



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
FACULTAD DE ECOLOGÍA MARINA



MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES Y ECOLOGÍA
ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

**SISTEMA DE POLINIZACIÓN, SISTEMA DE APAREAMIENTO Y
VIGOR DE LA PROGENIE ENDOGÁMICA EN LA JAMAICA**
(*HIBISCUS SABDARIFFA*)

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES Y ECOLOGÍA

PRESENTA

DORALI SECUNDINO ARROYO

DIRECTOR DE TESIS

DR. VÍCTOR MANUEL ROSAS GUERRERO

CO-DIRECTOR

M.C. BLANCA LORENA ALEMÁN FIGUEROA

ASESORES

DR. ROBERTO CARLOS SÁYAGO LORENZANA

DR. SERGIO GARCÍA IBÁÑEZ

DR. EDUARDO CUEVAS GARCÍA

ACAPULCO DE JUÁREZ, GUERRERO, JUNIO 2023

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme salud, sabiduría, confianza y fuerza para culminar cada etapa de mi vida y metas propuestas.

A mis padres y hermanos por brindarme su apoyo incondicional y estar siempre para mí. Por su colaboración en campo de este proyecto, principalmente a mi madre.

Al Dr. Víctor Rosas por confiar en mí y llevar conmigo de la mano este proyecto, por cada uno de sus comentarios, observaciones y sugerencias para terminar en tiempo y forma el proyecto.

A la M.C. Lorena Alemán y los Dres. Roberto Sáyago, Sergio García y Eduardo Cuevas por su confianza, orientación, seguimiento, supervisión, comentarios y sugerencias en cada etapa del proyecto.

Al equipo del Dr. Rosas por su apoyo y prestación de materiales en campo, y por guiarme en los trámites de la maestría. Principalmente a Juan Ernesto Rendón, Rodrigo Lucas, Antonio Gama y Maribel López.

A mis amigos Pili, Alberto, Victorino y Jordán por su apoyo en campo, comentarios y sugerencias para mejorar mi proyecto y persona.

A mis compañeros Tomas y Karen por su amistad y apoyo.

A cada uno de los facilitadores de la maestría por compartir sus conocimientos y contribuir en mi formación académica.

A CONACYT por haber patrocinado el proyecto.

¡A todos ustedes, Muchas Gracias!

DEDICATORIA

A mi familia

Gracias por su amor, comprensión, apoyo incondicional y por estar siempre. Por creer en mí, por darme ánimos de seguir adelante y ser cada día una mejor persona. Gracias a ti mamá por ser mi motor en mi formación profesional, por brindarme tus consejos, confianza y ayuda en todas mis metas y proyectos. Gracias por darme la oportunidad de construir una mejor versión de mí.

Índice	Página
I. Resumen	1
II. Introducción	2
III. Metodología.....	4
3.1 Área de estudio	4
3.2 Especie de estudio.....	5
3.3 Sistema de polinización	5
3.4 Sistema de apareamiento	6
3.5 Depresión endogámica temprana.....	7
3.6 Análisis estadísticos	8
IV. Resultados	9
4.1 Sistema de polinización	9
4.2 Sistema de apareamiento	11
4.3 Depresión endogámica temprana.....	15
V. Discusión	16
5.1 Sistema de polinización	16
5.2 Sistema de apareamiento	18
5.3 Depresión endogámica temprana.....	20
VI. Conclusiones	21
VII. Bibliografía	22
VIII. Anexos	32

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción, fórmula y valores empleados para la determinación de autocompatibilidad, limitación de polen y dependencia de polinizadores.	7
Tabla 2. Visitantes florales legítimos e ilegítimos de jamaica.	9
Tabla 3. Índices de autocompatibilidad, limitación de polen y dependencia de polinizadores en la jamaica.....	11

Tabla 4. Estimación de depresión por endogamia o exogamia temprana en diferentes componentes de adecuación en la jamaica	15
---	----

Índice de Figuras

Figura 1. Localización del área de estudio	4
Figura 2. Tasa de fructificación de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	12
Figura 3. Producción de semillas por fruto por tratamiento de polinización	12
Figura 4. Peso del fruto de jamaica por tratamiento de polinización	13
Figura 5. Diámetro ecuatorial del fruto de jamaica por tratamiento de polinización.....	14
Figura 6. Diámetro polar de fruto de jamaica por tratamiento de polinización	14

I. Resumen

Se determinaron los visitantes legítimos, sistema de apareamiento, y vigor de la progenie endogámica en la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), especie arbustiva anual localizada en el municipio de Tecpan de Galeana, Guerrero. Para ello se evaluó la tasa de visitas de polinizadores, índice de importancia de polinizador, y visitantes legítimos de la jamaica. Asimismo, se realizaron tratamientos de polinización (polinización espontánea, autopolinización, exocruza y polinización abierta), evaluando la tasa de fructificación, peso, diámetro polar y ecuatorial del fruto, y número de semillas. Además se calcularon los índices de autocompatibilidad, limitación de polen, y dependencia de polinizadores. Finalmente la depresión endogámica se determinó en la tasa de germinación, el largo y ancho del cotiledón, el largo y ancho de las hojas y la altura, y diámetro del tallo. Resultados indican que la jamaica es una especie especialista polinizada por abejas. Presenta un sistema reproductivo mixto, ya que todos los tratamientos de polinización produjeron frutos y semillas, sin embargo, la polinización abierta mejora la calidad del fruto. Y no existe depresión endogámica significativa en los caracteres estudiados. Aunque la jamaica fue visitada legítimamente por abejas, no depende de éstas para la producción de frutos y semillas, ya que es autógama y no presenta depresión endogámica. Por tanto, la producción de jamaica puede ser exitosa independientemente de la presencia de sus polinizadores.

Palabras clave: especialista, autocompatibilidad, sistema reproductivo mixto

II. Introducción

A pesar de que el 75% de los cultivos dependen en cierto grado de la polinización por insectos para la producción de frutos y semillas (Klein et al., 2007; Ashworth et al., 2009; Bonilla, 2012; Fründ et al., 2013; Pantoja et al., 2014) se conoce muy poco sobre los polinizadores efectivos, el nivel de dependencia de polinizadores y el sistema de apareamiento de la mayoría de las plantas que son cultivadas para el consumo humano (Klein et al., 2007; Ashworth et al., 2009). El conocimiento de estos aspectos es fundamental para lograr la seguridad alimentaria con el incremento de la producción y rendimiento de los cultivos.

La polinización incrementa y mejora tanto la calidad y cantidad de frutos y semillas como la viabilidad y diversidad genética de las plantas (Klein et al., 2007; Chautá et al., 2012; Bartomeus et al., 2014), principalmente en especies alógamas (i.e. aquellas que se reproducen por medio de la polinización cruzada de individuos genéticamente diferentes). Por otro lado, cuando existe limitación de polen, la producción de frutos puede verse disminuida hasta en un 100% (Ghazoul, 2005; Reyes et al., 2013). Dicha limitación dependerá del sistema de apareamiento de la especie, siendo más severa en especies autoincompatibles (Alonso et al., 2010). Algunas especies recurren a la autogamia como mecanismo de aseguramiento reproductivo de la planta cuando las visitas de sus polinizadores son limitadas (Stebbins, 1957; Proctor y Yeo, 1979; Richards, 1986). Bajo este escenario, la variación genética tiende a disminuir, la depresión por endogamia aumenta y la adecuación de la planta disminuye (Bertín y Sullivan, 1988). Una menor adecuación puede incluir un menor porcentaje de germinación, menor producción, peso y viabilidad de semillas, menor crecimiento de la plántula, disminución en la capacidad competitiva, menor longevidad, menor producción de flores y frutos, deficiencias clorofílicas y menor resistencia al estrés (Franklin, 1970; Mitton et al., 1981; Castillo, 1986; Keller y Waller, 2002). Cabe mencionar que la depresión endogámica depende de la capacidad de la población de eliminar los alelos recesivos deletéreos a través de la purga genética (Byers y Waller, 1999).

Por todo lo anterior, es indispensable conocer el sistema de polinización, sistema de apareamiento y depresión endogámica de las plantas cultivadas para poder implementar

estrategias para asegurar o incrementar su éxito reproductivo. Una de las especies cultivadas en las que se desconocen estos aspectos es la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), una malvácea anual de la cual se aprovechan sus tallos para producir papel y fibra textil (Zaki et al., 1975), las hojas y flores frescas para ensaladas y té (El Afri, 1979), sus cálices para preparar concentrado, mermeladas, pulpa, agua, licor y té (Mohamed et al., 2012) y sus semillas para la preparación de aceites comestibles o como sustituto de café (Mohamed et al., 2007). A nivel nacional, el estado de Guerrero ocupa el primer lugar en la producción de jamaica cubriendo el 78% de la producción total nacional (Contreras et al., 2005). Este cultivo se considera muy importante a nivel mundial debido al aporte socioeconómico, alimenticio y medicinal que beneficia a sus productores rurales, proveedores, personas que emplean su mano de obra (Urbina, 2009) y consumidores. Su principal vía de reproducción es sexual por medio de semillas (Núñez, 2003; Hidalgo, 2013), seguida por la propagación asexual por medio de estacas (Morton, 1987; Núñez, 2003).

El objetivo general de este estudio es determinar el sistema reproductivo de la jamaica en Tecpan de Galeana, Guerrero. Específicamente se plantea: (1) identificar sus visitantes legítimos, (2) determinar su sistema de apareamiento, (3) determinar si hay limitación de polen, (4) estimar la dependencia de polinizadores en la producción de frutos y semillas, y (5) evaluar si presenta depresión endogámica temprana.

Se espera que sus visitantes legítimos sean las abejas debido a que sus características florales (apertura diurna, color amarillo con guías de néctar, forma de campana con tubos florales cortos, simetría radial, órganos sexuales expuestos y recompensa de polen y néctar) corresponden al síndrome de melitofilia (Espino et al., 2012; Rosas-Guerrero et al., 2014: Tabla S2). No obstante, debido a que las especies anuales presentan con mayor frecuencia sistemas autocompatibles (Aarssen, 2000), se espera que la jamaica sea autógena y no presente limitación de polen ni dependencia de polinizadores. Por último, se espera que la jamaica no presente depresión endogámica, ya que la mayoría de las especies autógenas generalmente experimentan purga genética, disminuyendo la expresión de alelos recesivos deletéreos (Barret, 2003; Lande y Schemske, 1985).

