesis en gulupa ocurre entre las 6:00 y las 8:00 h. La antesis comenzó a las 6:00 h registrando un porcentaje de apertura floral en este lapso de sólo 8% y finalizó 5 h más tarde. La duración de la flor puede alcanzar hasta las 24 h después de la antesis, periodo que depende de las condiciones climáticas de cada zona y principalmente de la variable precipitación. Estos resultados son claves para el manejo del cultivo, ya que las aplicaciones de productos químicos se deben realizar en las horas de la tarde para evitar que coincidan con los mayores porcentajes de antesis y con la actividad de los insectos polinizadores.

De acuerdo con la curvatura del estilo en la apertura floral o antesis, se identificaron tres tipos de flores (heteromorfas) que se pueden presentar en una misma planta con diferentes frecuencias, lo que influye al momento de la polinización por los insectos. Estos tipos fueron (Foto 1): (1) T.C. flor con estigmas totalmente curvos, por debajo de las anteras y con una ocurrencia entre 51 y 55%. Este tipo favorece la autopolinización; (2) S.C. flor con estigmas sin curvatura (erectos), por encima de las anteras, formando un ángulo de 70° a 90° y con una ocurrencia entre 12%

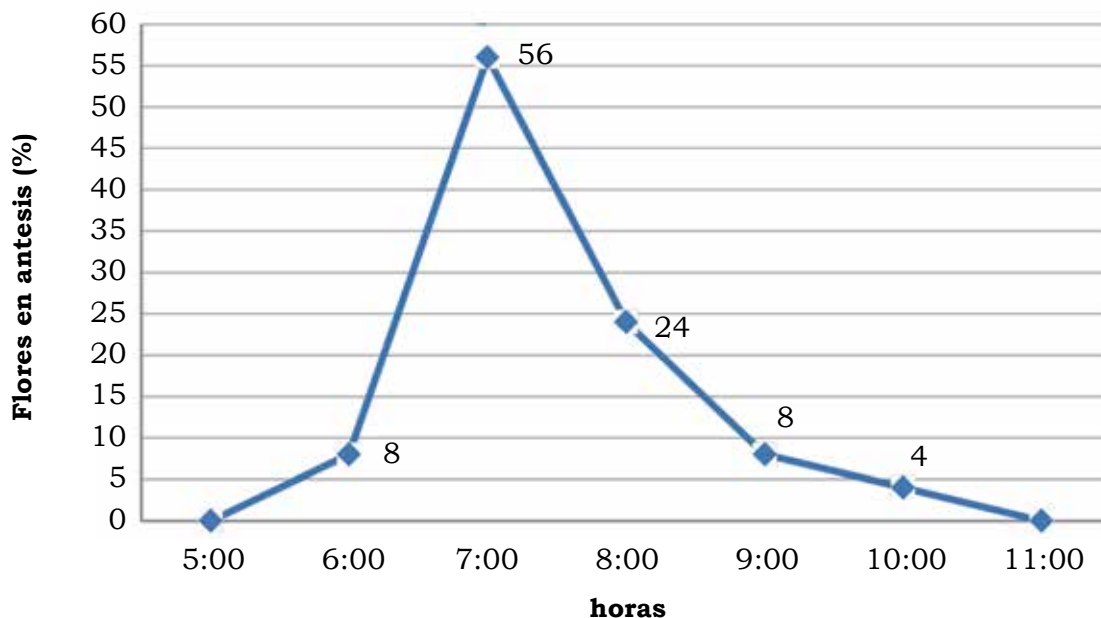


Figura 1. Comportamiento de la apertura de flor (antesis) en gulupa, *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, granja Tesorito, Manizales, Colombia.

y 18%. Este tipo favorece la esterilidad de la flor; y (3) P.C. flor con estigmas parcialmente curvos, por encima de las anteras, formando un ángulo entre 0° y 45° y con una ocurrencia entre 20% y 27%.

