

**BIOLOGÍA DE LA POLINIZACIÓN DE  
*Pithecellobium keyense* (BRITTON EX. COKER) EN  
EL MATORRAL DE DUNA COSTERA DE SISAL,  
YUCATÁN, MÉXICO.**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES TROPICALES**

**POR**

**Licenciada en Biología  
Dilsy Ruby Lugo May**

**Directores:**

**Dra Virginia Meléndez Ramírez**

**Dra Miriam Monserrat Ferrer Ortega**

**Mérida, Yuc., México. Abril de 2018**



**MAESTRA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS  
NATURALES TROPICALES**

**ALUMNA : LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

**DILSY RUBY LUGO MAY**

**SÍNODO DEL EXAMEN DE TESIS DE GRADO**

DR. ENRIQUE REYES NOVELO  
CCBA-UADY

\_\_\_\_\_

DR. JORGE LEIRANA ALCOCER  
CCBA-UADY

\_\_\_\_\_

DR. VICTOR PARRA TABLA  
CCBA-UADY

\_\_\_\_\_

DR. LUIS ABDALA ROBERTS  
CCBA-UADY

\_\_\_\_\_

DRA. CELIA SÉLEM SALAS  
CCBA-UADY

\_\_\_\_\_

**MÉRIDA, YUCATÁN, ABRIL DEL 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera darle las gracias primeramente a mi familia por permitirme este logro académico, que sin su apoyo no hubiese iniciado esta etapa.

A mis asesoras la doctora Virginia Meléndez Ramírez y la doctora Miriam Ferrer Ortega por sus asesorías, consejos y apoyo financiero para el proyecto.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por otorgarme el apoyo financiero para mis estudios académicos.

A mis amigos de la maestría y a quienes me apoyaron en mi salida a campo del proyecto, Monserrat Cob, Ángel Baas Edgar Balam, David Flores, Alan Soberanis, José Cortés, Marisol Nava y Christian Molina.

A mis compañeros del laboratorio Silvia Palomo, Cristell Tapía, Ismael Jiménez y Mirley Verde y a la técnico M. en C. Norka Fortuny Fernández por su paciencia, amistad y apoyo en el laboratorio.

Al M. en C. Roberto Barrientos por su tiempo y apoyo con los programas estadísticos

Al M. en C. José Humberto Moo Valle por sus consejos y apoyo para finalizar la maestría.

A mi novio el Ingeniero mecatrónico y Lic. en mercadotecnia internacional Sergio Andrés Duarte Estrada por su paciencia, apoyo en campo y financiero para iniciar mis estudios en el posgrado.

## **DECLARATORIA**

“El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente”.

## RESUMEN

La leguminosa *Pithecellobium keyense* es una especie común y dominante en los matorrales de duna costera de Yucatán, a pesar de su importancia no se sabe nada de su proceso de polinización. Por ello, se estudiaron algunos aspectos de su biología de la polinización, como la descripción de la fenología de la flor de *P. keyense*, así como la concentración y cantidad del néctar floral producido y su relación con la diversidad de visitantes florales, además de la contribución de especies de abejas que la polinizan en la localidad de Sisal, Yucatán. Para el estudio se utilizaron 24 plantas de *P. keyense* y las observaciones se realizaron en dos períodos de floración, entre 2013 y 2017. La fenología de la flor tuvo una duración en promedio de  $47.78 \pm 0.25$  horas. La cantidad y la concentración de néctar floral varió entre días de muestreo y plantas ( $F_{44, 96} = 7.98$ ;  $P = <0.0001$  y  $F_{44, 96} = 10.67$ ;  $P = <0.0001$  respectivamente). La cantidad promedio del néctar fue de  $25.68 \pm 2.1$   $\mu$ l y la concentración del néctar en promedio fue de  $30.89 \pm 1.4^{\circ}$ Brix. Como visitantes florales se observaron un total de 560 individuos de 29 especies pertenecientes a cinco órdenes y 18 familias de insectos. Las especies más abundantes y dominantes fueron *Nannotrigona perilampoides* (342 individuos) y *Apis mellifera* (131 individuos). Se encontró que *A. mellifera* forrajea mayor cantidad de polen (2013 – 2014 =  $307.83 \pm 31.64$ ; 2017 =  $242.24 \pm 28.27$ ), mientras que *N. perilampoides* depositó la mayor cantidad de polen en los estigmas ( $20.9 \pm 1.31$ ). *N. perilampoides* fue la abeja más eficiente en este estudio para la polinización de *P. keyense*. Sin embargo, se requieren otros estudios para conocer la relación entre la polinización y la producción de frutos y semillas de *P. keyense*.

**Palabras clave:** *Pithecellobium keyense*, eficiencia en la polinización, Sisal, visitantes florales, néctar, polen.

## SUMMARY

Even though *Pithecellobium keyense* legume is a common and dominant species in the coastal dune scrub of Yucatan, nothing is known about its pollination process. For this reason, some aspects of the pollination biology of *P. keyense* such as the flower phenology were described, as well as the concentration and produced amount of floral nectar and its relationship with the diversity of the main floral visitors, also the contribution of the bees in the pollination was studied in Sisal locality, Yucatan. In total, 24 *P. keyense* plants were used and the observations were made in two flowering periods of *P. keyense* between 2013 and 2017. Floral span was on average  $47.78 \pm 0.25$  hours. The amount and concentration of floral nectar varied in time ( $F_{44, 96} = 7.98$ ;  $P = <0.0001$ ;  $P = <0.0001$  respectively). The average production of nectar was  $25.68 \pm 2.1 \mu\text{l}$  and average concentration of nectar was  $30.89 \pm 1.4^\circ\text{Brix}$ . 560 individuals of 29 species belonging to five orders and 18 families of insects were observed in the flowers. The most abundant and dominant species were *Nannotrigona perilampoides* (342 individuals) and *Apis mellifera* (131 individuals). *A. mellifera* forage the largest amount of pollen (2013 – 2014 =  $307.83 \pm 31.64$ ; 2016 =  $242.24 \pm 28.27$ ), while *N. perilampoides* deposited the largest amount of pollen in the stigmas ( $20.9 \pm 1.31$ ). *N. perilampoides* was the most efficient bee in this study for the pollination of *P. keyense*. However, other studies are required to know the relationship between the pollination and fruit and set production of *P. keyense*

**Key words:** *Pithecellobium keyense*, pollination efficiency, Sisal, floral visitors, nectar, pollen.

## Índice General

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....   | 1  |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 3  |
| 2.1. Sistema reproductivo de las plantas y polinización.....                       | 3  |
| 2.2. Recompensas florales.....   | 4  |
| 2.3. Eficiencia en la polinización.....  | 6  |
| 2.4. Polinización en las comunidades vegetales de matorrales de duna costera.....  | 8  |
| 2.5. Comunidades vegetales de dunas costeras.....                                  | 9  |
| 3. HIPÓTESIS.....  | 12 |
| 4. OBJETIVOS.....  | 12 |
| 4.1. Objetivo general.....   | 12 |
| 4.2. Objetivos específicos.....  | 12 |
| 5. REFERENCIAS.....  | 13 |
| 6. ARTICULO PARA SOMETER A LA REVISTA JOURNAL OF POLLINATION<br>ECOLOGY (JPE)..... | 21 |
| REFERENCIAS.....   | 35 |
| 7. CONCLUSIONES GENERALES.....   | 46 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Promedio y error estándar de la cantidad de néctar ( $\mu$ l) producida por 12 plantas en cuatro días de muestro de la floración (2016) de <i>Pithecellobium keyense</i> en el matorral de duna costera.....                             | 42 |
| Figura 2 Abundancia de las especies de visitantes florales de la clase Insecta en 12 plantas de matorral de duna costera durante cuatro días de la floración de <i>Pithecellobium keyense</i> de enero 2014. ....                                  | 43 |
| Figura 3. Promedio y error estándar de la concentración de azúcar en el néctar ( $^{\circ}$ Brix) producida en 12 plantas en las inflorescencias de <i>Pithecellobium keyense</i> en los cuatro días de la floración del año 2016. ....            | 43 |
| Figura 4. Resultados del ANOVA Kruskal Wallis de la evaluación en la deposición de polen de los tratamientos Abierto, <i>Apis mellifera</i> y <i>Nannotrigona perilampoides</i> durante la floración (2017) de <i>Pithecellobium keyense</i> ..... | 44 |



## Índice de cuadros

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Resultados del ANOVA de la variación en la cantidad de néctar en plantas de <i>Pithecellobium keyense</i> en matorral de duna costera. ....      | 42 |
| Cuadro 2. Resultados del ANOVA de la variación en la concentración de néctar en plantas de <i>Pithecellobium keyense</i> en matorral de duna costera. .... | 42 |

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La mayoría de las plantas con flores son visitadas por una gran variedad de animales debido a que obtienen diversas recompensas florales, principalmente néctar y polen, los cuales se encuentran disponibles en determinado tiempo del día, dependiendo de la especie de planta (Willmer, 2011). Las plantas son sésiles y requieren de vectores para el transporte de polen (*e. g.* viento, agua o animales) para lograr la reproducción sexual (Potts, 2005; Abrol, 2012).

En el caso de la interacción entre plantas y animales, ésta es de tipo mutualista, es decir, mientras los animales obtienen recompensas florales, habitualmente realizan la polinización de las flores (Gordón *et al.*, 2002; Eardley *et al.*, 2006). Sin embargo, a la fecha, aún no se conocen los polinizadores de muchas especies de plantas.

Algunos visitantes llegan a las flores para obtener las recompensas florales sin llevar a cabo la polinización, mientras que otros polinizan las flores (Endress, 1994). La eficiencia en la polinización es una medida de la contribución de los polinizadores a la dispersión de los granos de polen al estigma de plantas coespecíficas. La eficiencia en la polinización afecta, por lo tanto, el éxito reproductivo de la planta, lo cual involucra la producción de frutos y semillas y su viabilidad (Ne'Man *et al.*, 2010). Los factores que influyen sobre la eficiencia son el número de granos de polen removido, número de granos de polen depositados en los estigmas, porcentaje de flores polinizadas y producción de frutos o semillas (Dafni *et al.*, 1997; Ne'Man *et al.*, 2010).

Las abejas son uno de los grupos más importantes de animales que interactúan con las angiospermas y participan en la polinización, debido a sus hábitos alimenticios (Michener, 2007). Sin embargo, no todas las abejas tienen la misma eficiencia. *Apis mellifera* Linnaeus 1758, a pesar de ser una especie de abeja de hábitos generalistas de forrajeo, no siempre es considerada una especie eficiente para el éxito reproductivo de las plantas. Algunos autores (Raw, 1979; Westerkamp, 1991; Freitas, 1998; Canto y Parra-Tabla, 2000; Can-Alonzo *et al.* 2005) han indicado que *A. mellifera*, comparada con otras abejas silvestres, es un visitante frecuente y no siempre es un polinizador efectivo. Canto-Aguilar y Parra -Tabla (2000) observaron que las abejas nativas como *Peponapis limitaris* Cockerell 1906, son más eficientes en la polinización que *A. mellifera* debido a su frecuencia de forrajeo sincronizada a los patrones de disponibilidad de néctar y una mayor remoción y deposición de granos de polen en el estigma en las flores de *Cucurbita moschata* Duchesne *ex* Lam.