III. Metodología

3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en dos parcelas de 300 m² con características similares, incluyendo similar distancia al bosque tropical seco, sembradas en monocultivo, sin aplicación de fertilizantes y sistema de riego temporal. Las parcelas se localizaban en la cabecera municipal de Tecpan de Galeana, Gro, México (17°13'42.64" N, 100°38'46" O y 17°13'33" N, 100°38'33" O) alejadas al menos 500 m de distancia entre ellas. En el área predomina el bosque tropical seco, con un clima cálido subhúmedo (Aw), temperatura media anual de 26–28°C y precipitación media anual de 700–1200 mm (INEGI, 2018) y una altitud de 45–106 msnm. Cerca de las parcelas se contaba con otras parcelas de jamaica y mango (*Mangifera indica*), vegetación secundaria de bosque tropical seco y parches de bosque tropical seco maduro. El muestreo se realizó de octubre a diciembre durante dos temporadas (2020 y 2021).

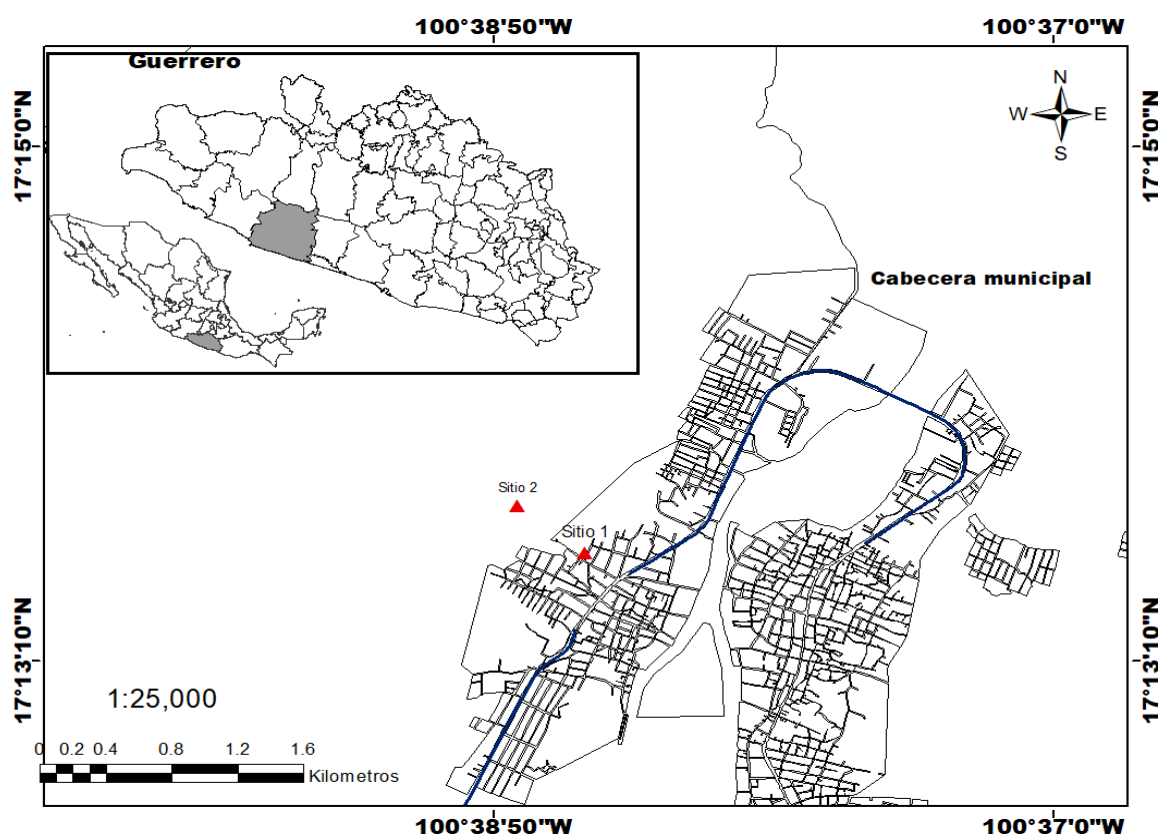


Figura 1. Localización del área de estudio. Los cultivos de jamaica se muestran en color rojo.

3.2 Especie de estudio

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cv. roja o criolla pertenece a la familia Malvaceae. Es originaria de la India (Aragón-García et al., 2008) y fue introducida a México desde la época de la conquista. Actualmente se distribuye extensamente en los trópicos y subtrópicos en ambos hemisferios (Morton, 1987). Es un arbusto ramificado anual erecto, con tallos de color rojizo que van desde los 1.5 m hasta los 3.5 m de altura con flores hermafroditas individuales y/o en racimos terminales de limbo color blanco o amarillo y centro rojo (Contreras et al., 2009), que permanecen abiertas desde las 6:22 a.m. (1 h y 14 min antes del amanecer) hasta 6 h después. Sus frutos son carnosos de cinco compartimientos de forma ovoide que contienen 36 semillas reniformes (Urbina, 2009). Entre sus visitantes florales se han reportado himenópteros, lepidópteros, coleópteros, hemípteros, homópteros, neurópteros y dípteros (Hanumanthaswamy y Rajagopal, 1999; Abdel-Moniem et al., 2011; Setyawati et al., 2018). Los únicos estudios que reportan polinizadores de la jamaica es el de Abdel-Moniem et al., (2011) quien reporta a los himenópteros, y Pérez et al. (2009) a los dípteros, sin embargo, estos últimos no presentan evidencias convincentes debido a la falta de claridad en sus métodos.

Las semillas utilizadas para la siembra fueron criollas (2020, 2021) y comerciales (*Hibiscus Sabdariffa* cv. roja, Hortaflor, 2021). La variedad criolla, es la más utilizada por los agricultores de la localidad. En el año 2020, las semillas sembradas fueron donadas por un agricultor, mientras que en el 2021 se extrajeron de la selección de los frutos más grandes obtenidos de los tratamientos realizados en el año 2020 (50%), junto con semillas comerciales (50%).

3.3 Sistema de polinización

Para determinar los visitantes florales legítimos de la jamaica, se utilizaron tres videocámaras (Sony Handycam Digital A53 y HDR-CX405) por 15 min cada hora, durante seis horas consecutivas desde la apertura hasta el cierre de la flor (i.e., 6:00–12:15 h). Se filmaron 25 h en 99 flores y 51 h en 205 flores, en el 2020 y 2021, respectivamente. Las cámaras se colocaron lo suficientemente cerca de la flor para permitir la visualización del contacto del visitante floral con las anteras y el estigma. Se calculó la tasa de visita como el

número de visitas por flor por hora. Se consideraron como visitantes legítimos aquellos que tocaron ambas partes reproductivas de la flor en la misma visita. Para determinar al visitante legítimo más importante de la jamaica, se calculó la importancia de polinizador como la tasa de visitas por la frecuencia de contacto del visitante con las partes masculina y femenina de la flor. Se utilizó la página web de NaturaLista de CONABIO (www.naturalista.mx) para tener una aproximación de la identidad de los visitantes florales.

3.4 Sistema de apareamiento

En cada parcela se seleccionaron 65 plantas con al menos cuatro flores por día para aplicar en cada una los siguientes tratamientos: (1) *Polinización espontánea* – flores aisladas de cualquier visitante floral durante todo su tiempo de vida; (2) *Autopolinización* – flores aisladas de cualquier visitante floral y polinizada manualmente con polen viable de la misma flor; (3) *Exocruza* – flor emasculada, aislada de cualquier visitante floral y polinizada manualmente con polen viable de otras plantas alejadas al menos 10 m de distancia; (4) *Polinización abierta* – flores sin manipulación para permitir la polinización natural. Las flores de los primeros tres tratamientos fueron aisladas con una bolsa de malla antes de su apertura y después de aplicar el tratamiento respectivo. Las polinizaciones manuales se realizaron cuando el estigma se encontraba receptivo y las anteras estaban dehiscentes. Los cuatro tratamientos se realizaron en una misma planta el mismo día, se etiquetaron y revisaron hasta el desarrollo del fruto. Para asegurar que el estigma estuviera receptivo, se utilizó el método de Osborn et al. (1988), basado en la reacción de la enzima peroxidasa, colocando una gota de peróxido de hidrógeno al 3% sobre el estigma de la flor. La producción de burbujas indicó el momento de receptividad del estigma.

Aproximadamente a los 35 días de realizados los tratamientos se contabilizaron los frutos desarrollados y semillas viables de cada tratamiento. Cada fruto fue pesado en una balanza analítica (Ohaus, 30253019 Scout Pro, precisión 0.01 g) y medido con un calibrador digital (Allnice, Stainless Hardened, precisión 0.01 mm). Se utilizó la producción de frutos de cada tratamiento considerando los índices descritos en la Tabla 1 para determinar categóricamente el sistema de apareamiento, limitación de polen y dependencia de polinizadores.

Tabla 1. Descripción, fórmula y valores empleados para la determinación de autocompatibilidad, limitación de polen y dependencia de polinizadores.

Índice	Definición	Fórmula	Valor	Autor
Autocompatibilidad	Capacidad de una planta para producir semillas después de ser polinizada con polen de la misma flor	AU / EX $AU =$ Producción de frutos provenientes de autopolinización $EX =$ Producción de frutos provenientes de la exocruza.	$< 0.2 =$ Autoincompatibilidad $0.2-1 =$ Autocompatibilidad incompleta $1 =$ Autocompatibilidad total	Ruiz-Zapata y Arroyo, 1978
Limitación de polen	Grado en el cual el éxito reproductivo de una población está limitado por la insuficiente deposición de polen	AB / EX $AB =$ Producción de frutos provenientes de la polinización abierta $EX =$ Producción de frutos provenientes de la suplementación por exocruza.	$< 0.2 =$ Alta limitación de polen $0.2-0.8 =$ Poca limitación de polen $> 0.8 =$ Ausencia de limitación de polen	Larson y Barrett, 2000
Dependencia de polinizadores	Importancia de la actividad de polinizadores en la producción de frutos y semillas	ES / EX $ES =$ Producción de frutos provenientes de autopolinización espontánea $EX =$ Producción de frutos provenientes de la exocruza.	$< 0.2 =$ Altamente dependiente de polinizadores $0.2-0.8 =$ Poca dependencia de polinizadores $> 0.8 =$ No dependiente de polinizadores	Barrios et al., 2010

3.5 Depresión endogámica temprana

Se empleó la metodología propuesta por Ågren y Schemske (1993), a través del cálculo del “desempeño relativo de los tipos cruzados” (RP) calculando:

$RP = 1 - w_s / w_o$, cuando $w_s \leq w_o$; y

$RP = w_o / w_s - 1$, cuando $w_s > w_o$,

donde w_s y w_o son respectivamente, la adecuación de la progenie autopolinizada y exocruzada manualmente por planta.