En la especie *P. cincinnata*, Aponte y Jáuregui (2004) consideran que en flores tipo T.C. los estigmas quedan en la posición más favorable para hacer contacto con los insectos polinizadores al momento que buscan néctar. Ruggeiro *et al.* (1976) indican que en maracuyá las flores de estilos curvos generaron mayor cantidad de frutos (entre 70% y 75%). Por otro lado, Ishihata (1991) y Ángel *et al.* (2011) mencionan que las flores tipo S.C. producen polen viable y se desempeñan como padres donantes, ya que sólo se pueden autopolinizar entre el 6% y 13%.

Polinización

La eficiencia de los cinco tratamientos evaluados sobre la polinización natural y asistida fue afectada negativamente por la precipitación. La presencia y la intensidad de lluvias en las horas de la mañana impidieron la formación de frutos en la mayoría de los tratamientos y principalmente en el de polinización natural (PN) con una correlación de $r = -0.50$

(Figura 2). En este último, con la influencia de la precipitación en la fase de antesis (≥ 9 mm/día), el porcentaje de frutos formados disminuyó entre un 25% y 27% y ocasionó el aborto de las estructuras florales. El efecto de la precipitación sobre la polinización natural y artificial en la gulupa fue reportado por Ishihata *et al.* (1984) quienes encontraron un rango en la reducción de la formación de frutos entre 64% y 75%. Estas cifras soportan los resultados obtenidos en este estudio y confirman que la precipitación durante el tiempo de la antesis afecta el porcentaje de cuajamiento, debido a la disminución en la actividad de los polinizadores y la receptividad estigmática por exceso de humedad.

Los porcentajes de frutos formados en los diferentes tratamientos aparecen en la Figura 3 y en el Cuadro 2, sin incluir los valores cero (0) por efecto de la precipitación, ya que pueden sesgar los promedio de cada tratamiento. Los resultados muestran que las flores autopolinizadas naturalmente (AP) produjeron el menor porcentaje de frutos formados (28%), aunque sin diferencias significativas ($P > 0.05$) cuando fueron polinizadas naturalmente (PN, Foto 1) por los insectos (39%). En contraste, los mayores porcentajes de frutos formados

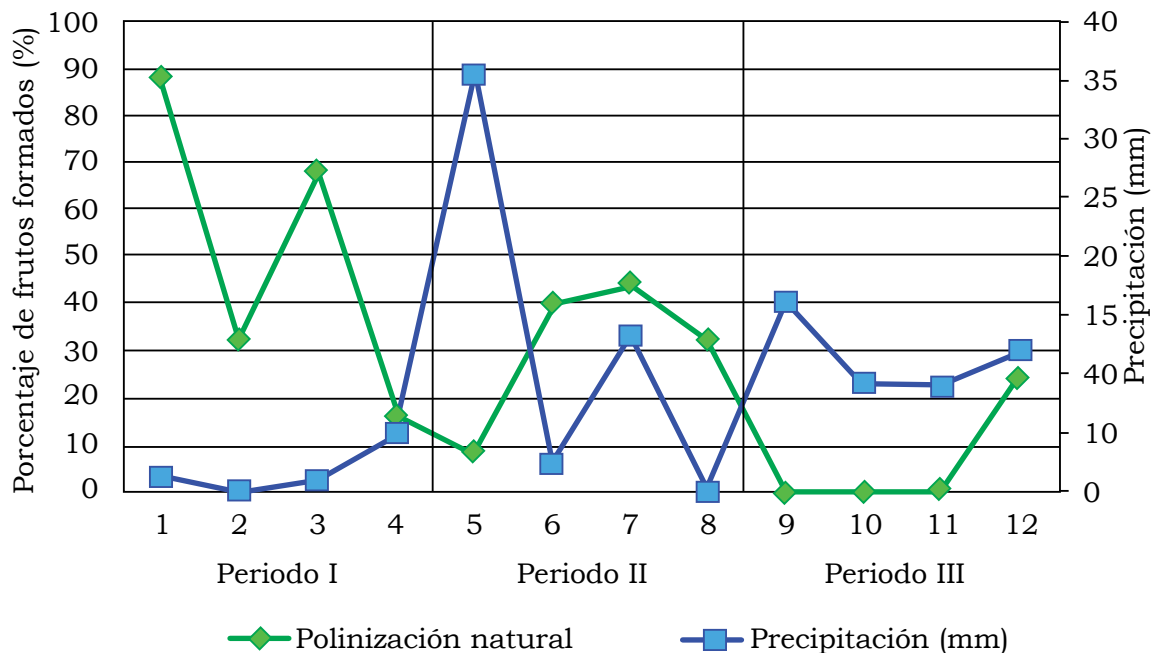


Figura 2 Relación entre el porcentaje de frutos de gulupa, *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, formados por polinización natural (PN) y la precipitación (mm). Número de flores por periodo (horas del día), $n = 100$. Correlación, $r = -0.50$.