Por otra parte, las comunidades vegetales de los matorrales de dunas costeras aportan servicios ecosistémicos, tales como formar los suelos, evitar su erosión, ayudar a la fijación de nitrógeno y funcionan como barreras contra el viento y las mareas (Torres *et al.*, 2010), y también son sitios de protección, alimento y refugio para especies de hongos, plantas y animales (Martínez, 2012). En México, el matorral de duna costera de Yucatán se distribuye naturalmente en alrededor del 60% de su litoral, pero a la fecha se estima que se ha perdido casi la mitad del territorio que poseía originalmente, dándole la apariencia de parches en etapas serales, debido principalmente al deterioro por el incremento urbanístico (Espejel, 1987).

Dentro de la vegetación que conforma el matorral de duna costera se encuentra *Pithecellobium keyense*. Esta especie pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae y tribu *Ingeae*, cuyo género representa 18 especies establecidas desde México hasta el norte de Sur América y las Antillas (Barneby y Grimes, 1997). *Pithecellobium keyense* se distribuye en las Antillas, al suroeste de los estados de Norte América, Florida y en la Península de Yucatán, México (Barneby y Grimes, 1997). Desde el punto de vista florístico, es uno de los arbustos principales en el matorral de duna costera de Yucatán (Espejel, 1987; Flores y Espejel, 1994; Flores 2001; Chan *et al.*, 2002) ya que es una especie muy común (Durán *et al.*, 2011), dominante en la zona de matorrales (Leirana-Alcocer y Bautista, 2014; Chan *et al.*, 2002). Es considerada como una de las plantas melíferas más importantes en la costa (Chan *et al.*, 2002) y debido al incremento urbanístico en las costas de Yucatán, esta especie sufre un proceso de reducción en sus poblaciones (SEDUMA, 2008).

A pesar de su importancia, a la fecha no se han realizado estudios que describan la polinización de *P. keyense*, proceso esencial para su reproducción sexual y para su mantenimiento en la vegetación del matorral costero. Dentro de los pocos estudios realizados de fenología floral de la subfamilia Mimosoideae se encuentran estudios de Koptur (1983), Hernández-Conrique *et al.* (2007), Marín-Gómez *et al.* (2012) y Cruz-Neto *et al.* (2015). Por lo anterior, en este trabajo se estudiaron algunos aspectos de la biología de la polinización de *P. keyense* como la descripción de la fenología de la inflorescencia, así como la cantidad producida del néctar floral y su relación con la diversidad de sus visitantes florales, además se compararon las cargas polínicas y la deposición de polen de dos especies de abejas con mayor número de visitas a las flores, en la localidad de Sisal, Yucatán.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. *Sistema reproductivo de las plantas y polinización*

El sistema reproductivo de las plantas es el conjunto de estrategias que presentan las especies para propagarse sexualmente. En angiospermas la unidad de reproducción sexual es la flor, una estructura compuesta y adaptada para la dispersión sexual de la planta que puede presentarse de forma individual o como inflorescencias complejas, funcionando como una flor sencilla (Ollerton y Dafni, 2005). En las angiospermas las flores hermafroditas son las más comunes, se conforman de sépalos y pétalos, estambres, y carpelos. Las brácteas (órganos no florales) son órganos foliáceos encontrados en la base de las flores, juegan el papel de protección para flores o inflorescencias y algunas tienen modificaciones en los tejidos florales, encontradas dentro de estructuras auxiliares. Dentro del carpelo y la antera, se desarrollan los óvulos, gametofitos y granos de polen, y tejidos de soporte (Greulach y Edison, 1986; Richards, 1986; Ollerton y Dafni, 2005; Nabors 2006).

En las flores ocurre el proceso de polinización en donde el polen es transferido de un órgano sexual masculino a uno femenino para lograr la fecundación de los óvulos (Murcia, 2002). El estudio de la polinización incluye los análisis del proceso de floración, del sistema reproductivo de las plantas, de la identificación de los visitantes florales y de la eficiencia del transporte del polen por vectores bióticos o abióticos entre otros (Dafni *et al.*, 2005). La polinización es importante para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres e influye directamente sobre la variabilidad genética de las plantas (Roubik, 1995). Además de su importancia ecológica, tiene importancia económica en la producción de frutos en plantas cultivadas (Roubik, 1995; James y Pitts-Singer, 2008). Por lo tanto, este proceso es esencial para la reproducción sexual de diversas plantas (Gordón *et al.*, 2002).

Se conoce que alrededor del 70% de las plantas con flores (angiospermas), requieren de animales para dispersar su polen. Debido a que las plantas son sésiles, requieren de vectores para mover los granos de polen (Potts, 2005; Golubov y Mandujano, 2009; Abrol, 2012). Algunos patrones de transferencia de polen que pueden

presentarse en la dispersión de polen por sus vectores son la geitonogamia, patrón de transferencia de polen donde los polinizadores realizan visitas a diversas flores de la misma planta; la autogamia la autofecundación después de que el polen se transfiere dentro de una misma flor; y la alogamia se efectúa cuando el polen de una flor logra transferirse al estigma de otra flor de diferente planta (Richards, 1986).

## **2.2. *Recompensas florales***

Las plantas con flores ofrecen recompensas tales como el néctar, polen, resinas, aceites, aromas entre otros, para adaptarse a los polinizadores, atraerlos y lograr la polinización (Simpson y Neff., 1981; Nates-Parra, 2005; Michener, 2007). Por su parte, los polinizadores, presentan características que favorecen la polinización, tales como, tamaño corporal, comportamiento, y tamaño de las piezas bucales (González *et al.*, 2015). Adicionalmente, el arreglo de las flores en forma individual o como inflorescencia compleja, así como el arreglo que los órganos sexuales tengan en el tiempo y el espacio, también influyen en la polinización (Ollerton y Dafni, 2005). Los atributos florales influyen en los diferentes tipos de polinizadores, su conducta, sus patrones de vuelo y forrajeo, así como su eficiencia en la transferencia de polen (Mayer *et al.*, 2011).

El néctar permite llevar a cabo la transferencia de polen entre individuos de la misma especie, debido a que los visitantes florales al llegar a la flor y al alimentarse de néctar cubren sus cuerpos con granos de polen transportándolos a otra flor llevando a cabo la polinización (Ahmadjian *et al.*, 1986). Varios estudios para evaluar la cantidad de polen depositado en el estigma, han demostrado que la obtención del néctar por los visitantes florales, incrementan la cantidad de polen depositado y removido por visita (Mitchell y Waser 1992; Mitchell 1993; Burd 1995).

El néctar, aunque es un recurso restringido espacial y temporalmente, interviene en la abundancia de polinizadores y frecuencia de visitas florales. Sin embargo, en esta interacción mutualista, no siempre los dos individuos salen beneficiados (Carranza-Quinceno y Estevéz-Varón, 2008). La planta invierte mucha energía para producir el néctar, al igual que en la producción del polen (Willmer, 2011; Delaplane y Mayer, 2000). Es entonces cuando la planta y el polinizador balancean los costos y los

beneficios de esta interacción (Delaplane y Mayer, 2000; Carranza-Quinceno y Estéves-Varón, 2008).

Se conoce que las distintas especies vegetales poseen una composición similar del néctar, pero en cantidades diferentes, como los azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa) que se encuentran diluidos en agua (Crane, 1990; Dötterl *et al.*, 2014). También contienen maltosa (Brewer *et al.*, 1974), manosa (Richards, 1986) y pequeñas cantidades de compuestos químicos como sustancias aromáticas, minerales, ácidos orgánicos, aminoácidos (Crane, 1990) y lípidos (Richards, 1986). La variación en el contenido de azúcar en el néctar convierte a la flor, menos o más atractiva para diferentes visitantes florales (Dötterl *et al.*, 2014).

El polen es el principal recurso de las flores, en un sentido evolutivo, y se piensa que los primeros animales visitaban a las flores para la obtención de polen (Michener, 2007; Willmer, 2011). El polen contiene el gameto masculino o células progenitoras de las plantas angiospermas (Vit y Santiago, 2008; Willmer, 2011) y está compuesto por una célula vegetativa cuyo citoplasma posee células espermáticas rodeadas por una compleja pared externa (Nabors, 2006), la cual está adaptada para proteger y nutrir al gameto masculino durante el proceso de maduración (Willmer, 2011). El polen es la principal fuente de nitrógeno en la dieta de las abejas, contiene alrededor de 2,5% a 61,0% de proteínas (Buchmann, 1986) y su variación puede determinar las interacciones entre los polinizadores y la planta (Roulston *et al.*, 2000). Además, contienen ácidos grasos, vitaminas ( $\beta$ -caroteno, tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, piridoxina, ácido ascórbico, biotina, ácido fólico y tocoferoles) y pigmentos (Muniategui *et al.*, 1991).

Los granos de polen presentan una gran variedad de tamaño, formas, patrones de ornamentación de la superficie entre otras características (Greulach y Edison, 1986), lo que permite la identificación de la planta de procedencia, a través de sus caracteres como la pared, aperturas, simetría y polaridad, agregados polínicos, forma y tamaño (Erdtman, 1953).

Por otro lado, cuando el polen se libera de las anteras, ocurre el proceso de activación de los granos de polen al absorber agua por las aperturas, liberando proteínas hidrosolubles (Acosta, 2016). En este proceso, el grano de polen hace contacto con el estigma y determina si un grano de polen germina o no. Esta activación también se lleva

a cabo por la atmósfera, mucosas, estigma de otra especie y estigma de la propia especie (Ávila-Castañeda y Cruz-García, 2011).

En las angiospermas 2/3 partes de las familias presentan fenómenos de auto-incompatibilidad genética (sistema de incompatibilidad sexual). Este fenómeno es definido como la incapacidad de las plantas hermafroditas fértiles para producir semillas posteriormente a la autopolinización (Ávila-Castañeda y Cruz-García, 2011). Esto ocurre debido a que diversas especies de plantas desarrollan un mecanismo genético-bioquímico para reconocer el polen; la superficie del estigma secreta iones de calcio que permiten la germinación del polen, así como hormonas que estimulan el crecimiento del tubo polínico (Jiménez-Durán y Cruz-García, 2011). Por lo tanto, cuando el polen es discriminado como incompatible, el grano de polen logra germinar en el estigma, pero el crecimiento se detiene en la superficie estigmática o en el interior del estilo (Jiménez-Durán y Cruz-García, 2011; Ávila-Castañeda y Cruz-García, 2011).

Por otra parte, cuando el grano de polen es compatible, el grano de polen germina en el estigma y lleva consigo el crecimiento del tubo polínico en el estilo (Nabors, 2006). Dicho tubo polínico es una señal de viabilidad del polen, el cual se prolonga mediante los espacios intercelulares del pistilo, transportando el citoplasma del polen, los núcleos vegetativos y las células espermáticas (Krichevsky *et al.*, 2007). De este modo, se da lugar a la polinización cruzada, la cual permite alta capacidad de supervivencia a cambios medioambientales e intercambio de flujo genético que contribuye a la diversidad genética de las especies (Nabors, 2006; Jiménez-Durán y Cruz-García, 2011).

### ***2.3. Eficiencia en la polinización***

Múltiples organismos son atraídos por la flor, sin embargo, no todos los que visitan a una flor pueden considerarse polinizadores (Potts, 2005; Nates-Parra, 2005; Waser y Ollerton, 2006). Estos deben cumplir ciertos requisitos: el agente debe visitar con frecuencia a la flor, ser atraído en forma natural por las flores de esa especie, transportar una gran cantidad de polen fértil y que esta carga polínica sea de la misma especie, poseer el tamaño y comportamiento adecuados para remover el polen de los estambres, depositar suficiente polen en el estigma receptivo adecuado y visitar las flores cuando

los estigmas tengan buena receptividad y antes de la degeneración de los óvulos (Nates-Parra, 2005; Potts, 2005).