Este índice varía de -1 a 1, donde valores cercanos a -1 indica depresión exogámica, valores cercanos a 1 depresión endogámica y valores cercanos a 0 ausencia de depresión (Rosas-Guerrero et al., 2017). Se calculó el RP para siete componentes de adecuación: tasa de germinación, ancho y longitud del cotiledón y hojas, altura y diámetro del tallo. Se analizó una muestra aleatoria de 40 semillas provenientes de los tratamientos de autopolinización y exocruza (2020 y 2021) para determinar la adecuación de la planta en etapa vegetativa. Las semillas se sembraron en vasos de poliestireno expandido bajo iguales condiciones ambientales, administrándoles agua cada tres días. Se evaluó la tasa de germinación como la proporción de plántulas con cotiledones. Cada 15 días después de la siembra se midió, con ayuda de un calibrador digital (Allnice, precisión de 0.01), el largo y ancho del cotiledón, el largo y ancho de las hojas y la altura y diámetro del tallo.

3.6 Análisis estadísticos

Se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM) con una distribución de Poisson, para comparar diferencias entre tratamientos de polinización y como variables de respuesta de la tasa de fructificación, el número de semillas por fruto, peso de los frutos, diámetro ecuatorial y diámetro polar del fruto por planta. Asimismo, para comparar si existía depresión por endogamia (i.e., el valor de RP se desvió significativamente de 0), para cada componente de adecuación se utilizó una prueba de t de una muestra o la prueba no paramétrica de Mann-Whitney cuando los datos de las variables no cumplieron con los supuestos de distribución normal u homocedasticidad. Todos los análisis estadísticos se realizaron con los programas InfoStat versión 2020 y SigmaPlot versión 11.0.

IV. Resultados

En el 2020 y 2021, la floración inició el 21 y 17 de octubre y terminó el 18 y 30 de noviembre, respectivamente. Las flores abrieron a las $6:22 \pm 0.00$ h y cerraron a las $11:48 \pm 0.00$ h (n=69). Cada pistilo contiene 28.30 ± 0.70 óvulos (n=23) y el estilo mide 2.02 ± 0.03 cm (n=49, ver anexo I).

4.1 Sistema de polinización

Durante la etapa de floración de la jamaica en el año 2020 (25 h, 99 flores), se registraron 284 visitas pertenecientes a los órdenes de himenópteros (89%), troquílidos (4.9%), lepidópteros (3.8%), coleópteros (0.7%), hemípteros (0.3%) y homópteros (0.3%). Los visitantes legítimos estuvieron representados por las especies de abejas *Ceratina* sp., *Xilocopa* sp, *Apis mellifera*, y Halictidae sp. 1 (Tabla 2). En el año 2021 (51 h, 205 flores) se registraron 897 visitas pertenecientes a los órdenes: himenópteros (87%), coleópteros (8.4%), troquílidos (1.7%), lepidópteros (1.2%), hemípteros (1.0%) y dípteros (0.3%). Cuatro especies de abejas (*Ceratina* sp., Apidae sp. 4, *Apis mellifera* y *Pseudaugochlora graminea*) fueron sus visitantes legítimos (Tabla 2). En el año 2020, se encontró que la mayor actividad de los visitantes florales fue a las 9:00 h (35%), mientras que en el 2021 fue a las 10:00 h (37%). El escarabajo de género *Conotelus* y la mariposa *Thorybes dorantes* fueron considerados como ladrones de néctar, ya que nunca tocaron las partes reproductivas de la flor (ver anexo II).

Tabla 2. Visitantes florales legítimos e ilegítimos de jamaica en el año 2020 y 2021 (ver anexo III). Los visitantes legítimos se muestran sombreados en gris.

ORDEN		2020		2021	
Familia	Especie	Visitas ¹	IP ²	Visitas ¹	IP ²
APODIFORMES					
Trochilidae	<i>Archilochus colubris</i>	5.71	0.00	1.52	0.00
DIPTERA					
Muscidae	<i>Musca domestica</i>			0.29	0.00

COLEOPTERA					
Chrysomelidae	Chrysomelidae sp. 2			0.10	0.00
Coccinellidae	Coccinellidae sp.1	0.41	0.00	0.10	0.00
Nitidulidae	<i>Conotelus</i> sp. 1			6.09	0.00
Scarabaeidae	<i>Hologymnetis cinerea</i>	0.10	0.00		
	Scarabaeidae sp. 1	0.41	0.00		
	Scarabaeidae sp. 2			0.57	0.00
	Scarabaeidae sp. 3			0.19	0.00
	Scarabaeidae sp. 4			0.10	0.00
HEMIPTERA					
Cicadellidae	<i>Erythrogonia areolata</i>	0.41	0.00		
	<i>Empoasca</i> sp. 1			0.10	0.00
	<i>Sibovia sagata</i>			0.19	0.00
Coreidae	<i>Hypsilonotus punctiventris</i>			0.10	0.00
Reduviidae	<i>Apiomerus</i> sp.1	0.41	0.00		
	<i>Zelus renardii</i>			0.38	0.00
HIMENOPTERA					
Apidae	Apidae sp. 1	2.04	0.00	0.19	0.00
	Apidae sp. 2	0.82	0.00		
	Apidae sp. 3			16.66	8.79
	Apidae sp. 4			5.14	0.00
	Apidae sp. 5			0.19	0.00
	Apidae sp. 6			0.19	0.00
	Apidae sp. 7			0.19	0.00
	Apidae sp. 8			0.10	0.00
	<i>Apis mellifera</i>	0.16	12.84	12.37	28.69
	<i>Ceratina</i> sp. 1	17.96	70.04	16.75	8.74
	<i>Xylocopa</i> sp. 1	0.82	8.56	0.29	0.00
Formicidae	<i>Atta mexicana</i>			0.76	0.00
	Formicidae sp. 1	73.46	0.00	4.57	0.00
	Formicidae sp. 2	5.31	0.00	0.38	0.00
	Formicidae sp. 3	0.41	0.00	0.38	0.00
Halictidae	<i>Agapostemon nasutus</i>			0.38	0.00
	Halictidae sp. 1	0.41	8.56		
	Halictidae sp. 2			0.10	0.00
	Halictidae sp. 3			0.10	0.00
	<i>Pseudaugochlora graminea</i>			8.66	53.78
Vespidae	<i>Polistes canadensis</i>	0.41	0.00		
	<i>Polistes</i> sp. 1	0.41	0.00	0.48	0.00

HOMOPTERA

Aleyrodidae	Aleyrodidae sp. 1	0.41	0.00		
LEPIDOPTERA					
Hesperiidae	<i>Thorybes dorantes</i>	1.63	0.00	0.76	0.00
Nymphalidae	<i>Dione juno</i>			0.10	0.00
Papilionidae	<i>Battus polydamas</i>	0.41	0.00		
Pieridae	<i>Aphrissa statira</i>	2.45	0.00	0.19	0.00
ORTOPTERA					
Acrididae	<i>Aidemona azteca</i>			0.29	0.00

¹Tasa de visitas calculada como: $T = v/h$, dónde v = número de visitas por flor, h = número de horas filmadas.

²Importancia del polinizador, calculada como: $IP = T \cdot A \cdot E \cdot 100$, dónde T = tasa de visitas, A = frecuencia de contacto del visitante con las anteras, E = frecuencia de contacto del visitante con el estigma.

4.2 Sistema de apareamiento

Los diferentes tratamientos de polinización indican que la jamaica presenta un sistema reproductivo mixto, sin limitación de polen y no dependiente de polinizadores (Tabla 3), ya que todos los tratamientos produjeron similar cantidad de frutos y semillas maduras en ambos años. Aunque no existieron diferencias en las tasas de fructificación entre tratamientos en los años 2020 ($F_{3,207} = 0.11$; $P = 0.951$; Fig. 1A) y 2021 ($F_{3,119} = 0.31$; $P = 0.817$; Fig. 1B), existió una diferencia marginal en el número de semillas producidas por fruto únicamente en el año 2020 ($F_{3,205} = 4.34$; $P = 0.005$; Figura 2A), donde los frutos provenientes de polinización abierta produjeron más semillas que los provenientes de polinización espontánea y de los provenientes de exocruza.

Tabla 3. Índices de autocompatibilidad, limitación de polen y dependencia de polinizadores en la jamaica en 2020 y 2021¹.

Año	Autocompatibilidad	Limitación de polen	Dependencia de polinizadores
2020	0.92	0.98	1.90
2021	0.83	0.95	0.87

¹Ver tabla 1 para la interpretación de los valores de cada índice.