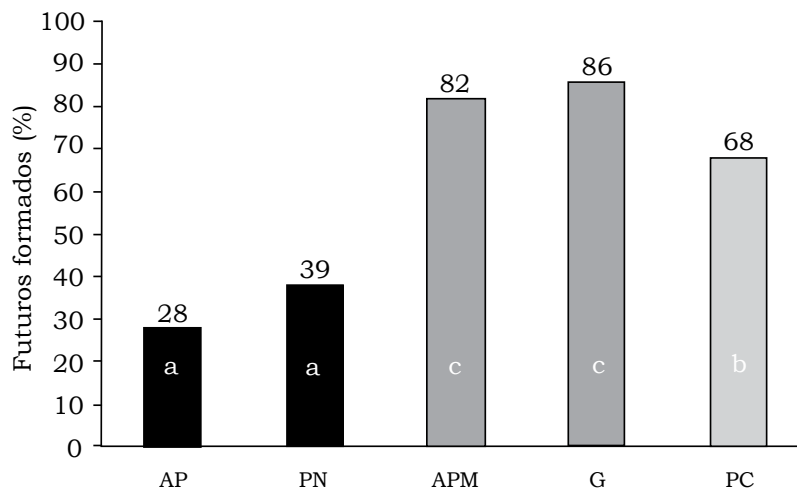


Figura 3 Porcentajes de frutos formados con diferentes sistemas de polinización en la gulupa, *Passiflora edulis f. edulis* Sims, (n =300). **AP:** Autopolinización; **PN:** Polinización natural; **APM:** Autopolinización manual; **G:** Geitonogamia y **PC:** Polinización cruzada.

*Las letras diferentes indican diferencias significativas entre promedios (Duncan, P < 0.05).

Cuadro 2. Rangos de valores obtenidos en la formación de frutos en gulupa, *Passiflora edulis f. edulis* Sims.

Tratamiento	Mínimo (%)	Máximo (%)	Promedio (%)	D. E.	CV (%)
Autopolinización (AP)	4	60	28 a*	16.3	58.4
Polinización natural (PN)	8	88	39 a	25.2	64.4
Autopolinización (APM)	60	96	82 c	10.9	13.3
Geitonogamia (G)	64	96	86 c	11.2	13.1
Polinización cruzada (PC)	36	100	68 b	21.3	29.2

* Promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P > 0.05), según la prueba de Duncan.

fueron obtenidos por autopolinización manual (APM) y geitonogamia (G) sin diferencias entre ellos (P>0.05), con 82% y 86%, respectivamente. En la polinización cruzada (PC) con polen de plantas de diferentes accesiones el porcentaje de frutos formados disminuyó en 17.8% en relación con los tratamientos APM y G donde se usó polen de la misma planta. Los altos coeficientes de variación encontrados en los tratamientos de polinización natural (AP, CV= 58%; PN, CV= 64%) pueden ser explicados por la variabilidad extrema del clima durante el desarrollo del estudio, tal como se observa en la Figura 2. Las diferencias entre los tratamientos y los altos porcentajes de frutos formados confirman que la gulupa es una planta autofértil que depende de la polinización cruzada para una mayor producción de frutos (Cuadro 2).

Tratamiento AP. En la autopolinización se alcanzó un valor de 28% de frutos formados, resultado similar al encontrado por Ángel *et al.* (2011) en Boyacá, donde obtuvieron 33% de frutos formados para este tratamiento. Estas observaciones coinciden también con los resultados de los estudios realizados por Knight (1972) y Nishida (1958) en Florida (EE.UU), los cuales resaltan la autofertilidad en la gulupa respecto al maracuyá, una especie autofértil (97%). En la formación de híbridos interespecíficos, la gulupa debido a la autofertilidad, muestra una receptividad aceptable con especies emparentadas como *P. alata* Curtis, *P. caerulea* L., *P. cincinnata*, *P. edulis f. flavicarpa* (Ocampo y Wyckhuys, 2012).