La eficiencia en la polinización es la medida de los resultados de costo-beneficio que se da entre un visitante animal y una flor, y a menudo se lleva a cabo para clasificar la importancia de diferentes especies tanto de visitantes florales como de polinizadores (Gross, 2005). Entre los estimadores de eficiencia en la polinización se encuentran el porcentaje de flores polinizadas, producción de frutos o semillas producidas y remoción de polen (número de granos de polen removido y depositados en estigmas) (Dafni *et al.* 1997; Ne'Man *et al.*, 2010). En cuanto a los costos, interviene el gasto de energía para la producción de néctar, polen y óvulos, y estigmas dañados que afectan el atractivo de la flor (Gross, 2005).

Son diversas las especies de insectos que contribuyen en la polinización y es posible que su eficiencia, varíe entre las especies de polinizadores (Jauker *et al.*, 2012). Asimismo, la diversidad de polinizadores puede variar entre las especies de plantas, desde la especialización en plantas, que dependen de una o unas cuantas especies de polinizadores, a las especies de plantas polinizadas por un amplio catálogo de especies animales de diversos grupos taxonómicos y funcionales (Perfectti *et al.*, 2009).

Los principales visitantes florales de las angiospermas son insectos (especialmente abejas) y algunos vertebrados (Buchmann y Nabhan, 1996; Michener, 2007). Es llamado visitante floral a aquel animal que se aproxima a las flores para encontrar algún recurso (Golubov y Mandujano, 2009). Algunos insectos, como las abejas, forrajean polen y néctar, recurriendo a grandes cantidades de flores periódicamente para satisfacer sus requerimientos individuales y la de sus crías o las de la colonia (Thorp, 2000). Estas visitas que realizan las abejas, las convierte en los principales agentes polinizadores (Roubik, 1995).

Muchos insectos colectores de polen, suelen obtener polen de unas especies de plantas y néctar de otras (Thorp, 2000). Para comprender el tipo de relación entre las especies de plantas con flores y el visitante floral, es necesario conocer el efecto de la reproducción de las especies de plantas con flores visitadas. La colecta de diferentes recompensas florales influye en la carga polínica, distancia del vuelo, tasa de polen colectado, constancia en las visitas, consumo de néctar y, por lo tanto, en la eficiencia de la polinización (Potts, 2005).



#### **2.4. Polinización en las comunidades vegetales de matorrales de duna costera**

Entre las interacciones que se efectúan entre planta-animal, los insectos al ser un grupo muy abundante en las dunas costeras (Martínez, 2012) requieren mayor atención debido a que intervienen en el éxito reproductivo de las plantas, entre ellos se encuentran los himenópteros (abejas y avispas) y lepidópteros (Gottsberger *et al.*, 1988; Ramírez y Brito, 1992; Jiménez *et al.*, 2015).

En una caracterización de la apifauna en seis áreas protegidas de Yucatán (Dzibilchaltún, Dzilam, El Palmar, Kabah, Lagunas de Yalahau y Tabi), se analizó la diversidad de las especies, los estilos de vida y tipos de anidamientos de dicha apifauna. En la duna costera, Reserva El Palmar, se registraron 30 especies de abejas silvestres y en Dzilam 60 especies, siendo las familias Apidae, Megachilidae, Halictidae, Colletidae y Andrenidae las de mayor riqueza (Reyes *et al.*, 2009). Mientras que en el matorral de dunas costeras de La Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos se registró 378 individuos de especies dominantes (*Nannotrigona perilampoides* Cresson 1878, *Agapostemon nasutus* Smith 1853, *Augochlorella pomoniella* Cockerell 1915, *Xylocopa mexicanorum* Cockerell 1912, *Centris inermis* Friese 1899, *Megachile dentipes* Vachal 1909, *Ceratina* sp 4 Latreille, *Ceratina* aff. *capitosa* Smith 1879, *Eulaema polychroma* Mocsáry 1989 y *Centris trigonoides* Lepelletier 1841 (Novelo-Rincón, 2003).

En estudios de interacciones de redes planta-polinizador y los cambios generados en la composición de especies dentro de la red, en la vegetación de matorrales costeros de Holchit y Cancunito, México (Campos-Navarrete *et al.*, 2013), se registraron a *Apis mellifera* (33%), *Augochlorella pomoniella* (23%) y *Polistes* sp. 1 (16%) como los polinizadores con mayor número de interacciones comunes.

Por otra parte, en un estudio sobre la determinación de la diversidad de especies visitantes y polinizadores de *Scaevola plumieri* (L.) Vahl y *Cakile lanceolata* (Willd.) O. E. Schulz, en la vegetación de duna costera de las localidades de Punta Cancunito y Chuburná Puerto en dos épocas del año (Ay-Balam, 2014), se observó un total de 108 especies de visitantes florales y polinizadores pertenecientes a Hymenoptera, Diptera y Lepidoptera de los cuales *Apis mellifera* fue la especie más abundante (Ay-Balam, 2014). Lemus-Jiménez y Ramírez, (2003) registraron a *A. mellifera* como polinizador de *Scaevola plumieri*. *A. mellifera* realiza mayor forrajeo de néctar y polen comparada con las especies nativas de abejas (Donovan, 2013).

En trabajos de matorrales de la costa de Sisal y Chuburná Puerto, Yucatán, Navarro (2016) estudió a los visitantes florales de la Fabacea *Caesalpinia vesicaria* (L.). Registró la riqueza de 42 individuos para *C. vesicaria*, con una abundancia en ambos sitios de 1655 organismos. Encontró que las especies más dominantes fueron *A. mellifera* y *N. perilampoides* (Apidae), siendo los de mayor riqueza las familias Formicidae (15), Vespidae (11), Sacarabaeidae (6) y Lepidoptera (4). La localidad de Sisal obtuvo mayor riqueza de especies (32), mientras que Chuburná Puerto presentó nueve especies. Los polinizadores que interactúan con las Mimosoideae como algunas especies de *Inga* están relacionados con especies de la familia Formicidae, los cuales no cumplen como polinizadores sino como guardianes (Goncalves *et al.* 2010). Hasta ahora no se han realizado trabajos de visitantes y polinizadores en muchas especies de plantas de la duna costera en Yucatán.

## **2.5. Comunidades vegetales de dunas costeras**

Las comunidades vegetales de dunas costeras aportan servicios ecosistémicos, como formar los suelos y evitar la erosión del mismo, ayudar en la fijación de nitrógeno, funcionan como barreras contra viento y mareas (Torres *et al.*, 2010), y también son sitios de protección, alimento y refugio para especies de hongos, plantas y animales (Martínez, 2012). Se han registrado, sólo para el litoral costero de la Península, 71 especies de plantas vasculares pertenecientes a 36 familias (Torres *et al.*, 2010; Durán *et al.*, 2011; Martínez, 2012; Jiménez *et al.*, 2015). Las comunidades de dunas costeras que Yucatán posee, se distribuyen naturalmente alrededor de un 60% de su litoral. El matorral de dunas costeras de Yucatán, está conformado por un conjunto de comunidades vegetales que han experimentado una alteración urbanística, ya sea por el valor turístico y económico, o asentamientos urbanos, perdiéndose más de la mitad del territorio vegetal de dunas costeras (Durán *et al.*, 2011; Jiménez *et al.*, 2015). Esto genera fragmentación de la vegetación, provocando que las poblaciones de plantas se aislen y disminuyan su tamaño efectivo poblacional (Linares, 2012). Es por ello que la vegetación de dunas costeras de Yucatán, presenta una distribución heterogénea con

localidades dominadas por especies herbáceas, otras por matorrales arbustivos y otras por especies arbóreas o ambas (Durán-Castillo, 2012).

En las dunas costeras, se observa una diferencia muy marcada entre la vegetación de dos zonas, cuyas características florísticas, fisonómicas y estructurales son determinadas por cambios en las condiciones del medio físico y biótico. La primera zona está representada por la vegetación pionera, encontrada cercana a la orilla de la playa, emerge sobre arena removida, primeramente, por el viento y el mar, y posee un alto nivel de salinidad (Durán *et al.*, 2011). Las especies vegetales de esta zona, presentan mayor tolerancia a la salinidad y son resistentes al enterramiento con arena, sequía, escasez de nutrientes y altas temperaturas (Martínez, 2012). En esta zona, se puede encontrar plantas herbáceas y arbustivas (Durán *et al.*, 2011).

La segunda zona está conformada por la vegetación de matorrales, se ubica en el interior de la duna, con arena fija y suelo con grandes cantidades de materia orgánica. La vegetación que la habita son los arbustos y árboles, resistiendo muy poco a los cambios ambientales. Los arbustos tienen menor altura, encontrándose en zonas áridas y expuestas, mientras que los árboles tienen mayor altura y se encuentran en zonas protegidas y con mayor humedad (Durán *et al.*, 2011).

Dentro de las especies vegetales de esta zona se encuentra *Pithecellobium keyense*. Pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae que incluye entre 50 y 60 géneros y 2500 especies en todo el mundo (Forero y Romero, 2005), tribu *Ingeae*, y su género el cual cuenta con 18 especies (Barneby y Grimes, 1997). *P. keyense* difiere de las demás especies debido a que el fonículo de la semilla está modificado dentro de un arilo esponjoso de coloración roja, cubriendo poco menos de la tercera parte o la mitad de la semilla, cuya medida es de 6-15 cm de largo y 8-10 mm de ancho (Chan *et al.*, 2002) y sus estípulas disminuyen a una pequeña escala, lo cual es una reversión a una condición prevalente en otros miembros de la tribu *Ingeae* (Barneby y Grimes, 1997).

*Pithecellobium keyense* habita en las Antillas (Cuba, Bahamas, Islas Turcas y Caicos), suroeste de Estados de Norte América, Florida, Centroamérica (Belice) y en la Península de Yucatán (México) (Barneby y Grimes, 1997; Duno, 2009). Los tipos de vegetación donde se establece el género *Pithecellobium* son selva baja subcaducifolia, selva baja caducifolia espinosa, selva mediana subcaducifolia y selva mediana

subperennifolia, mientras que *P. keyense* es característico de las dunas costeras (Flores y Espejel, 1994).

Esta especie es considerada uno de los elementos florísticos importantes en el matorral de dunas costeras de Yucatán (Flores y Espejel, 1994; Flores 2001; Duno, 2009; Leirana-Alcocer y Bautista, 2014), debido a su alto valor de importancia relativa (VIR) en 12 de 22 sitios analizados de dunas costeros de Yucatán (Alcocer-Cruz, 2013). Hasta la fecha se desconoce si *P. keyense* tiene usos medicinales, pero se conoce que es una planta melífera muy importante en la costa y en Cancún se emplea como una especie ornamental con gran potencial (Chan *et al.*, 2002).

Leirana-Alcocer y Bautista (2014), sugieren que la densidad de *P. keyense* se asocia con el contenido de materia orgánica y nitrógeno total del suelo de dunas costeras. Es por ello que *P. keyense* es considerado uno de los elementos importantes que conforman los matorrales de dunas costeras, puesto que tiene la capacidad de aumentar la fertilidad del suelo con poca cobertura vegetal, permitiendo el surgimiento y la distribución de otras especies, tales como herbáceas, epífitas y arbustos que son menos resistentes a microhábitats abiertos, al igual determina el establecimiento de hongos, bacterias e invertebrados que también ayudan a la formación del suelo como termitas y hormigas. Lo anterior es debido a la frecuencia y cobertura de *P. keyense* que influye en la cantidad de luz que se proyecta al suelo, la variación térmica y la velocidad del viento que se dispersa en el subdosel (Vanessa Hernández, com. Pers.).