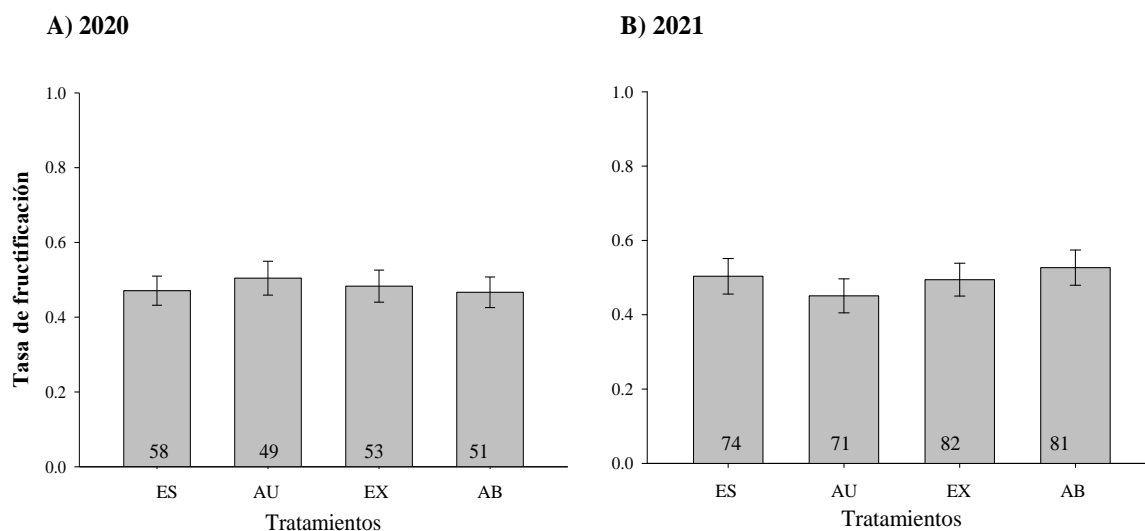


Figura 2. Tasa de fructificación (promedio \pm EE) de *Hibiscus sabdariffa* en el año **A)** 2020 Y **B)** 2021. El número dentro de la barra indica el tamaño de muestra. Tratamientos: ES = Espontánea, AU = Autopolinización, EX = Exocruza, AB = Abierta.

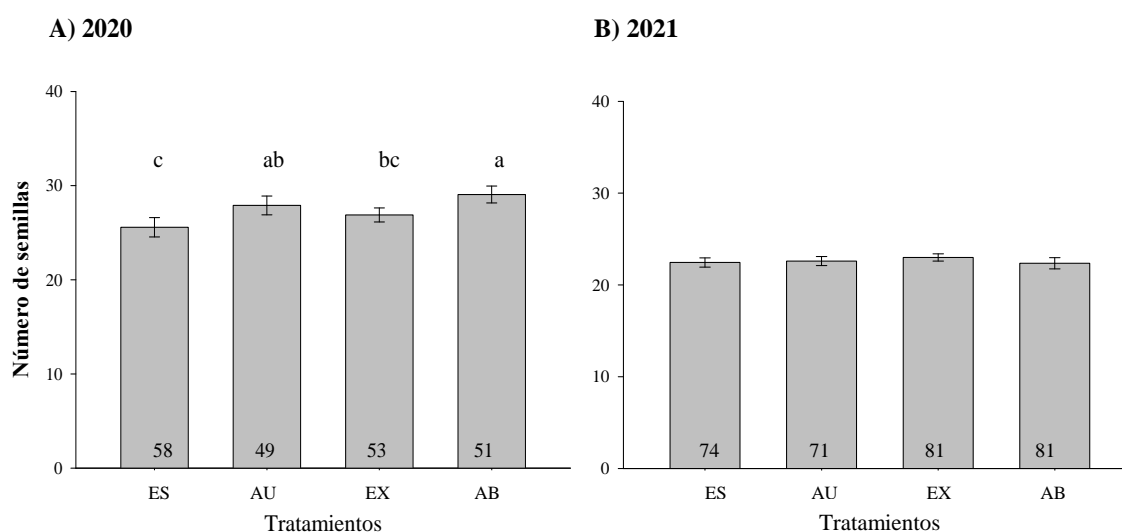


Figura 3. Producción de semillas por fruto (promedio \pm EE) por tratamiento de polinización en el año **A)** 2020 y **B)** 2021. El número dentro de la barra indica el tamaño de muestra. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$), de acuerdo al GLM. Tratamientos: ES = Espontánea, AU = Autopolinización, EX = Exocruza, AB = Abierta.

A pesar de que no existieron diferencias en el peso del fruto en el 2020 ($F_{3,205} = 0.42$; $P = 0.740$; Fig. 3A), en el año 2021 los frutos provenientes de la polinización abierta presentaron mayor peso que los provenientes de la polinización espontánea ($F_{3,304} = 2.00$; $P = 0.114$; Fig. 3B). En contraste, el diámetro ecuatorial del fruto no difirió entre tratamientos en el 2021 ($F_{3,304} = 1.11$; $P = 0.346$; Fig. 4B), pero sí en el 2020 ($F_{3,207} = 2.17$; $P = 0.092$; Fig. 4A), siendo mayores los frutos provenientes de la exocruza comparados con la autopolinización y con la polinización espontánea. El diámetro polar de los frutos provenientes de polinización espontánea fue menor comparado con los provenientes de polinización abierta en el 2020 ($F_{3,207} = 1.48$; $P = 0.220$) y con los provenientes de exocruza ($F_{3,304} = 2.44$; $P = 0.064$) en el 2021. Cabe mencionar que las diferencias notables en el peso y en el tamaño del fruto entre años es debido principalmente al origen de las semillas, ya que en el año 2021 se utilizaron semillas de los frutos más grandes provenientes de la temporada 2020.

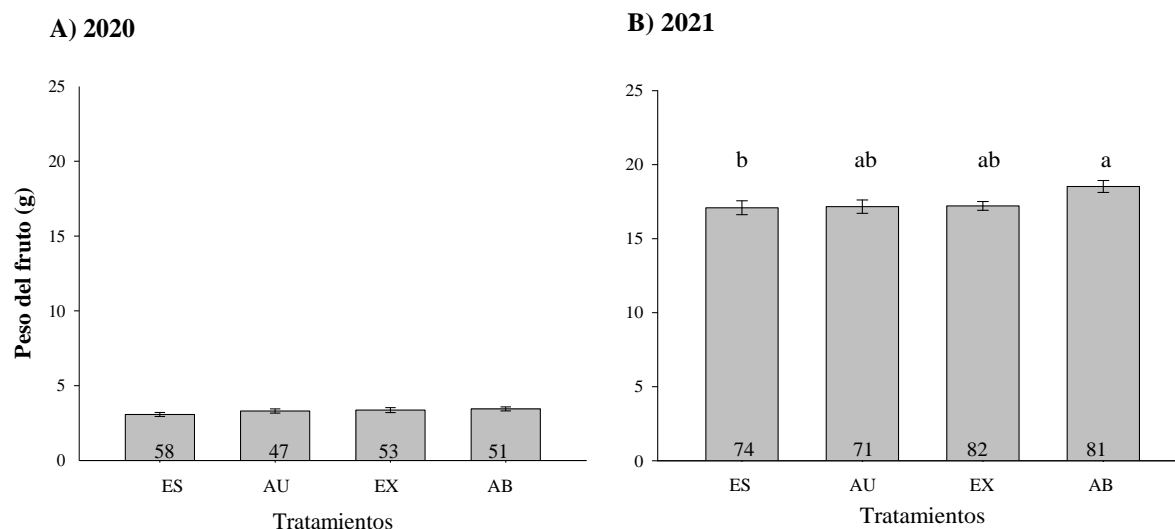


Figura 4. Peso del fruto (promedio \pm EE) de jamaica por tratamiento de polinización con relación al año **A)** 2020 y **B)** 2021. El número dentro de la barra indica el tamaño de muestra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$), de acuerdo al GLM. Tratamientos: ES = Espontánea, AU = Autopolinización, EX = Exocruza y AB = Abierta.

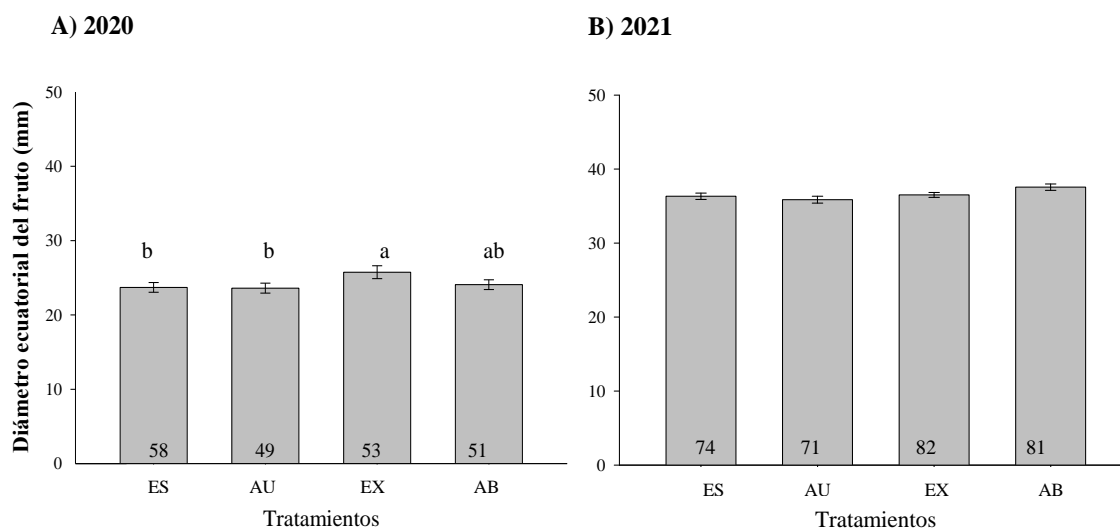


Figura 5. Diámetro ecuatorial del fruto (promedio \pm EE) de jamaica por tratamiento de polinización en el año A) 2020 y B) 2021. El número dentro de la barra indica el tamaño de muestra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$), de acuerdo al GLM. Tratamientos: ES= Espontánea, AU= Autopolinización, EX= Exocruza, AB= Abierta.