Tratamiento PN. En la polinización natural, el porcentaje de frutos formados fue de 39%,

contrastando con los resultados de Ángel *et al.* (2011) y Nates *et al.* (2012) quienes obtuvieron 93% y 77% de frutos formados. El bajo porcentaje obtenido por este método se explica por el efecto negativo de la precipitación sobre la actividad de los agentes polinizadores en la fase de la antesis. Esta influencia de las lluvias ha sido registrada en diversos estudios por Akamine y Girolami (1957) y Free (1993) quienes identificaron la misma tendencia. Por otra parte, Da Silva *et al.* (1999) confirmaron que el aumento de la humedad relativa de 55% a 80% genera una reducción en la densidad poblacional de los polinizadores del género *Xylocopa* spp. Además, estos factores climáticos también pueden influir negativamente en la germinación del polen durante la polinización (Free, 1993). Ruggiero *et al.* (1976) consideran que cuando el porcentaje de frutos formados en maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa*) es <30%, se presenta falta de agentes polinizadores. Otros factores importantes que influyen en la reducción del tamaño de las poblaciones y la actividad de los polinizadores son la falta de conservación de los hábitats (zonas boscosas) donde se reproducen y la aplicación de prácticas culturales no adecuadas para la protección del cultivo (Calle *et al.*, 2010).

Tratamientos APM y G. Los promedios de los porcentaje de frutos formados por autopolinización manual (APM) y geitonogamia (G) fueron iguales con valores de 82.3% y 85.75%, respectivamente. Resultados similares encontraron Ángel *et al.* (2011) quienes obtuvieron valores de 93% para APM y 87% para G. Con la aplicación de ambos métodos se logró la mayor eficiencia al incrementar entre 33% y 46% la formación de frutos, en comparación con los tratamientos AP y PN. Se debe mencionar que el método de polinización manual en gulupa es complejo, comparado con maracuyá o granadilla, ya que la extracción del polen se debe realizar con la ayuda de un pincel para abrir las anteras. Según Jiménez *et al.* (2009) en Colombia no se conocen estudios sobre polinización en gulupa, ni se acostumbra realizar polinización cruzada con pincel en esta especie; contrario a lo que ocurre en países como Japón, donde no existen los polinizadores naturales y se utiliza la

polinización manual con gran éxito (Ishihata, 1991). Esta práctica genera costos adicionales de mano de obra para los productores y no se considera necesaria cuando existen poblaciones suficientes de polinizadores, ya que estos garantizan la formación de frutos. Por esta razón, los métodos APM y PN se estiman estratégicos para la implementación de programas de fitomejoramiento, con el objeto de conservar la pureza genética y las características del material élite, debido a los altos porcentajes de frutos formados y la cantidad de semilla producida.

Tratamiento PC. En la polinización cruzada manual se obtuvo un porcentaje de frutos formados de 67.9% con polen mezclado de diferentes plantas de las 32 accesiones evaluadas. Este valor es inferior en 25% cuando se compara con el encontrado por Ángel *et al.* (2011) y puede ser explicado por la influencia de las lluvias durante el desarrollo del estudio y por la variabilidad genética del polen empleado, proveniente de diferentes genotipos. No obstante, este resultado concuerda con lo encontrado por Souza *et al.* (2004) en maracuyá en zonas donde la apertura de las anteras coincide con alta humedad relativa que afecta y reduce la viabilidad del polen. De acuerdo con Jiménez *et al.* (2009) durante el periodo de floración la lluvia debe ser mínima, ya que el polen se humedece y pierde su función generando abortos florales. Las diferencias encontradas en los porcentajes de cada tratamiento en este estudio y los observados por Ángel *et al.* (2011) se explican por las características agroecológicas en las zonas de estudio y la variabilidad genética de las accesiones evaluadas, la cual puede influir en la compatibilidad entre genotipos relacionados.