### 3. HIPÓTESIS

- La cantidad y concentración del néctar floral de las inflorescencias de *P. keyense* estarán relacionadas con la abundancia de sus visitantes florales.
- Las abejas nativas serán más eficientes en la polinización de *P. keyense* que *Apis mellifera*.

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. *Objetivo general*

Caracterizar algunos aspectos de la biología de la polinización de *Pithecellobium keyense* en el matorral de duna costera de la localidad de Sisal, Yucatán.

#### 4.2. *Objetivos específicos*

- Describir la duración de las diferentes fases fenológicas en las flores de *Pithecellobium keyense*.
- Estimar la riqueza de las especies de visitantes florales de *Pithecellobium keyense*.
- Describir la relación entre la abundancia de los visitantes florales de *Pithecellobium keyense* con la cantidad y concentración de azúcar del néctar.
- Estimar la carga polínica y deposición del polen en el estigma de la flor de *P. keyense* de los visitantes más abundantes (*Apis mellifera* y *Nannotrigona perilampoides*).

## 5. REFERENCIAS

- Abrol, D. 2012. *Pollination Biology: Biodiversity conservation and agricultural production*. Springer Science + Business Media. London, New York.
- Acosta, M. 2016. *Caracterización morfológica y molecular del proceso de adhesión celular por plantas*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Litoral. 203
- Ahmadjian, V., S. Paracer y L. Margulis. 1986. *Symbiosis. An introduction to biologicals associations*. Clark University. Hanover. 212.
- Alcocer- Cruz, E. 2013. *Distribución y abundancia de seis especies de aves asociadas al matorral de duna costera del Estado de Yucatán*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Ávila-Castañeda, B. y F. Cruz-García. 2011. Sistema de incompatibilidad gametofítico en plantas: una oportunidad para evitar la endogamia. *Mensaje Bioquímico*. 35: 67-78.
- Ay-Balam, R. 2014. *Diversidad de visitantes y polinizadores de *Scaevola plumieri* (L.) Vahl y *Cakile lanceolata* var. *geniculata* (B.L. Rob.) Shinnery, en dos localidades de la duna costera de Yucatán, México*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Barneby, R. y J. Grimes. 1997. Silk tree, Guanacaste, Monkey's earring: a generic system for the synandrous Mimoseae of the Americas. Part II. *Pithecellobium*, *Cojoba*, and *Zygia*. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 74: 1-149.
- Buchmann, S. 1986. Vibratile pollination in *Solanum* and *Lycopersicon*: A look at pollen chemistry. 237-252. En: D'Arcy Ed. 1986. *Solanaceae: Biology and systematics*. New York: Columbia University Press.
- Buchmann, S. y G. Nabhan. 1996. *The forgotten pollinators*. Island Press, Washington D.C. 292.
- Burd, M. 1995. Pollinator behavioural responses to reward size in *Lobelia deckenii*: no escape from pollen limitation of seed set. *Journal Ecology* 83: 865–872.
- Campos, M., V. Parra, J. Ramos, C. Díaz y E. Reyes. 2013. Structure of plant-Hymenoptera networks in two coastal shrub sites in Mexico. *Arthropod Plant Interactions*. 7: 607-617.

- Can-Alonzo, C., J. Quezada-Euán, P. Xiu-Anconca, H. Moo-Valle, G. Valdovinos-Nunez y S. Medina-Peralta. 2005. Pollination of “criollo” avocados (*Persea americana*) and the behavior of associated bees in subtropical Mexico. *Journal of Apicultural Research*. 44: 3-8
- Canto, A, V. Parra. 2000. Importance of conserving alternative pollinators: assessing pollination efficiency of the squash bee *Peponapis limitaris* in *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Journal of Insect Conservation* 4: 201-208
- Carranza-Quinceno, J. y J. Estevéz-Varón. 2008. Ecología de la polinización de *Bromeliaceae* en el dosel de los bosques neotropicales de montaña. *Boletín Científico. Museo de Historia Natural*. 12: 38-47.
- Chan, V., V. Rico-Gray y J. Flores. 2002. Guía ilustrada de la flora costera representativa de la Península de Yucatán. *Etnoflora yucatanense. Edición especial. Fascículo 19. UADY. México*. 133.
- Crane, E. 1990. *Bees and beekeeping science. Practic and world resources*. Heinemann Newnes. Oxford. 613.
- Cruz-Neto, O., I. Machado, L. Galetto y A. Lopes. 2015. The influence of nectar production and floral visitors on the female reproductive success of *Inga* (Fabaceae): a field experiment. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 177: 230-245.
- Dafni, A., M. Lehrer y P. Kevan. 1997. Spatial flower parameters and insect spatial vision. *Biological Reviews*. 72 (1): 239-282.
- Dafni, A., P. Kevan, y B. Husband. 2005. *Practical Pollinator Biology*. Enviroquest. Canadá. 1 - 365.
- Delaplane, S y F Mayer. 2000. *Crop pollination by bees*. CAB International. UK University Press, Cambridge. 2: 8-19.
- Donovan, B., J. Munzinger, A. Pauly y G. McPherson. 2013. Flower-visiting records of the native bees of New Caledonia. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1:19-43.
- Dötterl, S., U. Glück, A. Jürgens, J. Woodring y G. Aas, 2014. Floral reward, advertisement and attractiveness to honey bees in dioecious *Salix caprea*. *PloS one*, 9(3), e93421.

- Durán, G., A. Torres, and C. Espejel. 2011. Vegetación de dunas costeras. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 136-137.
- Durán-Castillo, M. 2012. Efecto de la urbanización en la comunidad vegetal del matorral de duna costera en el Estado de Yucatán, México. Tesis de licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México. 41.
- Eardley, C., D. Roth, J. Clarke, S. Buchmann, y B. Gemmill. 2006. Pollinators and pollination: a resource book for policy and practice. Agricultural Research Council. 77.
- Endress, P. 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Reino Unido, Cambridge University Press.
- Erdtman, G. 1952. Pollen morphology and plant taxonomy-Angiosperms: An Introduction to Palynology. New York. Chronica Botanica. 1: 539.
- Espejel, I. 1987. A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatan Peninsula. Journal of Biogeography. 14:499 - 519.
- Flores, S. y C. Espejel. 1994. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Fascículo 3. Etnoflora yucatanense. UADY. Sustentabilidad Maya. México.
- Flores, S. 2001. Leguminosae. Florística, etnobotánica y ecología. Etnoflora yucatanense. Fascículo 18. UADY. México. 291.
- Forero, E. y C. Romero. 2005. Estudios en leguminosas Colombianas. Academia Colombiana de Ciencias Exactas. Bogotá, Colombia. 174.
- Freitas, B. 1998. A importância relativa de *Apis mellifera* e outras espécies de abelhas na polinização de culturas agrícolas. In Encontro sobre abelhas. Anais. Ribeirão Preto, BR. 10-20.
- Golubov, J. y M. Mandujano. 2009. ¿Por qué los polinizadores visitan a las flores?. Casa del tiempo. 21:39-41.
- Goncalves, S, B. Silva, S. Candido. 2010. Visitantes florais de *Inga edulis* (Fabaceae-Mimosoideae), in region pantanal-Passo do Lontra. Visão Acadêmica, Curitiba. 11: 14-22.



- González, A., M. Murúa, y F. Pérez. 2015. Floral integration and pollinator diversity in the generalized plant-pollinator system of *Alstroemeria ligtu* (Alstroemeriaceae). *Evolutionary Ecology* 29:63-75.
- Gordón, M., J. Atlántico, y C. Ornos. 2002. Polinizadores y biodiversidad. Asociación española de Entomología, Jardín Botánico Atlántico y Centro Iberoamericano de la Biodiversidad Eds.
- Gottsberger, G., M. Camargo e I. Silberbauer-Gottsberger. 1988. A bee-pollinated tropical community: The beach dune vegetation of Ilha de Sao Luis, Maranhao, Brazil. *Botanische Jahrbücher für Systematik*. 109:469-500.
- Greulach, V. y J. Edison. 1986. Las plantas. Introducción a la botánica moderna. Limusa. México. 556, 557.
- Gross, C. 2005. Pollination efficiency and pollinator effectiveness 6:354-365. En *Practical pollination biology*. 2005. Dafni, A., P. G. Kevan, y B. C. Husband. Enviroquest. Canadá, pp 1 - 365.
- Hernández-Conrique, D, F. Ornelas , G. García-Franco y F. Vargas 2007. Nectar production of *Calliandra longipedicellata* (Fabaceae: Mimosoideae), an endemic mexican shrub with multiple potential pollinators. *Biotrópic*. 39 (4):459–467.
- Hernández, V. 2017. Microambiente, banco de semillas y estrato herbáceo asociados a *Pithecellobium keyense* en Chuburná Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán.
- James, R y L. Pitts-Singer. 2008. Bee pollination in Agricultural Ecosystems. Oxford, University Press. 232.
- Jauker, F., B. Bondarenko, H. Becker, y I. Dewenter. 2012. Pollination efficiency of wild bees and hoverflies provided to oilseed rape. *Agricultural and Forest Entomology* 14:81-87.
- Jiménez-Durán, K. y F. Cruz-García. 2011. Incompatibilidad sexual, un mecanismo genético que evita la autofecundación y contribuye a la diversidad vegetal. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34 (1):1-9.
- Jiménez O., I. Espejel, y M. Martínez. 2015. La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86:486-507.

- Koptur, S. 1983. Flowering phenology and floral biology of *Inga* (Fabaceae: Mimosoideae). American Society of Plant Taxonomyc. Systematic Botany. 8 (4):354-368.
- Krichevsky A, S. Kozlovsky, G. Tian, M. Chen, A. Zaltsman, V. Citovsky. 2007. How pollen tubes grow. ELSEVIER. Developmental Biology. 303:405-420.
- Leirana-Alcocer, J., y F. Bautista. 2014. Patrones de asociación entre la cobertura vegetal y la calidad del suelo en el matorral costero de la Reserva Ría Lagartos, Yucatán. Ciencia UAT. 8:44-53.
- Lemus-Jiménez y N. Ramírez. 2003. Polinización y polinizadores en la vegetación de la planicie costera de Paraguaná, Estado Falcon, Venezuela. Acta Científica Venezolana. 54:97-114.
- Linares, B. , M. Ferrer, S. Good, V. Parra y J. Zapata. 2012. Diversidad y diferenciación genética de dos especies de fabaceae en un paisaje fragmentado del matorral de duna costera en Yucatán, México. Conservation Genetics. 1:20.
- Marín-Gómez H., F. Castaño-González y D. Gómez-Marín. 2012. Fenología del guamo *Inga edulis* (Fabales: Mimosoideae) en dos agroecosistemas del Quindío, Colombia. Revista de Investigación de la Universidad de Quindío. (Col.), 23(2):127-133.
- Martínez, L. 2012. Las playas y dunas costeras. Un hogar en movimiento. Fondo de Cultura Económica. México. 10-117.
- Mayer, C., L. Adler, S. Armbruster, A. Dafni, C. Eardly, S. Haung, P. Kevan, J. Ollerton, L. Packer y A. Ssymank. 2011. Pollination ecology in the 21st century: key question for future research. Journal of Pollination Ecology. 3:8-23.
- Michener, C. 2007. The bees of the world. 2da edición. Estados Unidos. Johns Hopkins University Press. Baltimore. MD.
- Mitchell, R. 1993 Adaptive significance of *Ipomopsis aggregata* nectar production: observation and experiment in the field. Evolution. 47:25-35.