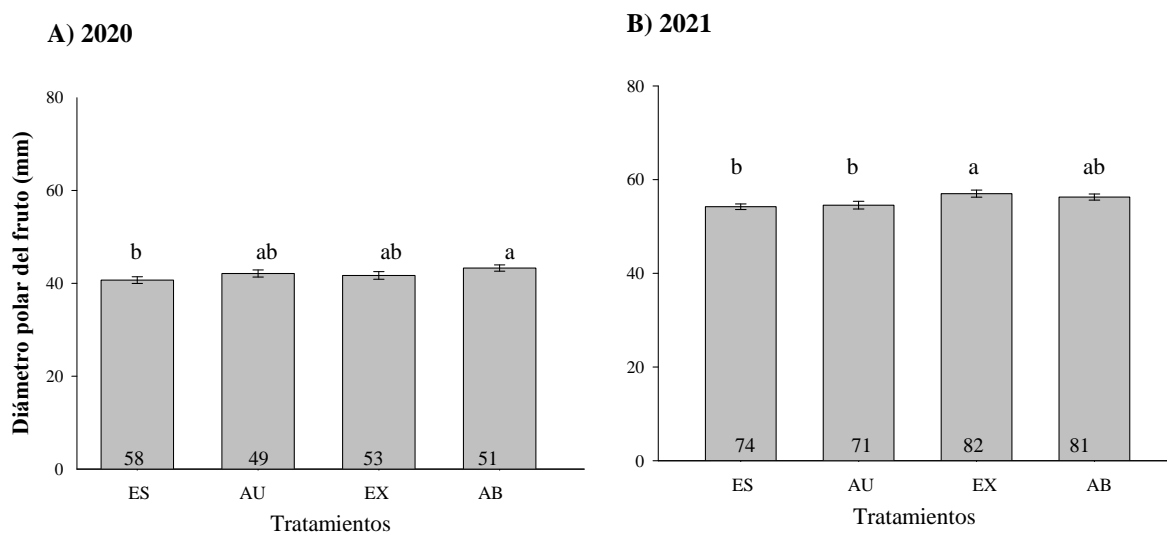


Figura 6. Diámetro polar de fruto (promedio \pm EE) de jamaica por tratamiento de polinización en el año A) 2020 y B) 2021. El número dentro de la barra indica el tamaño de muestra. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$), de acuerdo al GLM. Tratamientos: ES= Espontánea, AU= Autopolinización, EX= Exocruza, AB= Abierta.

4.3 Depresión endogámica temprana

Con excepción del número, ancho y longitud de hoja en el año 2022, no se encontró evidencia de depresión endogámica en ninguno de los ocho componentes de adecuación evaluados en ambos años (Tabla 4). En contraste, en el año 2021, el porcentaje de germinación, presentó indicios de depresión exogámica.

Tabla 4. Estimación de depresión por endogamia o exogamia temprana en diferentes componentes de adecuación en la jamaica en los años A) 2020 y B) 2021.

A) 2021

Componente	Autopolinización (SE) [N]	Exocruza (SE) [N]	Media RP
Germinación (%)	15.14 (2.47) [7]	7.85 (1.80) [7]	-0.48 ($P = 0.035$)
Ancho del cotiledón	19.64 (0.64) [28]	18.35 (0.75) [27]	-0.06 ($P = 0.199$)
Longitud del cotiledón	15.04 (0.78) [28]	14.35 (0.78) [27]	-0.09 ($P = 0.141$)
Altura de la planta	54.48 (3.56) [30]	44.79 (3.67) [30]	-0.17 ($P = 0.063$)
Diámetro del tallo	1.31 (0.04) [28]	1.31 (0.03) [28]	0.00 ($P = 0.780$)
Ancho de la hoja	10.95 (0.98) [10]	10.78 (0.78) [10]	-0.15 ($P = 0.895$)
Longitud de la hoja	20.98 (1.26) [10]	19.45 (1.00) [10]	-0.07 ($P = 0.356$)

B) 2022

Componente	Autopolinización (SE) [N]	Exocruza (SE) [N]	Media RP (p)
Germinación (%)	22.75 (2.01) [4]	28.00 (1.08) [4]	0.18 ($P = 0.061$)
Ancho del cotiledón	26.72 (0.72) [23]	27.73 (0.55) [25]	0.03 ($P = 0.421$)
Longitud del cotiledón	24.44 (0.70) [23]	25.21 (0.64) [25]	0.03 ($P = 0.317$)
Altura de la planta	109.51 (5.81) [38]	121.36 (6.56) [38]	0.09 ($P = 0.181$)
Diámetro del tallo	2.27 (0.06) [38]	2.42 (0.08) [38]	0.06 ($P = 0.180$)
Número de hojas	4.33 (0.20) [30]	5.43 (0.18) [30]	0.20 ($P < 0.001$)
Ancho de la hoja	31.61 (1.21) [30]	37.32 (1.16) [30]	0.19 ($P = 0.001$)
Longitud de la hoja	36.95 (1.50) [30]	45.90 (1.27) [30]	0.19 ($P < 0.001$)

Se muestra media, error estándar (entre paréntesis), tamaño de la muestra (entre corchetes) y rendimiento relativo (RP) de los componentes de adecuación de la progenie. Valores en negritas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$), de acuerdo con la prueba t de Student y Mann-Whitney.

V. Discusión

La mayoría de los resultados encontrados fueron consistentes con las predicciones, ya que las abejas fueron uno de los visitantes legítimos más importantes de la jamaica, es autógama, no depende de polinizadores para la producción de frutos y semillas y no presentó depresión endogámica temprana en la mayoría de los caracteres evaluados en ambos años. Estos resultados indican que la jamaica puede producir semillas viables mediante autogamia en caso de no existir polinizadores.

5.1 Sistema de polinización

En especies anuales como la jamaica, generalmente predomina el sistema de polinización generalista (Baker, 1955; Bond, 1994). Los resultados de este estudio soportan dicha suposición, ya que se registraron colibríes y una gran diversidad de insectos pertenecientes a distintos órdenes. De manera similar, diversos autores han encontrado distintos tipos de insectos como visitantes de la jamaica, incluyendo himenópteros, lepidópteros, coleópteros, dípteros, homópteros, hemípteros, neurópteros y ortópteros (Abou-Elhagag, 1989; El-Sayed et al., 1990; Hanumanthaswamy y Rajagopal, 1999; Pérez et al., 2009; Abdel-Moniem et al., 2011; Setyawati et al., 2018). Este sistema de polinización generalista puede deberse a sus características morfológicas, pues contiene flores abiertas con guías de néctar y tubo polínico corto, permitiendo visitas de insectos con piezas bucales de diferente tamaño. Kevan (1978) menciona que las flores de color blanco, como las de la jamaica, reflejan longitudes de onda en proporciones iguales, por lo que pueden ser vistas por un espectro amplio de visitantes.

Aunque la jamaica es una especie exótica y sus polinizadores no se distribuyen en esta área geográfica, aparenta ser una especie generalista, sin embargo, la mayoría de sus visitantes encontrados son nativos, y solamente las abejas *Ceratina* sp., *Xilocopa* sp., *Apis mellifera*, *Pseudaugochlora gramínea*, una especie de árido y un halítido no identificados son los únicos visitantes legítimos de esta especie. Por lo tanto, considerando solamente polinizadores, la jamaica es una especie especialista polinizada exclusivamente por abejas. De igual manera, Abdel-Moniem et al. (2011) encontraron a *Apis mellifera* como visitante legítimo de la jamaica. Esto coincide con lo predicho por el concepto de síndromes florales,

los cuales se han reportado como una herramienta útil para predecir al polinizador más efectivo (Rosas-Guerrero et al., 2014). A diferencia de este estudio y de lo reportado por Abdel-Moniem et al. (2011), Pérez et al. (2009) mencionan a un díptero del género *Allogapta* y al coleóptero *Ephoria biguttata* como polinizadores efectivos, aunque no muestran evidencias de la efectividad de éstos.

Abdel-Moniem et al. (2011) mencionan que el mayor número de visitas de los polinizadores en la jamaica en Egipto, se presenta a las 10:00 h. Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos en el presente estudio, ya que en el 2021 se encontraron mayores visitas en este horario (37%), mientras que en el 2020 se presentaron a las 9:00 h (35%). El mayor número de visitantes florales en estas horas pudo haber sido influenciado por las condiciones climáticas y la abundancia de las flores.

De las más de 50 especies de visitantes florales registradas, solo ocho, incluyendo el colibrí *Archilochus colubris*, dos especies de hormigas, las mariposas *Aphrissa statira* y *Thorybes dorantes* y las abejas del género *Ceratina* y *Xylocopa* y *Apis mellifera*, se encontraron en ambos años, lo cual indica gran variación temporal en la composición de visitantes florales de este cultivo. Asimismo, se encontró gran variación en la riqueza de especies entre años, siendo mayor en el año 2021 respecto al 2020 (36 vs. 20 especies). Esto podría deberse al diferente esfuerzo en el muestreo, ya que en el año 2020 se filmaron 25 h, mientras que en el 2021 se filmaron 51 h. Dichas diferencias también podrían deberse a la variación en la abundancia de flores y al periodo máximo de floración en cada año, ya que el año 2021 presentó mayor abundancia respecto al 2020 (14 vs 9 flores; $t_{19} = -2.768$; $P = 0.012$; datos no publicados), lo cual influye en la diversidad de polinizadores y aumento de visitas (Arroyo et al., 1981; Hines y Hendrix, 2005; Matteson y Langelotto, 2011; Roulston y Goodell, 2011). Asimismo, la precipitación pudo influir en el número de especies encontradas, ya que en ambos años varió considerablemente (928 vs. 1 278 mm para 2020 y 2021, respectivamente, INEGI, 2021). Este aumento de precipitación pudo influir en el tamaño de la planta y abundancia de flores, atrayendo mayor cantidad de polinizadores. El aumento de flores por individuo aparte de atraer mayor cantidad de visitas puede incrementar la frecuencia de autopolinización entre flores del mismo individuo (i.e., geitonogamia), dependiendo del comportamiento de los visitantes florales (Primack, 1985;

De Jong et al., 1993). No obstante, se desconoce qué tipo de apareamiento favorece cada tipo de visitante floral, por lo que hacen falta estudios que ayuden a responder este tipo de cuestiones.

5.2 Sistema de apareamiento

La jamaica presentó un sistema reproductivo mixto, ya que se produjo un alto porcentaje de frutos y semillas maduras independientemente del origen del polen. Aunado a esto no presenta limitación de polen y no depende de polinizadores para su producción. Hasta el momento, se desconocía el sistema de apareamiento de la jamaica, pues solo se habían realizado exocruzas entre cultivares de jamaica (e.g., Kwofie et al., 2017; Vaidya, 2000).