En general, la eficiencia de los cinco tratamientos evaluados sobre las polinizaciones natural y asistida fue afectada negativamente durante el desarrollo de esta investigación. Los altos valores de precipitación generaron valores extremos de cero en el porcentaje de frutos formados. Al eliminar estos valores, la eficiencia de los tratamientos en la producción de frutos aumenta considerablemente; por esta razón, es necesario tener en cuenta la información histórica de los factores climáticos de cada zona agroecológica, para la selección

de las mejores áreas para el establecimiento de los cultivos y mitigar el efecto de las lluvias en el proceso de polinización.

Número de semillas por fruto

El número de semillas por fruto entre los tratamientos con los diferentes métodos de polinización (APM= 153; G= 157; PC= 152; PN= 151) no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$). En el tratamiento de autopolinización (AP) no fue posible determinar el número de semillas, ya que debido a las altas precipitaciones los frutos presentaron un fuerte ataque del hongo *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries, el cual generó el aborto de todas las estructuras. Los resultados obtenidos están relacionados con los valores presentados en el estudio de Ángel *et al.* (2011) quienes sólo encontraron diferencias significativas con el tratamiento de polinización (AP) que produjo 62.5 semillas/fruto. Los resultados en este estudio son similares a los obtenidos por Akamine y Girolami (1957) quienes en frutos provenientes de polinización manual encontraron semillas más grandes, pesadas y en mayor número que las obtenidas por autopolinización (AP). Este método natural de polinización permite obtener semillas puras de plantas élite con un éxito del 28%, y para obtener 1000 semillas es necesario embolsar 57 botones florales en fase de preantesis, lo que equivale a 16 frutos aproximadamente.

Polinización natural

En la gulupa, los insectos del género *Xylocopa* spp. muestran un papel ecológico en este estudio, (servicio ecosistémico), tanto desde el punto de vista productivo como en el mantenimiento de la diversidad genética, debido al intercambio genético en el transporte del polen. Estos componentes deben ser integrados a los planes de manejo del cultivo, donde la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) contribuya en su conservación. Además, es necesario fomentar e incrementar las poblaciones de los polinizadores facilitando sitios donde puedan construir los nidos, como los postes de madera roja y liviana, cerca a los cultivos. Por otro lado, el componente ambiental tiene un efecto notorio sobre la interacción

planta/polinizador, debido a que la fenología de la planta (floración) puede alterarse por los cambios climáticos extremos e intervenir en el acople temporal con los insectos polinizadores. En este sentido, la precipitación extrema (≥ 9 mm/día) durante el periodo de la antesis tuvo un efecto negativo en la actividad del polinizador y por consiguiente en el número de flores polinizadas.

Conclusiones

- En las accesiones evaluadas, las flores con estilo totalmente curvo presentaron el mayor porcentaje de incidencia (51% a 55%) y su estructura está diseñada para la autopolinización. Por otro lado, las flores con estilos parcialmente curvos alcanzaron incidencias entre 20% y 27%. Este tipo de flor está adaptado para la polinización por *Xylocopa* spp., lo que permite el flujo genético entre plantas y el incremento en la formación de frutos.
- Los tratamientos que incluyeron polinización manual presentaron los mayores porcentajes de frutos formados (68% y 86%), confirmando que la gulupa es una planta autofértil. Sin embargo, los resultados obtenidos con la polinización natural (por insectos polinizadores) mostraron que el porcentaje de frutos formados (39%) superó aquellos obtenidos por autopolinización (28%), sugiriendo que la gulupa presenta una tendencia a la alogamia.
- El fenómeno de autofertilidad reportado en este estudio para gulupa es fundamental para los procesos de mejoramiento genético en la especie, debido al alto grado de endogamia que puede soportar sin comprometer la producción de frutos. Así mismo, los resultados obtenidos sobre la biología reproductiva pueden contribuir de manera significativa a la implementación de estrategias de conservación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del proyecto Aprovechamiento de la Diversidad del Maracuyá, la Gulupa y la Granadilla para mejorar y diversificar los sis-

temas de producción en Colombia; al Centro de Bio-Sistemas (UJTL), a la Universidad de Caldas, granja Tesorito, por el establecimiento y mantenimiento de la Colección; en especial a los ingenieros Juan Carlos Arias, Viviana Marín y Nathali López.