- Mitchell, R. y M. Waser. 1992 Adaptive significance of *Ipomopsis aggregata* nectar production: pollination success of single flowers. *Ecology*. 73:633–638.
- Muniategui, S, M. Sancho, S. Pérez, J. Huidobro y J. Simal. 1991. Algunos parámetros físico-químicos de la grasa del polen apícola. *Grasa Aceites*. 42:148-150.
- Murcia, C., 2002. Ecología de la polinización. En: *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Guariguata y Kattan. Costa Rica. 493-530.
- Navarro, C. 2016. Evaluación de los polinizadores de *Caesalpinia vesicaria* (Fabacea: Caesalpinioideae) en el matrorral costero de Yucatán, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México. 56.
- Nabors, M. 2006. *Introducción a la botánica*. Pearson. Addison Wesley. España. 744.
- Nates-Parra, G. 2005. Abejas silvestres y polinización. *Manejo integrado de plagas. Agroecología*. Costa Rica. 76: 7-20.
- Novelo-Rincón, L., H. Delfín, R. Ayala y H. Contreras. 2003. Community structure of native bees in four vegetation types in the dry tropics of Yucatán, México. *Folia Entomológica Mexicana* 42:177-190.
- Ollerton, J., y A. Dafni. 2005. Functional floral morphology and phenology. 1:1-26. En *Practical pollination biology*. 2005. Dafni, A., P. G. Kevan, y B. C. Husband. *Enviroquest*. Canadá. 1 - 365.
- Orellana, R., M. Balam, I. Bañuelos, E. García, F. Herrera, J. Vidal. 1999. Evaluación climática. *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. P. Chico Ponce de León, García de Fuentes, A. y Córdoba y Ordóñez, J. Mérida, Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán: 163-182.
- Perfectti, F., J.Gómez, y J. Bosch. 2009. The functional consequences of diversity in plant–pollinator interactions. *Oikos* 118:1430-1440.
- Potts, S. 2005. Recording pollinator behavior on flowers. 6:329-339. En *Practical pollination biology*. 2005. Dafni, A., P. G. Kevan, y B. C. Husband. *Enviroquest*. Canadá. 1-365.

- Ramírez, N. y Y. Brito. 1992. Pollination biology in a palm swamp community in the Venezuelan Central Plains. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 110:277-302.
- Raw, A. 1979. *Centris dirrhorda* (Anthophoridae), the bee visiting West Indian Cherry flowers (*Malpighia puniceifolia*). *Revista de Biología Tropical* 27(2):283-285.
- Reyes-Novelo., V., Meléndez, R., Ayala y H. , Delfín. 2009. Bee Faunas (Hymenoptera: Apoidea) of Six Natural Protected Areas in Yucatan, Mexico. *Entomological News*, 120 (5):530-544.
- Richards, A., 1986. *Plant breeding systems*. George Allen y Unwin. London. 529.
- Roubik, W. 1995. *Pollination of cultivated plants in the tropics*. FAO. Rome. 196.
- Roulston T, J. Cane y S. Buchmann. 2000. What governs protein content of pollen: pollinator preferences, pollen-pistil interactions, or phylogeny?. *Ecological Monographs*. 70 (4): 617- 643.
- SEDUMA. 2008. *Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial Costero del Estado de Yucatán 2001-2007*. Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. Gobierno del estado de Yucatán, México.
- Simpson, B. y J. Neff. 1981. Floral rewards alternatives to pollen and nectar. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 68 (2):301-322.
- Torres, W., M. Méndez, A. Dorantes, y R. Durán. 2010. Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 86: 37-51.
- Thorp, R. 2000. The collection of pollen by bees. *Plant Systematics and Evolution*. 222:211-223.
- Vit, P., y B. Santiago. 2008. Composición química de polen apícola fresco recolectado en el páramo de Misintá de Los Andes venezolanos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58:411-415.

- Waser, N., y J. Ollerton. 2006. Plant pollinator interactions. From specialitation to generalization. The University of Chicago, pp 3-145.
- Westerkamp, C. 1991. Honeybees are poor pollinators-why? *Plant Systematic and Evolution*. 177:71-75.
- Willmer, P. 2011. *Pollination and floral ecology*. Princeton University Press. E.U.A.154-220.

6. ARTICULO PARA SOMETER A LA REVISTA JOURNAL OF POLLINATION ECOLOGY (JPE).

**BIOLOGÍA DE LA POLINIZACIÓN DE *Pithecellobium keyense* (BRITTON EX. COKER) EN EL MATORRAL DE DUNA COSTERA DE SISAL, YUCATÁN, MÉXICO.**

***Pithecellobium keyense* (BRITTON EX. COKER) POLLINATION BIOLOGY IN COASTAL DUNE SCRUB OF SISAL, YUCATAN, MEXICO.**

Dilsy R. Lugo\*<sup>1</sup>, Virginia Meléndez<sup>1</sup> y Miriam M. Ferrer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Zoología y <sup>2</sup>Departamento de Recursos naturales, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarios. Universidad Autónoma de Yucatán. Carr. Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 s/n. Mérida, Yucatán, México C.P 97100

Autor para la correspondencia: \*dilsyzu@gmail.com

## RESUMEN

La biología de la polinización de *P. keyense*, se estudió a través de la descripción de la fenología de las flores en las inflorescencias, la estimación de la cantidad y concentración del néctar floral y su relación con la diversidad de visitantes florales, y la eficiencia de la polinización de los visitantes más abundantes. Para el estudio se incluyeron 24 plantas en la localidad de Sisal, Yucatán, durante dos periodos de floración 2013 - 2014 y 2016 - 2017. Las flores tienen una duración en promedio de 47.78 hr.  $\pm$  0.25 hr. La cantidad y concentración de néctar varió en el tiempo ( $F_{44, 96} = 7.98$ ;  $P = <0.0001$  y  $F_{44, 96} = 10.67$ ;  $P = <0.0001$  respectivamente) y en promedio se produjeron 25.68  $\mu$ l  $\pm$  2.1  $\mu$ l por inflorescencia, que tuvieron una concentración promedio de 30.89  $\pm$  1.4°Brix. Se observaron 560 individuos de 29 especies pertenecientes a cinco órdenes y 18 familias de insectos visitando las flores. Las cargas polínicas y la deposición de polen en el estigma para *Apis mellifera* y *Nannotrigona perilampoides* variaron, *A. mellifera* forrajeó mayor cantidad de polen y *N. perilampoides* depositó mayor cantidad de polen en los estigmas. *N. perilampoides* y fue la abeja más eficiente en este estudio para la polinización de *P. keyense*. Sin embargo, se requieren otros estudios para conocer la relación entre la polinización y la producción de frutos y semillas de *P. keyense*.

**Palabras clave:** *Pithecellobium keyense*, eficiencia en la polinización, Sisal, visitantes florales, néctar, polen.

## INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista florístico *Pithecellobium keyense* es una especie común en los matorrales costeros de Florida, en el suroeste de Estados de Norte América, las Antillas y en la región de la Península de Yucatán, México (Barneby y Grimes, 1997; Flores 2001; Chan et al. 2002; Jiménez et al. 2015). Es una especie dominante en las costas de Yucatán (Flores y Espejel 1994; Torres et al. 2010) debido a su alto valor de importancia relativa (VIR) en 12 de 22 sitios analizados de dunas costeros de Yucatán (Alcocer - Cruz, 2013) y cumple la función de planta nodriza para semillas y plántulas (Hernández 2017). Se desconoce si *P. keyense* tiene usos medicinales, es considerada como una planta melífera importante (Chan et al. 2002) y en Cancún se emplea como una especie ornamental con gran potencial (Chan *et al.*, 2002).

En las dunas costeras de México se han registrado más de 400 interacciones biológicas entre las especies, entre las cuales se encuentran las interacciones planta-planta, planta-micorriza y planta-animal en diversos microambientes, que van desde las dunas móviles hasta matorrales costeros y selvas (Jiménez et al. 2015). Dentro de las interacciones planta-animal se encuentran las interacciones planta-insecto, los insectos debido a su abundancia en las dunas costeras requieren mayor atención puesto que intervienen en el éxito reproductivo de las plantas; entre ellos se encuentran los himenópteros (abejas y avispas) y lepidópteros (Gottsberger et al. 1988; Ramírez y Brito 1992; Jiménez et al. 2015).

Diversos insectos visitan a las flores por las recompensas florales que las plantas les ofrecen (néctar y polen principalmente) (Willmer 2011). Sin embargo, no todos los visitantes florales pueden considerarse polinizadores (Endress 1994; Roubik 1995; Potts 2005; Nates-Parra 2005; Waser y Ollerton 2006). Para clasificarse como agente polinizador debe visitar con frecuencia a la flor, ser atraído en forma natural por las flores de esa especie, transportar una gran cantidad de polen fértil de la misma especie de planta, poseer el tamaño y comportamiento adecuados para remover el polen de los estambres, depositar suficiente polen en el estigma receptivo y visitar las flores con estigmas receptivos y precedentemente del inicio de la degeneración de los óvulos (Nates-Parra, 2005; Potts, 2005). Por lo tanto, se lleva a cabo una clasificación de importancia tanto de especies de visitantes florales como de polinizadores para conocer su eficiencia en la polinización (medida de los resultados de costo-beneficio que se da entre un visitante animal y una flor (Gross 2005).

Algunos autores (Kaendall y Salomon 1973; Raw 1979; Westerkamp 1991; Heard 1994; Freitas 1998; Canto y Parra-Tabla 2000; Can – Alonzo et al. 2005) han indicado que *Apis mellifera* Linnaeus 1758, en



comparación con otras abejas silvestres es un visitante frecuente pero no siempre es un polinizador efectivo. En estudios como los de Canto - Aguilar y Parra - Tabla (2000) se observó que las abejas nativas como *Peponapis limitaris* Cockerell 1906, son más eficientes en la polinización que *A. mellifera* debido a su frecuencia de forrajeo sincronizada a los patrones de disponibilidad de néctar y su mayor remoción y deposición de granos de polen en el estigma en las flores de *Cucurbita moschata* Duchesne ex Lam. Los estudios sobre *P. keyense* incluyen la descripción de caracteres morfológicos vegetativos, de la flor, fruto y semilla de la tribu (Forero y Romero 2005) y del género (Barneby y Grimes 1997). Estudios recientes sobre filogenia del género (Pool 2009) y sólo existe un trabajo de la especie de estudio (Hernández 2017) relativo al microambiente, banco de semillas y estrato herbáceo asociado. Dentro de los pocos estudios realizados sobre la fenología y recursos florales en otras especies de la subfamilia Mimosoideae se encuentran el de Koptur (1983), Hernández - Conrique et al. (2007), Marín – Gómez et al. (2012) y Cruz - Neto et al. (2015). A pesar de la importancia de los polinizadores para la reproducción sexual de las plantas, aún no se han investigado a los visitantes florales y polinizadores de *P. keyense*. Por ello, en este trabajo se estudiaron los siguientes aspectos de la biología de la polinización de *P. keyense*: duración de las fases fenológicas de la flor, la concentración y producción de néctar y polen y su relación con sus principales visitantes florales, así como las cargas polínicas y la deposición de polen en el estigma de los visitantes más abundantes, en el matorral de duna costera del puerto de Sisal en Yucatán.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el matorral costero del Puerto de Sisal en Yucatán, México. La localidad se localiza en el municipio de Hunucmá entre las coordenadas 21°18'60.74" latitud norte y 89°97'01.16" latitud oeste y se ubica en la parte centro del litoral de Yucatán (Torres et al. 2010). Posee clima BS<sub>1</sub> (h'') wgw" semiárido con temperatura anual de 22 - 26°C, con precipitación media anual de 516.07 mm aproximadamente (Orellana et al. 1999). La vegetación arbustiva que se encuentra en el matorral tiene más de 1.5 m de altura y una riqueza de 25 especies en el sitio de estudio. Las especies más comunes son *Agave angustifolia* Haw, *Caesalpinia vesicaria* (L.), *Pithecellobium keyense*, *Acanthocereus tetragonus* (L.) Hummelinck, *Crossopetalum rhacoma* Crantz, *Enriquebeltrania crenatifolia* (Miranda) Rzed., *Flaveria linearis* Lag., *Sideroxylon americanum* (Mill.) T.D. Penn., *Bravaisia berlandieriana*

(Nees) T.F. Daniel y *Metopium brownei* (Jacq.) Urb. y otras. (Espejel 1987; Torres et al. 2010). Las especies dominantes son *B. berlandieriana*, *M. brownei* y *P. keyense* (Torres et al. 2010).