En la jamaica, la autogamia espontánea fue posible debido a que la hercogamia es escasa o nula, principalmente al cerrar la flor. Sanyal (1958) encontró en otra especie congénica de la jamaica, que el polen propio tiene una alta capacidad de germinar en poco tiempo. Esto puede variar entre especies, siendo influenciadas por el grado de autocompatibilidad, fenología y características de la morfología floral (Lloyd y Schoen, 1992). Este mismo sistema de apareamiento se ha reportado en otros miembros de la familia Malvaceae (Ramírez y Navarro, 2010; Melo, 2013, Ramírez et al., 2014; Parra-Tabla y Alonso, 2021), aunque no en todos (Martin, 1967; Machado y Sazima, 2008; Ramírez y Navarro, 2010).

El sistema de apareamiento mixto presente en la jamaica permite que se incremente su diversidad genética mediante la polinización cruzada (Holsinger, 1992; Hamrick y Godt, 1996; Raven et al., 2005), mientras que permite que no presente limitación de polen y asegure su reproducción cuando los polinizadores sean escasos o inexistentes (ver Stebbins, 1950). Parra-Tabla y Alonso (2021) muestran que la limitación de polen es menos intensa en especies autocompatibles y autógamas, lo cual es común encontrar en especies anuales (Stebbins 1957; Martin 1970; Arroyo y Squeo 2012). Es probable que dicho sistema mixto ayude a explicar la permanencia de la jamaica en gran variedad de condiciones.

La ausencia de diferencias significativas en la tasa de fructificación entre los diversos tratamientos en la jamaica en ambos años no es única en las Malváceas. Por ejemplo, en *Sida cordifolia*, *Cienfuegosia yucatanensis*, *Melochia caracasana* y *Melochia tomentosa*, tampoco se encontraron diferencias significativas en la tasa de fructificación (Ramírez y Navarro, 2010; Melo, 2013; Ramírez et al., 2014), aunque sí en el número de semillas (*C. yucatanensis*), donde la polinización abierta fue mayor respecto a la exocruza y autopolinización (Parra-Tabla y Alonso, 2021). Resultados similares encontramos en este estudio, donde los frutos provenientes de polinización abierta produjeron más semillas que los provenientes de polinización espontánea. Esto pudo deberse a que los polinizadores depositaron polen de mayor calidad y/o cantidad. Sin embargo, falta determinar cuál visitante floral es el más efectivo en la producción de semillas.

Aunque la mayor producción de semillas en los frutos provenientes de la polinización abierta podría explicar las diferencias en el peso de los frutos, dichas diferencias ocurrieron en diferentes años, por lo cual otros factores deben influir en esta variable. En contraste, la mayor cantidad de semillas encontradas en las flores con polinización abierta en el 2020 coincide con el mayor diámetro polar encontrado en dichos frutos. Asimismo, el diámetro ecuatorial (en el 2020) y el diámetro polar del fruto (en el 2021), fue mayor en el tratamiento de exocruza respecto a la autopolinización y la polinización espontánea, lo que sugiere que el polen recibido de otro individuo es de mayor calidad (Klein et al., 2007; Chautá et al., 2012; Bartomeus et al., 2014). De hecho, diversos autores mencionan que individuos relacionados genéticamente son menos efectivos para la fecundación de los óvulos que los provenientes del polen de individuos no relacionados genéticamente (Kalisz, 1989; Dudash, 1990; Johnston, 1992; Alonso et al., 2012; Abdala-Roberts et al., 2014). Ya que el diámetro polar fue mayor en la polinización abierta respecto a la polinización espontánea en el año 2020, es probable que el polen depositado en estas flores también provenga de polen cruzado por medio de polinizadores. Estos resultados indican que los polinizadores son importantes para la calidad del fruto, por lo cual es crucial fomentar su conservación, principalmente de las abejas del género *Ceratina* y la abeja esmeralda *Pseudaugochlora graminea*, los polinizadores más importantes de la jamaica, los cuales requieren de polen y néctar para su alimentación, son nativas, y por lo tanto, presentan un rango de distribución restringido (Almeida, 2008).

5.3 Depresión endogámica temprana

Los resultados sugieren que la jamaica no presenta efectos notables de depresión endogámica temprana, lo cual coincide con lo esperado. Sin embargo, en una variable se encontró en 2021 evidencias de depresión por exogamia.

Barret (2003) menciona que las especies que no tienen limitación de polen y son autocompatibles, tienen la ventaja de purgar los alelos nocivos, ya que las especies están sujetas a eventos repetidos de apareamiento endogámico, disminuyendo los alelos deletéreos y, como consecuencia, reduciendo los efectos de depresión por endogamia (Lande y Schemske, 1985). Por lo tanto, es probable que la jamaica al presentar poca hercogamia y ser autógena haya experimentado apareamientos endogámicos con mucha frecuencia, provocando una purga de sus alelos recesivos deletéreos. Sin embargo, no descartamos la existencia de efectos de depresión endogámica tardía, como es común en muchas especies autocompatibles (Husband y Schemske, 1996). Debido a que la jamaica presentó poca depresión endogámica temprana, la autopolinización podría ser un mecanismo efectivo, al menos a corto plazo, para asegurar su reproducción si los polinizadores son escasos o nulos. Sin embargo, cabe mencionar que en dos generaciones es complejo que la depresión sea evidente, por lo que sugerimos evaluarla en más generaciones.

Muy pocos estudios han documentado la existencia de depresión endogámica en especies de Malváceas (Snow y Spira, 1993; Klips y Snow, 1997; Liu y Spira, 2001; Ramsey et al., 2003; Ruan et al., 2009). Parra-Tabla y Alonso (2021), encontraron depresión endogámica incluso en etapas tempranas. En el año 2022 encontramos indicios de depresión por endogamia en el número y tamaño de las hojas (Tabla 3B). Dichas diferencias entre años pudieron deberse al origen de las semillas, ya que en el año 2021 la polinización cruzada se realizó entre plantas cuyo origen se desconocía y posiblemente estaban emparentadas, mientras que en el 2022 la polinización cruzada se realizó entre plantas provenientes de la cosecha del año 2021 con plantas proveniente de semillas comerciales, es decir sin parentesco.

En el año 2021 encontramos mayor tasa de germinación en la autopolinización que en la exocruza, lo que indica depresión por exogamia (Ågren y Schemske, 1993, Tabla 3A).

Parker (1992) menciona que es más común la depresión por exogamia en especies anuales autógamas con genotipos altamente adaptados a su ambiente (Allard, 1975; Templeton, 1986), como la jamaica (Sánchez et al., 2019). No obstante, no se debe descartar la posibilidad de cometer errores de tipo I en tamaños de muestra pequeños (e.g. 7). Por lo que sugerimos aumentar el tamaño de muestra para obtener datos más confiables.

Cabe mencionar que se observaron caracteres fenotípicos anormales (e.g., aumento y fusión de cotiledones, pérdida de cotiledones, cotiledones dañados, hojas con manchas amarillas, hojas con malformaciones y disminución de crecimiento de la planta) en algunas plantas provenientes de autopolinización. Sin embargo, dichas diferencias no fueron evaluadas sistemáticamente como para realizar análisis estadísticos robustos. Se sugiere profundizar más sobre el posible efecto de la endogamia en la presencia de malformaciones.

VI. Conclusiones

La jamaica a pesar de ser visitada por siete órdenes diferentes de animales, presenta un sistema de polinización especialista, ya que solo las abejas son los únicos visitantes legítimos de la jamaica. Es una especie autocompatible autógama, por lo que no presenta limitación de polen y no es dependiente de polinizadores para la producción de frutos y semillas, aunque sí depende de éstos para producir frutos de mayor tamaño e indirectamente plántulas de mayor calidad, ya que las semillas provenientes de la polinización abierta presentan mayor calidad.

Este estudio aporta información relevante acerca de los visitantes legítimos, sistema de apareamiento y reproductivo de la jamaica. Sin embargo, hacen falta experimentos de tratamientos de visita única para conocer la efectividad como polinizadores de sus visitantes legítimos; así como conocer la influencia de la diversidad genética en la adecuación tardía de la jamaica.

VII. Bibliografía

- Aarssen, L. W. (2000). Why are most selfers annuals? A new hypothesis for the fitness benefit of selfing. *Oikos*, 89(3), 606-612.
- Abdala-Roberts, L., Marrufo-Zapata, D., Arceo-Gómez, G., & Parra-Tabla, V. (2014). Pollen limitation, fruit abortion, and autonomous selfing in three populations of the perennial herb *Ruellia nudiflora*. *Plant Species Biology*, 29(1), 25-33.
- Abdel-Moniem, A. S. H., Abd El-Wahab, T. E., & Farag, N. A. (2011). Prevailing insects in Roselle plants, *Hibiscus sabdariffa* L., and their efficiency on pollination. *Archives of phytopathology and plant protection*, 44(3), 242-252.
- Abou-Elhagag, G. H. (1989). *Field and laboratory studies on certain pests of medicinal and aromatic plants* (Doctoral dissertation, M. Sc Thesis, Fac. Agric. Assiut Univ).
- Ågren, J., & Schemske, D. W. (1993). Outcrossing rate and inbreeding depression in two annual monoecious herbs, *Begonia hirsuta* and *B. semiovata*. *Evolution*, 47(1), 125-135.
- Almeida, E. A. (2008). Revision of the Brazilian species of *Pseudaugochlora* Michener 1954 (Hymenoptera: Halictidae: Augochlorini). *Zootaxa*, 1679(1), 1-38.
- Allard, R. W. (1975). The mating system and microevolution. *Genetics*, 79, 115-126.
- Alonso, C., Herrera, C. M., & Ashman, T. L. (2012). A piece of the puzzle: a method for comparing pollination quality and quantity across multiple species and reproductive events. *New Phytologist*, 193(2), 532-542.
- Alonso, C., Vamosi, J. C., Knight, T. M., Steets, J. A., & Ashman, T. L. (2010). Is reproduction of endemic plant species particularly pollen limited in biodiversity hotspots?. *Oikos*, 119(7), 1192-1200.
- Aragón-García, A., Torija-Torres, A., Avelleira-Cortés, R., Tapia- Rojas, A. M., Contreras Mora, I. R., & López-Olgún, J. F. (2008). Control de plagas de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con *Gliricidia sepium* (Jacq.) en Chiautla de Tapia, Puebla. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 12(3), 33-42.