Referencias

- Akamine, E. K.; y Girolami, G. 1957. Problems in fruit set in yellow passion fruit. *Hawaii Farm Sci.* 5:3 - 5.
- Amela, M. T.; y Hoc, P. S. 1998a. Floral biology and reproductive system of *Passiflora mooreana* (Passifloraceae). *Darwiniana* 35:9 - 27.
- Amela, M. T.; y Hoc, P. S. 1998b. Biología floral de *Passiflora foetida* (Passifloraceae). *Rev. Biol. Trop.* 46(2):191 - 202.
- Ángel, C.; Nates, P. G.; Ospina, T. R.; y Melo, O. D. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*). *Caldasia* 33(2):433 - 451.
- Aponte, Y.; y Jáuregui, D. 2004. Algunos aspectos de la biología floral de *Passiflora cincinnata* Mast. *Revista Facultad Agronomía* 21(3):211 - 220.
- 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.
- 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.
- Free, J. B. 1993. *Insect pollination of crops*, 2 ed. Academic Press. 684 p.
- 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 Biológica Colombiana* 14(2):31 - 40.
- Ishihata, K.; Hayashi, M.; y Ikeda, M. 1984. Improvement of fruit set and fruit quality by artificial pollination in purple passion fruit, *Passiflora edulis* Sims. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University* 34:9 - 16 p.
- Ishihata, K. 1991. Studies on pollen germination and tube growth from normal and upright style flowers in purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) using various artificial media. *Japanese J. Trop. Agric.* 35(2):98 - 103.
- Jiménez, Y.; Carranza, C.; y Rodríguez, M. 2009. Manejo integrado de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En: Miranda, D.; Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahíta, W. y Flórez, L. (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. 121 - 158 p.
- Kishore, K.; Pathak, K. A.; Shukla, R.; y Bharali, A. 2010. Studies on floral biology of passion fruit (*Passiflora* spp.). *Pakistan J. Bot.* 42(1):21 - 29.
- Knight, R. J. 1972. The potential for Florida of hybrids between the purple and yellow passionfruit. *Florida State Hort. Soc.* 288 - 292.
- Medina-Gutiérrez, J.; Ospina-Torres, R.; y Nates-Parra, G. 2012. Efectos de la variación altitudinal sobre la polinización en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*). *Acta Biológica Colombiana* 17(2):379 - 394.
- Nates, G.; Amaya, M.; Ospina, R.; Ángel, C.; y Medina, G. 2012. Biología floral, reproductiva, polinización y polinizadores en gulupa (*Passiflora edulis* var. *edulis*). En: Melgarejo, L. M (editor). *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia. 115 - 121 p.
- Nishida, T. 1958. Pollination of the passion fruit in Hawaii. *Journal of Economic Entomology* 51: 146-149.
- Nishida, T. 1963. Ecology of the pollinators of the passion fruit. *Hawaii Agricultural Experiment Station, Honolulu. Techn. Bull.* 55.
- Ocampo, J.; y Wyckhuys, K. 2012. Tecnología para el cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia. Centro Bio-Sistemas Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Bogotá, Colombia. 68 p.
- Ruggiero, C.; Banzatto, D.; y Lam-Sánchez, A. 1976. Studies on natural y controlled pollination in yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). *Acta Hort.* 57:121 - 124.
- Sage, T. L.; Husband, B. C.; y Routley, M. B. 2005. Plant breeding systems and pollen dispersal. En: A. Dafni; P. G. Kevan y B. Husband, (eds.). *Practical pollination biology*. Eviroquest Ltd., Ontario, Canadá. 27 - 55 p.
- Sims, J. 1818. *Passiflora edulis*. *Botanical Magazin*. Fellow of the Royal and Linnean Societies. London. 45: 1989-1991.
- Souza, M.; Pereira, T.; Viana, A.; Pereira, M.; Amaral, A.; y Madureira, H. 2004. Flower receptivity and fruit characteristics associated to time of pollination in the yellow passion fruit *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener (Passifloraceae). *Scientia Hort.* 101:373 - 385.