### **Especie de estudio**

*Pithecellobium keyense* pertenece a la tribu *Ingeae*, subfamilia Mimosoideae de la familia Fabaceae, es un arbusto o árbol de hasta 7 m de altura, tiene inflorescencias en capítulo con cabezuelas globosas de 2 - 3 cm de diámetro (Chan et al. 2002) y flores hermafroditas con un cáliz cupular con cinco sépalos fusionados, la corola está fusionada con cinco pétalos y diversos estambres, mucho más largos que el perianto, unidos hasta el limbo de la corola, representando la parte más llamativa de la flor con una tonalidad desde blanco al rosa y llegando al rojizo (Duno 2009). Sus frutos se encuentran en vainas, y sus semillas presentan el fonículo dentro de un arilo esponjoso de coloración roja (Chan et al. 2002). La especie es considerada como una de las plantas melíferas más importantes en la costa (Chan et al. 2002) debido a la cantidad de néctar que produce atrayendo diversos visitantes florales. Su floración abarca los meses de septiembre a mayo (Chan et al. 2002) donde el pico de floración se presenta a finales de marzo y principios de abril (Flores 2001), aunque esto puede variar entre años. *P. keyense*, al igual que todas las especies pertenecientes a la tribu *Ingeae*, presenta una característica particular en sus estructuras reproductivas, donde los granos de polen surgen de paquetes o unidades compuestas llamadas políadas (Niezgoda et al. 1983; Caccavari y Dome 2000; Forero y Romero 2005).

### **Fenología de las flores**

La duración de las diferentes fases fenológicas de la flor de *P. keyense* (botón juvenil = botón verde en etapa temprana; botón maduro = botón de color amarillo en las puntas, cercano a la dehiscencia floral; botón caído = aborto del botón; flor joven = dehiscencia floral temprana; flor abierta o madura = despliegue floral; flor marchita = dehiscencia final; y flor caída; aborto de la flor) fue determinada en cinco inflorescencias seleccionadas al azar de 12 plantas, donde se seleccionó 10 flores por cada inflorescencia (total 600 flores) en la floración de diciembre 2016. Las inflorescencias se observaron diariamente durante cuatro días en horarios de 8:00 am – 1:00 pm, y en cada inflorescencia se observó el desarrollo desde la etapa de botón juvenil hasta la de marchitamiento basado en el estudio de Marín - Gómez et al. (2012). En promedio cada inflorescencia contiene 24.22 flores  $\pm$  0.67, siendo la máxima cantidad de 43 flores y mínima de 6 flores. El muestreo del primer día solo se realizó por la mañana pero no

influyó en los resultados debido a que la primera fase duró más de 24 hr. Las estadísticas descriptivas (promedio aritmético y desviación estándar) para la duración de las diferentes fenofases, se obtuvieron con el programa estadístico InfoStat, versión 2016 (Di Rienzo et al. 2016). Por otra parte, no se muestreó en el pico de floración de *P. keyense* registrado en la literatura debido a que la especie puede presentar diferentes picos de floración en el año, lo que parece depender de la intensidad de la precipitación. Durante las dos épocas de floración *P. keyense* tuvo picos de floración en los meses de diciembre - enero, mientras que la floración en los meses de marzo – abril fue muy baja.

### **Diversidad de especies de visitantes florales**

Para describir la diversidad de los visitantes florales de *P. keyense*, se colectaron los insectos con redes entomológicas durante la época de floración de enero 2014, en un transecto a lo largo de la costa aproximadamente de 400 m, en 12 plantas de *P. keyense* (con una distancia entre planta y planta de aproximadamente 30 m). Para cada planta se realizaron colectas de todos los visitantes florales en un horario de 8:00 am a 1:00 pm. En este horario se colectaron todos los insectos que visitaban las flores de cada planta por 20 min, alternando las colectas de las 12 plantas hasta obtener tres colectas para cada planta por día. El muestreo tuvo una duración de cuatro días y fue realizado con el apoyo de cuatro personas, muestreando tres plantas cada uno durante tres períodos de 20 min por cada planta (48 hr totales). Los insectos visitantes fueron conservados en frascos con alcohol al 70%, a excepción de las mariposas que fueron conservadas en bolsas de papel. Se identificaron las especies colectadas a través de claves dicotómicas (Michener 2007), claves dicotómicas ilustradas (Mackay y Mackay 1989; Fernández 2003; Whitworth 2006; Glassberg 2007; Hernández et al. 2007; Marshall 2008; Murillo 2008; Gutierrez 2014) y la Colección de referencia de la Colección Regional Entomológica (CRE) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Se identificó hasta el nivel de especie o morfoespecie y en algunos casos a nivel de género o familia. Se describió la riqueza de especies de visitantes florales en la localidad. Por otra parte, las abundancias se obtuvieron a través del total de individuos colectados por especie. Los insectos más abundantes de esta colección, fungieron la base para realizar los objetivos de carga polínica y deposición de polen.

### **Cantidad y concentración de azúcar en el néctar**

Para estimar la cantidad en volumen y la concentración de azúcar en el néctar, se seleccionaron tres inflorescencias en 12 plantas cada día (144 inflorescencias) que se embolsaron con bolsas de exclusión de tela tergalina de 12cm x

18cm, cuando sus flores estaban en etapa de botón maduro. Al día siguiente se descubrieron las bolsas y se colectó el néctar acumulado de todas las flores (en etapa de flor abierta) de cada inflorescencia en un microtubo de 500  $\mu$ l con una micropipeta de 2 - 20  $\mu$ l Eppendorf®. Este proceso fue realizado durante cuatro días para observar la variación, de las 8 am a las 12:30 pm (periodo en el cual se encontró néctar acumulado pero después de una extracción ya no se obtuvo más néctar) y cada día se trabajó con nuevas inflorescencias ( $N = 144$  inflorescencias) en el período de floración de diciembre 2016 de *P. keyense*. Se contó con el apoyo de cuatro personas, muestreando tres plantas cada uno durante períodos de 15 min por cada inflorescencia (36 hr totales de esfuerzo). En el laboratorio se midió la cantidad de néctar acumulado durante el día para cada inflorescencia y la concentración se midió con dos refractómetros manuales ATAGO®, series Master –  $\alpha$  con Brix de 0.0 – 33.0% y Master – 2  $\alpha$  de 28.0 – 62.0%. Se analizó la variación en la cantidad y concentración de néctar producido con un Análisis de Varianza anidado (Quinn y Keough 2006) para probar diferencias entre días y plantas anidadas en días, el análisis se realizó por separado para cantidad y concentración de néctar. Se consideraron a los días como el factor principal y a las plantas como el factor subordinado en días. Las variables dependientes fueron la cantidad y concentración del néctar. En caso de haber diferencias significativas se aplicó una prueba post hoc de comparaciones múltiples de Tukey con ayuda del programa estadístico InfoStat, versión 2016 (Di Rienzo et al. 2016) para comparar los promedios de cantidad y concentración de néctar.

#### **Relación entre el volumen y concentración de néctar con la riqueza y abundancia de los visitantes florales.**

En la floración de diciembre 2016 se registró la riqueza y abundancia de los visitantes florales de manera visual en grupos animales: mariposas, moscas, mosquitos, escarabajos, avispas, hormigas, abejas y colibríes en un periodo de 20 min durante cuatro días para cada una de las 12 plantas, de 8 a 12:30 hr (periodo de mayor abundancia de insectos en el muestreo del 2014) y fue en el mismo periodo de la toma de néctar (Cruz et al. 2015). Para conocer la relación entre la abundancia de los visitantes florales con la cantidad y concentración de néctar, se realizó un análisis de regresión lineal para cada variable independiente (cantidad y concentración de néctar) con las variables dependientes (abundancia de visitantes por grupos animales) con el programa estadístico InfoStat, versión 2016 (Di Rienzo et al. 2016).

## **Cargas polínicas**

Para cuantificar la carga polínica se emplearon a *Apis mellifera* y *Nannotrigona perilampoides* Cresson 1878 debido a que resultaron ser las especies más abundantes en el muestreo de diversidad de especies de visitantes florales para *P. keyense*. El número de granos de polen adheridos a los cuerpos de las especies de abejas, se estimó en 30 muestras de cada especie colectadas en la época de floración de febrero del 2014 ( $N = 60$  muestras) y en muestras de enero del 2017 ( $N = 60$  muestras). Las muestras fueron colectadas en un horario de 8 am – 1 pm en 12 plantas durante cuatro días. Los ejemplares fueron sometidos a un proceso de lavado para remover el polen de sus cuerpos (modificado de Kearns e Inouye 1993), que consistió en la adición de 5% de agente limpiador líquido TWEEN 20® a los 1.5  $\mu$ l de alcohol en el que se conservaban las muestras entomológicas; un centrifugado a 10000 xg hasta por una hora para remover el polen en una microcentrífuga Spectrafuge 24D Labdet®. Para realizar el conteo de polen, las muestras se colocaron en la cámara de Neubauer (tres alícuotas de un mililitro) y se observó con un microscopio Motic®, B3 professional. El polen de las cargas polínicas fue comparado con preparaciones de referencia de polen de *P. keyense*, obtenidas a partir de flores excluidas de insectos en 2013-2014. Debido a que no se cumplieron los supuestos del ANOVA, las varianzas no fueron homogéneas ya que los residuales no tuvieron una distribución normal, se analizó la carga polínica de las especies a través de una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (Quinn y Keough 2006) para cada año de muestreo. Los factores fueron las especies *A. mellifera* y *N. perilampoides* y las variables de respuesta fueron las cargas polínicas para cada período de floración (2014 y 2017). Para el análisis se utilizó el programa estadístico InfoStat, versión 2016 (Di Rienzo et al. 2016).

## **Deposición de polen**

Para comparar la deposición de polen en el estigma entre las especies *A. mellifera* y *N. perilampoides* se observaron 12 plantas durante cuatro días en un horario de 8 am – 1 pm en la floración de enero del 2017. En cada planta se embolsaron cinco inflorescencias en etapa de botón floral para excluir la polinización por éstas y otras especies ( $N = 30$  inflorescencias por tratamiento). Los tratamientos fueron: 1) Abierto, flores sin exclusión expuestas a todos los polinizadores, 2) *A. mellifera*, flores excluidas que tuvieron una visita de esta especie y 3) *N. perilampoides*, flores excluidas y solo con una visita de esta especie. Para los dos últimos tratamientos se retiró la bolsa de exclusión, se esperó hasta que una abeja de cualquiera de las dos especies tuviera contacto con los órganos reproductivos de una o varias flores de las inflorescencias, las que se marcaron, y se volvió a cubrir con la bolsa cuando la abeja se retiró.