- Arroyo, M. T. K., & Squeo, F. (2012). 13 Relationship between Plant Breeding Systems and Pollination. *Biological approaches and evolutionary trends in plants*, 205.
- Arroyo, M. T. K., Armesto, J. J., & Villagran, C. (1981). Plant phenological patterns in the high Andean Cordillera of central Chile. *The Journal of Ecology*, 205-223.
- Ashman, T. L., & Schoen, D. J. (1997). The cost of floral longevity in *Clarkia tembloriensis*: an experimental investigation. *Evolutionary Ecology*, 11(3), 289-300.
- Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R., & Oyama, K. (2009). Pollinator-dependent food production in Mexico. *Biological Conservation*, 142(5), 1050-1057.
- Baker, H. (1955). Self-compatibility and establishment after “long-distance” dispersal. *Evolution* 9:347-348.
- Barrett, S. C. (2003). Mating strategies in flowering plants: the outcrossing–selfing paradigm and beyond. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1434), 991-1004.
- Barrios, Y., Ramírez, N., Ramírez, E., Sánchez, E., & Del Castillo, R. (2010). Importancia de los polinizadores en la reproducción de seis especies de subpáramo del pico Naiquatá (parque nacional el Ávila-Venezuela). *Acta Botánica Venezuelica*, 33(2), 213-231.
- Bartomeus, I., Potts, S. G., Steffan-Dewenter, I., Vaissiere, B. E., Woyciechowski, M., Krewenka, K. M., & Bommarco, R. (2014). Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. *PeerJ*, 2, e328.
- Bertín, R. I., & Sullivan, M. (1988). Pollen interference and cryptic self-fertility in *Campsis radicans*. *American Journal of Botany*, 75(8), 1140-1147.
- Bond, W. J. (1994). Do mutualisms matter? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 344(1307), 83-90.
- Bonilla, M. A. (2012). La polinización como servicio ecosistémico. *Iniciativa colombiana de polinizadores (ICPA), Capítulo I: abejas. Universidad Nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia*, 1-103.

- Byers, D. L., & Waller, D. M. (1999). Do plant populations purge their genetic load? Effects of population size and mating history on inbreeding depression. *Annual review of ecology and systematics*, 479-513.
- Cárdenas-Calle, S., Cárdenas, J. D., Landázuri, B. O., Mogrovejo, G., Crespo, A. M., Breitbach, N., & Tinoco, B. A. (2020). Pollinator effectiveness in the mixed-pollination system of a Neotropical Proteaceae, *Oreocallis grandiflora*. *Journal of Pollination Ecology*, 26.
- Castillo, R. F. (1986). La selección natural de sistemas de entrecruzamiento en *Opuntia robusta*. Tesis de maestría colegio de postgrado Chapingo México.
- Chautá-Mellizo, A., Campbell, S. A., Bonilla, M. A., Thaler, J. S., & Poveda, K. (2012). Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and applied ecology*, 13(6), 524-532.
- Contreras, G., Soto, J., & Huchin, A. (2009). Tecnología para el cultivo de Jamaica en Quintana Roo. *INIFAP. Folleto técnico*, (13).
- Contreras-Mora, I. R., Tapia-Rojas, A. M., Avelleira-Cortés, R., Aragón-García, A., Torija-Torres, A., & López-Olgún, J. F. (2008). Control de plagas de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con *Gliricidia sepium* (Jacq.) en Chiautla de Tapia, Puebla. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 12(3), 33-42.
- De Jong, T. J., Waser, N. M., & Klinkhamer, P. G. (1993). Geitonogamy: the neglected side of selfing. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(9), 321-325.
- Dudash, M. R. (1990). Relative fitness of selfed and outcrossed progeny in a self-compatible, protandrous species, *Sabatia angularis* L.(Gentianaceae): a comparison in three environments. *Evolution*, 44(5), 1129-1139.
- El Afri M. M. F., Prinz Rehm, S. (1979). Morphological studies in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *Sabdariffae*). *Tropelandwirt* (Germany F.) 80: 11.
- El-Sayed, A. M. K., Abdel-Galil, F. A., Darwish, Y. A., & El-Hagag, G. H. A. (1990). Incidence and dominance of arthropods associated with roselle, caraway and coriander plants in Upper Egypt. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 21(3), 153-165.

- Espino, J. E., Bravo, Y. E. B. O., & García, E. C. (2012). Biología reproductiva y visitantes florales de dos especies de *Salvia* con síndrome de polinización por aves y abejas. *Ciencia Nicolaita*, (55), 52-60.
- Fenster, C. B., & Marten-Rodriguez, S. (2007). Reproductive assurance and the evolution of pollination specialization. *International Journal of Plant Sciences*, 168(2), 215-228.
- Franklin, E. C. (1970). *Survey of mutant forms and inbreeding depression in species of the family Pinaceae* (Vol. 61). US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.
- Fründ, J., Dormann, C. F., Holzschuh, A., & Tscharntke, T. (2013). Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology*, 94(9), 2042-2054.
- Ghazoul, J. (2005). Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), 367-373.
- Hamrick, J. L., & Godt, M. W. (1996). Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1345), 1291-1298.
- Hanumanthaswamy, B. C., & Rajagopal, D. (1999). Insect pests of *Hibiscus sabdariffa* Linn.–a medicinal plant. *Insect Environ*, 5(2), 85.
- Hidalgo, S. (2013). Manual técnico del cultivo de rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) “Rosicta”. *Investigación para el desarrollo agrícola*, 34.
- Hines H. M., Hendrix, S. D., (2005). Abejorro (Hymenoptera: Apidae) diversidad y abundancia en parches de pradera de pastos altos: efectos de los recursos florales locales y del paisaje. *Entomología ambiental*, 34, 1477-1484.
- Holsinger, K. E. (1992). Ecological models of plant mating systems and the evolutionary stability of mixed mating systems. *Ecology and evolution of plant reproduction*, 169-191.

- Husband, B. C., & Schemske, D. W. (1996). Evolution of the magnitude and timing of inbreeding depression in plants. *Evolution*, 50(1), 54-70.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. (2018). Aspectos geográficos, Guerrero. Consultado en: https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_12.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. (2021). Aspectos geográficos, Guerrero. Consultado en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_12.pdf
- Johnston, M. O. (1992). Effects of cross and self-fertilization on progeny fitness in *Lobelia cardinalis* and *L. siphilitica*. *Evolution*, 46(3), 688-702.
- Kalisz, S. (1989). Fitness consequences of mating system, seed weight, and emergence date in a winter annual, *Collinsia verna*. *Evolution*, 43(6), 1263-1272.
- Keller, L. F., & Waller, D. M. (2002). Inbreeding effects in wild populations. *Trends in ecology & evolution*, 17(5), 230-241.
- Kevan, P. G. (1978). Floral coloration, its colorimetric analysis and significance in anthecology. *The pollination of flowers by insects*, (16), 51.
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), 303-313.
- Klips, R. A., & Snow, A. A. (1997). Delayed autonomous self-pollination in *Hibiscus laevis* (Malvaceae). *American Journal of Botany*, 84(1), 48-53.
- Kwofie, J., Amoatey, H. M., Nunekpeku, W., Ahiakpa, J. K., & Katsepor, C. (2017). Crossability Studies among Twenty Accessions of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agricultural Science*, 9(9).

- Lande, R., & Schemske, D. W. (1985). The evolution of self-fertilization and inbreeding depression in plants. I. Genetic models. *Evolution*, 39(1), 24-40.
- Larson, B. M., & Barrett, S. C. (2000). A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biological journal of the Linnean Society*, 69(4), 503-520.
- Liu, H., & Spira, T. P. (2001). Influence of seed age and inbreeding on germination and seedling growth in *Hibiscus moscheutos* (Malvaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society*, 16-24.
- Lloyd, D. G., & Schoen, D. J. (1992). Self-and cross-fertilization in plants. I. Functional dimensions. *International journal of plant sciences*, 153(3, Part 1), 358-369.
- Machado, I. C., & Sazima, M. (2008). Pollination and breeding system of *Melochia tomentosa* L.(Malvaceae), a keystone floral resource in the Brazilian Caatinga. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203(6), 484-490.
- Martin, F. W. (1967). Distyly, self-incompatibility, and evolution in *Melochia*. *Evolution*, 493-499.
- Martin, F. W. (1970). Self-and interspecific incompatibility in the Convolvulaceae. *Botanical Gazette*, 131(2), 139-144.
- Matteson K. C., & Langelotto, G. A., (2011). Adiciones a pequeña escala de las plantas nativas no logran aumentar la riqueza de insectos benéficos en los jardines urbanos. *Conservación y diversidad de insectos*, 4, 89–98.
- Melo, A. D. (2013). *Mecanismos intercomplementares de autopolinização em Sida cordifolia* (Malvaceae) (Bachelor's thesis).
- Mitton, J. B., Linhart, Y. B., Davis, M. L., & Sturgeon, K. B. (1981). Estimation of outcrossing in ponderosa pine, *Pinus ponderosa* Laws., from patterns of segregation of protein polymorphisms and from frequencies of albino seedlings. *Silvae Genetica*, 117-121.

- Mohamed, B. B., Sulaiman, A. A., & Dahab, A. A. (2012). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Sudan, cultivation and their uses. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci*, 1(6), 48-54.
- Mohamed, R., Fernández, J., Pineda, M., & Aguilar, M. (2007). Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed oil is a rich source of γ -tocopherol. *Journal of food science*, 72(3), S207-S211.
- Morton, J. F. (1987). *Fruits of warm climates*: JF Morton.
- Nogueira-Couto, R. H., Pereira, J. M. S., & De Jong, D. (1998). Pollination of Glycine wightii, a perennial soyabean, by Africanized honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 37(4), 289-291.
- Núñez P.G. (2003). Fenología de materiales genéticos de jamaica (*Hibiscus sabadarifa* L) Tesis de Maestro en ciencias en agrobiotecnología. ITA- GIGA Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México. pp 163.
- Osborn, M. M., Kevan, P. G., & Lane, M. A. (1988). Pollination biology of *Opuntia polyacantha* and *Opuntia phaeacantha* (Cactaceae) in southern Colorado. *Plant Systematics and Evolution*, 159(1), 85-94.
- Pantoja, A., Smith-Pardo, A., Garcia, A., Saenz, A., & Rojas, F. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe*.
- Parker, M. A. (1992). Outbreeding depression in a selfing annual. *Evolution*, 837-841.
- Parra-Tabla, V., & Alonso, C. (2021). Autonomous pollination alleviates pollen limitation in the endemic *Cienfuegosia yucatanensis* Millsp.(Malvaceae). *Botanical Sciences*, 99(1), 80-91.
- Pérez-Torres B. C., Aragón García A., Bautista Martínez, N., A. M. Tapia Rojas, A. M. López-Olgún, J. F. (2009). Entomofauna asociada al cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en el municipio de Chiautla de Tapia, Puebla. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(2): 239-247.