Después de cuatro horas todas las flores de los distintos tratamientos se transfirieron a microtubos de centrifuga con etanol al 70%, previamente etiquetados. Las muestras fueron observadas en el laboratorio con un microscopio de luz ultravioleta ZEISS Primo Star 4x, después de ser teñidas con 0.001 % de azul de anilina en buffer de fosfatos, de acuerdo al protocolo de Martin 1959 descrito en Dafni et al. (2005). Se contaron el número de políadas adheridas al estigma y se observó si los tubos polínicos se desarrollaron. En ningún caso se observó germinación de los granos de polen. Debido a que no se cumplió el supuesto del ANOVA de distribución normal de residuales, la variación entre tratamientos se determinó a través de un análisis de varianza no paramétrico de una vía Kruskall Wallis (Quinn y Keough 2006). La variable independiente fue el tratamiento de polinización con tres niveles (abierto, *A. mellifera* y *N. perilampoides*) y la dependiente fueron los granos de polen en el estigma. Se utilizó el programa estadístico InfoStat, versión 2016 (Di Rienzo et al. 2016).

## **RESULTADOS**

### **Fenología floral**

Se observó que las flores de *P. keyense* pueden transitar por tres fases fenológicas (botón juvenil, botón maduro, botón caído) o hasta seis fases fenológicas (botón juvenil, botón maduro, flor joven, flor abierta, flor marchita y flor caída). La duración de toda las flores que van desde botón juvenil hasta flor madura fue en promedio de casi dos días (47.78 hr). La fase de botón juvenil duró  $\bar{x} = 24.1 \pm 0.06$  hr y continuó con la fase de botón maduro, la cual duró  $\bar{x} = 7.82 \pm 0.07$  hr, seguido por la fase de flor joven que duró  $\bar{x} = 8.24 \pm 0.08$  hr. La fase de flor madura duró  $\bar{x} = 7.62 \pm 0.05$  hr (duración de antesis) hasta concluir con el marchitamiento.

### **Diversidad de especies de visitantes florales**

La riqueza de los visitantes florales colectados en 2014, fue de 29 especies de insectos y la abundancia de 560 individuos pertenecientes a cinco órdenes y 18 familias (Anexo 1). Las especies más abundantes fueron *Apis mellifera* y *N. perilampoides* (Fig. 2). Entre estas, *N. perilampoides* fue la especie más abundante con 342 individuos, seguido por *A. mellifera* con 131 individuos. Algunas especies se identificaron como morfoespecie y seis individuos sólo pudieron identificarse a nivel de familia.

### **Cantidad y concentración del néctar**

La cantidad ( $\mu\text{l}$ ) de néctar producida varió entre días de muestreo y plantas (Cuadro 1). En promedio las plantas produjeron una menor cantidad de néctar en dos de los cuatro días de muestreo (día 1:  $\bar{x} = 7.25 \pm 1.46 \mu\text{l}$ ; día 4:  $\bar{x} = 4.63 \pm 1.46 \mu\text{l}$ ), en comparación con los otros dos días (día 2:  $\bar{x} = 49.12 \pm 1.46 \mu\text{l}$ ; día 3:  $\bar{x} = 41.72 \pm 1.46 \mu\text{l}$ ; Fig. 1). La cantidad promedio de néctar para todas las plantas fue de  $\bar{x} = 25.68 \pm 2.10 \mu\text{l}$ .

La concentración de néctar ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) varió entre días y plantas (Cuadro 2). En promedio la concentración del néctar en dos de los días fue menor (día 2:  $\bar{x} = 17.42 \pm 0.85 ^{\circ}\text{Brix}$ ; día 3:  $\bar{x} = 17.73 \pm 0.85 ^{\circ}\text{Brix}$ ), comparado con los otros dos días (día 1:  $\bar{x} = 42.64 \pm 0.85 ^{\circ}\text{Brix}$ ; día 4:  $\bar{x} = 45.77 \pm 0.85 ^{\circ}\text{Brix}$ ; Fig. 3). La concentración promedio de néctar entre plantas fue de  $\bar{x} = 30.89 \pm 1.39 ^{\circ}\text{Brix}$

### **Relación entre la cantidad y concentración de néctar con la riqueza y abundancia de los visitantes florales**

En total se observaron 248 insectos, la mayor proporción de individuos fueron las abejas (23%) seguidas de las hormigas (22%), mariposas y mosquitos con 21% y en menor proporción las avispas (7%), moscas (5%) y escarabajos (2%). No se encontró una relación significativa entre la frecuencia de los visitantes y la cantidad y concentración del néctar producido.

### **Carga polínica**

Se encontraron diferencias significativas entre las cargas polínicas de *A. mellifera* y *N. perilampoides* en la época de floración del 2014 ( $U = 1,264.50$ ,  $P = <0.0001$ ), así como en las cargas polínicas de las dos especies en la época de floración del 2017 ( $U = 1,051.50$ ,  $P = <0.0436$ ). *A. mellifera* forrajeó una mayor cantidad de polen (2014,  $\bar{x} = 307.83 \pm 31.64$ ; 2017,  $\bar{x} = 242.24 \pm 28.27$ ) que *N. perilampoides* (2014:  $\bar{x} = 112.36 \pm 31.64$ ; 2017:  $\bar{x} = 43.19 \pm 28.27$ ).

### **Deposición de polen**

Hubo diferencias significativas en la deposición de polen ( $H = 25.54$ ,  $P = <0.0001$ ), *N. perilampoides* depositó mayor cantidad de granos de polen en el estigma en la flor de *P. keyense* ( $\bar{x} = 20.9 \pm 1.31$ ) comparado con la cantidad de granos de polen depositados por todos los visitantes en el tratamiento Abierto ( $\bar{x} = 15.06 \pm 1.04$ ) y *A. mellifera* ( $\bar{x} = 12.29 \pm 0.78$ , Fig. 4).

## DISCUSIÓN

En este estudio se describió el proceso de floración, el cual tuvo un lapso de casi dos días, encontrándose que la fase de botón juvenil tuvo mayor duración (casi 24 hr en promedio), mientras que la fase de botón maduro, flor joven y flor madura, duraron el mismo tiempo (cerca de 8 hr). La duración de este proceso difiere a la de otras especies de la misma subfamilia (Mimosoideae) *Inga edulis* (Marín – Gómez et al. 2012) y *Acacia hindsii* Benth (Stone et al. 2003), siendo más corta que la de las dos especies que se distribuyen en mayores latitudes. Estas diferencias pueden deberse a causas próximas, como la precipitación, temperatura, radiación solar, humedad, fotoperíodo, características del suelo como el almacenamiento de agua y los nutrientes edáficos de los sitios donde se ubican las plantas (Jones 1967, Frankie et al. 1974; Opler et al. 1976; Rathcke y Lacey 1985; Richards 1986; Wright y Cornejo 1990; Borchert 1994; Wright y Van Schaik 1994; Reich 1995; Pineda – Herrera et al. 2015), y el estado hídrico de la planta (Borchert 1983, 1994; Machado y Tyree 1994); y a causas últimas como el papel de las interacciones bióticas (Frankie et al. 1974, Gentry 1974) y de las relaciones filogenéticas entre taxones (Wright y Calderón 1995). Los factores ambientales influyen sobre el estado hídrico de la planta debido a que la planta administra el agua en áreas en crecimiento, aprovechando el agua disponible en el ambiente de acuerdo a la estación (Borchert 1994 y Reich 1995). Durante la temporada de lluvias, algunas especies de plantas disminuyen su floración debido a la alta competencia entre plantas y en temporada de secas, la floración varía de acuerdo a la forma de crecimiento de las plantas y del lugar donde habitan (Croat 1969). Dentro de las interacciones bióticas, cualquier fenofase puede presentar presiones selectivas antagónicas; donde en ocasiones, una alta sincronía en la floración atrae mayores polinizadores, y a su vez reduce la proporción de depredadores (Augspurger 1981) esto se debe a que las plantas requieren desarrollar estrategias como la floración constante para evitar pérdida de recursos y alcanzar el éxito reproductivo. Todos aquellos factores ya mencionados determinan los patrones fenológicos de las especies. Estos factores no se analizaron en este estudio, por lo que se consideran hipótesis a comprobar en trabajos posteriores.

Los visitantes y polinizadores de las flores de *P. keyense* fueron 29 especies de insectos, dos especies de abejas eusociales, *Nannotrigona perilampoides* y *A. mellifera*, fueron los visitantes florales más abundantes. Al parecer las abejas melíferas y los meliponinos son visitantes frecuentes de otras especies de fabáceas (Goncalves et al. 2010). Al igual que algunas mariposas y hormigas (Koptur 1983; Goncalves et al. 2010). En el estudio, no se realizaron registros de visitantes florales nocturnos en *P. keyense* como ocurre en otras especies de fabáceas



(Hernández et al. 2007; Cruz et al. 2015). Esto se debe a la duración tan corta de las flores maduras que se marchitan tras ocho horas de estar abiertas. En las dunas costeras de México, Jiménez et al. (2015) documentaron el registro de interacciones bióticas, donde el orden Hymenoptera fue el más abundante, lo que coincide con nuestras observaciones y las de Reyes et al. 2009 que observaron que las familias Apidae, Megachilidae, Halictidae, Colletidae y Andrenidae como visitantes florales y que la especie *A. mellifera* es la especie más abundante (Ay – Balam 2014).

El registro de abundancia y riqueza de visitantes florales en *P. keyense* fue bajo, comparado con las 32 especies encontradas visitando a otra fabácea que florece sincrónicamente *C. vesicaria* en la misma área de estudio (Navarro 2016). Las especies que visitan a *C. vesicaria* más frecuente fueron también *N. perilampoides* y *A. mellifera*. Estos datos sugieren que las dos especies deben ser abundantes en el matorral de duna costero. Novelo et al. (2003) encontró también a *N. perilampoides* como una de las especies de abejas nativas dominantes en el matorral de dunas costeras de La Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos. La presencia de nidos de *N. perilampoides* depende de la cercanía de las colonias a cuerpos de agua fresca en el área de estudio, debido a que los meliponinos requieren del agua para regular la temperatura y humedad entre el área de cría y el medio ambiente en días con altas temperaturas (Cauich et al. 2004; Quezada – Eúan 2005; López 2009). A menos de un kilómetro de distancia de la área de estudio se encuentra Piscis, una granja acuícola que mantiene cuerpos de agua salada, además de las lagunas salobres que podrían proveer de humedad suficiente para que se mantengan los nidos de *N. perilampoides*.