- Primack, R. B. (1985). Longevity of individual flowers. *Annual review of ecology and systematics*, 15-37.
- Proctor, M., & Yeo, P. (1979). The pollination of flowering plants. *Williams Collins Sons & Co. Ltd. London*.
- Ramírez, N., & Navarro, L. (2010). Trends in the reproductive biology of Venezuelan *Melochia* (Malvaceae) species. *Plant systematics and evolution*, 289(3), 147-163.
- Ramírez, N., Nassar, J. M., Valera, L., Garay, V., Briceño, H., Quijada, M., Y.A., & Montilla, J. (2010). Variación morfológica floral en *Pachira quinata* (Jacq.) W. Alverson (Bombacaceae). *Acta Botánica Venezuelica*, 33(1), 83-102.
- Ramírez, N., Valera, L., & Briceño, H. (2014). Sistema reproductivo de *Pachira quinata* (Jacq.) W. Alverson (Malvaceae: Bombacoideae). *Memorias del Instituto de Biología Experimental*, 7: 129-132.
- Ramsey, M., Seed, L., & Vaughton, G. (2003). Delayed selfing and low levels of inbreeding depression in *Hibiscus trionum* (Malvaceae). *Australian Journal of Botany*, 51(3), 275-281.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (1999). *Biology of Plants* WH Freedman and Company Worth Publishers.
- Reyes, T., Gergely, S., & Johnston, P. (2013). El declive de las abejas Peligros para los polinizadores y la agricultura de Europa.
- Richards, A. J. (1986). *Plant breeding systems*. George Allen & Unwin.
- Rosas-Guerrero, V., Aguilar, R., Martén-Rodríguez, S., Ashworth, L., Lopezaraiza-Mikel, M., Bastida, J. M., & Quesada, M. (2014). A quantitative review of pollination syndromes: do floral traits predict effective pollinators?. *Ecology letters*, 17(3), 388-400.
- Rosas-Guerrero, V., Hernández, D., & Cuevas, E. (2017). Influence of pollen limitation and inbreeding depression in the maintenance of incomplete dichogamy in *Salvia elegans*. *Ecology and Evolution*, 7(12), 4129-4134.

- Roulston TH., Goodell K. (2011) El papel de los recursos y riesgos en la regulación de las poblaciones de abejas silvestres. *Revisión anual de entomología*, 56,293–312.
- Ruan, C. J., Li, H., & Mopper, S. (2009). *Kosteletzkya virginica* displays mixed mating in response to the pollinator environment despite strong inbreeding depression. *Plant Ecology*, 203(2), 183-193.
- Ruiz-Zapata, T. R., & Arroyo, M. T. K. (1978). Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica*, 221-230.
- Sánchez-Prado, J. D. J., Bugarín-Montoya, R., Alejo-Santiago, G., Juárez-Rosete, C. R., Aburto-González, C. A., & Caro-Velarde, F. (2019). Incremento del rendimiento y extracción nutrimental en jamaica mediante soluciones nutritivas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(16), 1-10.
- Sanyal, P. (1958). Studies on the pollen tube growth in six species of *Hibiscus* and their crosses in vivo. *Cytologia*, 23(4), 460-467.
- Schoen, D. J., & Ashman, T. L. (1995). The evolution of floral longevity: resource allocation to maintenance versus construction of repeated parts in modular organisms. *Evolution*, 49(1), 131-139.
- Setyawati, A. I., Supriyadi, Pardono, Wijayanti, R., & Putri, R. B. A. (2018). The role of flowering plants, *Hibiscus sabdariffa* and *Crotalaria juncea* in coffee ecosystem to diversity of insect pollinators and coffee fruit set. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2014, No. 1, p. 020027). AIP Publishing LLC.
- Snow, A. A., & Spira, T. P. (1993). Individual variation in the vigor of self pollen and selfed progeny in *Hibiscus moscheutos* (Malvaceae). *American Journal of Botany*, 80(2), 160-164.
- Stebbins, G. L. (1950). Variation and evolution in plants. In *Variation and evolution in plants*. Columbia University Press.
- Stebbins, G. L. (1957). Self fertilization and population variability in the higher plants. *The American Naturalist*, 91(861), 337-354.

- Templeton, A. R. (1986). Coadaptation and outbreeding depression. *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*, 105-116.
- Urbina, F. (2009). Proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado agrícola. *Chemonics internacional*, 4(1), 10.
- Vaidya, K. R. (2000). Natural cross-pollination in roselle, *Hibiscus sabdariffa* L.(Malvaceae). *Genetics and Molecular Biology*, 23, 667-669.
- Yang, R. C., & Yeh, F. C. (1992). Genetic consequences of in situ and ex situ conservation of forest trees. *The Forestry Chronicle*, 68(6), 720-729.
- Zaki, M. M., Heikal, S. O., & Fadl, M. H. (1975). The retting of roselle-stalks (*Hibiscus sabdariffa* L.) [For fiber production, in Egypt]. *Annals of Agriculture Sciences (Egypt)*. 20 (2): 7.

VIII. Anexos

Anexo I. Caracteres de la jamaica.



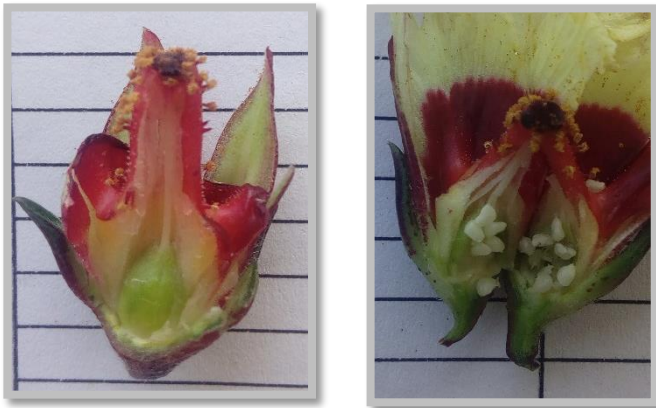
5:08 am

5:30 am

8:30 am

11:17 am

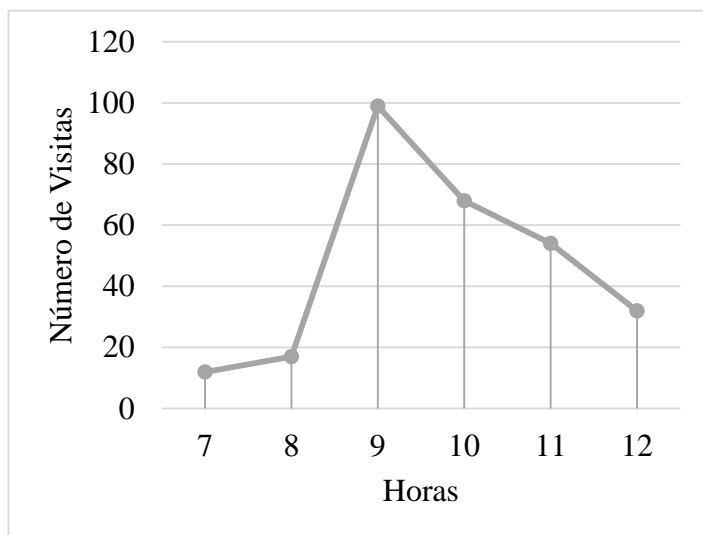
Apertura floral de la jamaica.



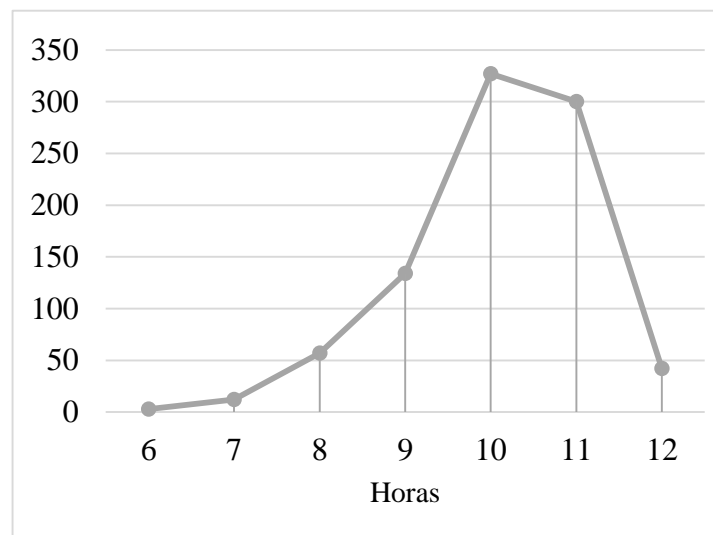
Estilo y óvulos de la flor.

Anexo II. Actividad de los visitantes florales de la jamaica.

A) 2020



B) 2021



Ladrones de néctar



Escarabajo *Conotelus* y mariposa *Thorybes Dorantes*.

Anexo III. Visitantes legítimos e ilegítimos de la jamaica.

Visitantes legítimos



Abejas: *Pseudaugochlora gramínea*, *Apis mellifera* y *Ceratina* sp.

Visitantes ilegítimos de la jamaica

Apodiformes



Archilochus colubris

Coleóptera



Escarabajos de la familia: Scarabaeidae y Chrysomelidae.

Hemíptera



Zelus renardii, *Apiomerus* sp., *Erythrogonia areolata* y *Sibovia sagata*.

Himenóptera



Formicidae y *Polistes* sp.

Lepidóptera



Dione june, *Aphrissa statira* y *Thorybes dorantes*

Ortóptera



Aidemona azteca