En la producción de néctar se encontraron variaciones entre los días de muestreo y plantas. En contraste en algunas especies del género *Inga*, la cantidad de néctar no varió entre días y plantas (Koptur 1983). Esto podría asociarse con la duración y el tamaño de la flor que son más cortas y menores en *P. keyense*, lo que ocasiona que en una sola flor solo se pudiera extraer una cantidad menor del néctar acumulado entre ocho horas que dura la flor abierta antes de marchitarse; mientras que las flores de *Inga* tienen una mayor duración y tamaño, por lo que son productoras constantes de néctar. La concentración del néctar presentó variaciones entre los días de muestreo y plantas. *Pithecellobium keyense* presenta altas concentraciones de néctar, una tendencia observada en una especie de la misma subfamilia, *Cajanus cajan* (L.) Millsp. con concentraciones hasta 51 – 53% (Tchuengem et al. 2014). De manera general, se ha observado que hay variación de las cantidades y concentraciones de néctar en algunas especies de Mimosoidae (Stone et al. 2003; Cruz et al. 2015). La cantidad y concentración del néctar puede variar debido a

varios factores, como la temperatura, humedad relativa, la reabsorción de néctar por el nectario, la humedad del suelo, entre otros (Corbet et al. 1979; Kradolfer y Erhardt 1995; Roubik 1995; Mendizabal 2005). Cuando la temperatura es alta y los vientos presentan muy poca humedad, se favorece la evaporación del néctar, por lo que las flores presentan néctar con mayor concentración de azúcares, mientras que las temperaturas altas con vientos con mayor humedad evitan la transpiración de las plantas, permitiendo a los nectarios producir más néctar; por lo tanto, las temperaturas altas y humedad baja propician la producción de néctar más concentrado, y las temperaturas bajas y humedad alta, mayores cantidades de néctar (Corbet et al. 1979; Bertsch 1983; Jakobsen y Kristjánsson 1994). En estudios futuros se podrían definir cuales son los principales factores que influyen en la producción y concentración de néctar de *P. keyense* de acuerdo al tipo de hábitat donde se distribuye.

No se encontró una relación significativa entre la abundancia de visitantes y la cantidad y concentración del néctar producido por *P. keyense*. En otras especies estudiadas si se ha encontrado dicha relación, por ejemplo, en especies de la subfamilia Mimosoideae sus visitas se relacionan con la concentración del néctar (Koptur 1983; Stone et al. 2003), el cual es menos concentrado que el néctar de *P. keyense*. En *Inga* spp. sus polinizadores nocturnos están relacionados significativamente con la producción de néctar y polen (Cruz et al. 2015). De igual manera se ha observado la relación de forrajeo con la producción del néctar en *Cajanus cajan* y su polinizador *Xylocopa olivacea* (F.) (Tchuenguem et al. 2014). En este estudio, probablemente no fue significativa la relación entre la abundancia de visitantes y la cantidad y concentración de néctar, debido a la baja abundancia de los visitantes florales y baja cantidad de néctar producida por la planta. Es muy probable, que las tasas de visitas florales bajas que recibe *P. keyense* sean las que expliquen esta falta de relación, sobre todo porque la especie tiene tasas de visitas florales menores en comparación con otro arbusto (*C. vesicaria*) (Navarro 2016) y muy probablemente con otras plantas que pueden interferir en las tasas de visitas florales cuando florecen sincrónicamente a la especie.

Se encontró que *A. mellifera* tiene mayor carga polínica que *N. perilampoides*. En otros estudios también se ha visto que *A. mellifera* tiene mayor carga de polen comparada con las especies de abejas nativas de otras especies de Mimosidaes (Donovan 2013), esta característica no califica a *A. mellifera* como un polinizador eficiente. *N. perilampoides* deposita mayor cantidad de polen que *A. mellifera* y por lo tanto, *N. perilampoides* resultó ser mejor polinizador para *P. keyense* que *A. mellifera*. En trabajos como el de Navarro (2016) se observó el mismo resultado con las mismas especies de abejas. Además, Canto - Aguilar y Parra - Tabla (2000) encontraron que las especies nativas realizan mayor forrajeo a las flores, remueven y depositan mayor cantidad de polen en el estigma

que *A. mellifera*. Adicionalmente, *N. perilampoides* también puede ser un eficiente polinizador con efectos positivos en la reproducción de solanáceas en hibernaderos (Cahuich et al. 2006; Palma et al. 2008) y en lauráceas (Can – Alonzo et al. 2005). Esta diferencia entre cargas polínicas se puede deber a la morfología de las abejas, siendo *A. mellifera* de cuerpo robusto y mucho más grande que *N. perilampoides*. Así, se demuestra que el tamaño del polinizador no está relacionado directamente con la eficiencia de la polinización, ya que se observó que las especies de abeja de mayor tamaño, a pesar de forrajear mayor cantidad de polen, su eficiencia es baja comparada con las abejas de cuerpo más pequeño (Kendall y Salomon 1973; Heard 1994; Palma et al. 2008).

#### Agradecimientos

Se agradece a E. Balam, M. Cob, A. Baas, D. Flores, S. Duarte, A. Soberanis, M. Moreno, C. Molina y J. Cortés por su asistencia en el campo. Al Dr. V. Parra, Dr. E. Reyes y Dr. J. Leirana por sus comentarios al manuscrito y el financiamiento de CONACYT - Proyecto Ciencia Básica (169326-B).

## REFERENCIAS

- Alcocer E (2013) Distribución y abundancia de seis especies de aves asociadas al matorral de duna costera del Estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Augsburger C (1981) Reproductive synchrony of tropical plants: experimental effects of pollinators and seed predators on *Hybanthus prunifolius* (Violaceae). *Ecology*. 62:775-788.
- Ay-Balam R (2014) Diversidad de visitantes y polinizadores de *Scaevola plumieri* (L.) Vahl y *Cakile lanceolata* var. *geniculata* (B.L. Rob.) Shinnery, en dos localidades de la duna costera de Yucatán, México. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán.
- Barneby R, Grimes J (1997) Silk tree, Guanacaste, Monkey's earring: a generic system for the synandrous Mimoseae of the Americas. Part II. *Pithecellobium*, *Cojoba*, and *Zygia*. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 74:1-149.
- Bertsch A (1983) Nectar production *Epilobium angustifolium* L. at different air humidities; nectar sugar in individual flowers and the optimal foraging theory. *Oecologia*. 59:40-48.
- Borchert R (1983) Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica* 15:81-89.
- Borchert R (1994) Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* 75:1437-1449.
- Caccavari M, Dome E (2000) An account of morphological and structural characterization of American mimosoideae pollen. Part I: Tribe acacieae. *Palynology*. 24(1):231-248.
- Can – Alonzo C, Quezada – Euán J, Xiu – Anconca P, Moo – Valle H, Valdovinos – Nunez G, Medina – Peralta S (2005) Pollination of “criollo” avocados (*Persea americana*) and the behavior of associated bees in subtropical Mexico. *Journal of Apicultural Research*. 44:3-8
- Canto A, Parra – Tabla V (2000) Importance of conserving alternative pollinators: assessing pollination efficiency of the squash bee *Peponapis limitaris* in *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Journal of Insect Conservation* 4:201-208.

- Cauch O, Quezada – Euán J, Macías – Macías O, Reyes – Orejel V, Medina – Peralta S, Parra – Tabla V (2004) Behavior and pollination efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in subtropical Mexico. *Journal of Economic Entomology*. 97:475-481.
- Cauch O, Quezada – Euán J, Meléndez – Ramírez V, Valdovinos – Nuñez G, Moo – Valle H (2006) Pollination of habanero pepper (*Capsicum chinense*) and production in enclosures using the stingless bee *Nannotrigona perilampoides*. *Journal of Apicultural Research*. 45:125-130.
- Chan V, Rico G, Flores J (2002) Guía ilustrada de la flora costera representativa de la Península de Yucatán. Etnoflora yucatanense. Fascículo 19. UADY. México. 133.
- Corbet S, Unwin D, Prys – Jones O (1979) Humidity, nectar and insect visit to flowers, with special reference to *Crataegus*, *Tilia* and *Echium*. *Ecological Entomology*. 4:9-22.
- Cruz N, Machado I, Galetto L, Lopes A (2015) The influence of nectar production and floral visitors on the female reproductive success of *Inga* (Fabaceae): a field experiment. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 177:230-245.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, Gonzalez L, Tablada M, Robledo C. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Donovan B, Munzinger J, Pauly A, McPherson G (2013) Flower-visiting records of the native bees of New Caledonia. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1:19-43.
- Duno R (2009) Notas sobre *Pithecellobium keyense* (Fabaceae). Herbario CICY, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY). Desde el Herbario CICY. 1: 3. (En línea) [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/) (Accesado en Noviembre 2015).
- Endress P (1994) Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Reino Unido, Cambridge University Press.
- Espejel I (1987) A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatan Peninsula. *Journal of Biogeography*. 499-519.

- Fernández F (2003) Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 398.
- Flores J, Espejel I (1994) Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Fascículo 3. Etnoflora yucatanense. UADY. Sustentabilidad Maya. México.
- Flores J (2001) Leguminosae. Florística, etnobotánica y ecología. Etnoflora yucatanense. Fascículo 18. UADY. México. 291.
- Forero E, Romero C (2005) Estudios en leguminosas Colombianas. Academia Colombiana de Ciencias Exactas. Bogotá, Colombia. 174.
- Frankie G, Baker H, Opier P (1974) Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62:881-919.
- Freitas B (1998) A importância relativa de *Apis mellifera* e outras espécies de abelhas na polinização de culturas agrícolas. In Encontro sobre abelhas. Anais. Ribeirão Preto, BR. 10-20.
- Gentry A (1974) Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. *Biotrópica* 6:64-68.
- Glassberg J (2007) A swift guide to the butterflies of Mexico and central America. A sun streak books. China.
- Goncalves C, Silva C, Candido A (2010) Visitantes florais de *Inga edulis* (Fabaceae-Mimosoideae), in region pantanal-Passo do Lontra. *Visão Acadêmica*, Curitiba. 11:14-22.
- Gottsberger, G, Camargo M, Silberbauer - Gottsberger I (1988) A bee-pollinated tropical community: The beach dune vegetation of Ilha de Sao Luis, Maranhao, Brazil. *Botanische Jahrbücher für Systematik*. 109:469-500.
- Gross C (2005) Pollination efficiency and pollinator effectiveness 6:354-365. En *Practical pollination biology*. 2005. Dafni, A., P. G. Kevan, y B. C. Husband. *Enviroquest*. Canadá, pp 1 - 365.
- Gutiérrez M (2014) Clave para la identificación de las subfamilias y los géneros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED* 6(1):105-123.

- Heard T (1994) Behaviour and pollinator efficiency of stingless bees and honey bees on macadamia flowers. *Journal Apicultural Research*. 33:191-198.
- Hernández D, Ornelas J, García J, Vargas C (2007) Nectar production of *Calliandra longipedicellata* (Fabaceae: Mimosoideae), an endemic mexican shrub with multiple potential pollinators. *Biotrópic*. 4:459–467.
- Hernández V (2017). Microambiente, banco de semillas y estrato herbáceo asociados a *Pithecellobium keyense* en Chuburná Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Jakobsen H, Kristjánsson K (1994) Influence of temperature and floret age on nectar secretion in *Trifolium repens* L. *Annals of Botany* 74:327-334.
- Jiménez O, Espejel I, Martínez M (2015) La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86:486–507.
- Jones C (1967) Some evolutionary aspects of a water stress on flowering in the tropics. *Turrialba* 17:188-190.
- Kearns C, Inouye D (1993) *Techniques for pollination biologist*. University Press of Colorado Press, Niwot, Colorado, U.S.A.
- Kendall D, Solomon M (1973) Quantities of pollen on bodies of insects visiting apple blossom. *Journal of Applied Ecology*. 10: 627-634.
- Koptur S (1983) Flowering phenology and floral biology of *Inga* (Fabaceae: Mimosoideae). *American Society of Plant Taxonomyc. Systematic Botany*. 4:354-368.
- Kradolfer U, Erhardt (1995) Nectar secretion patterns in *Salvia pratensis* L. (Lamiaceae). *Flora*. 190:229-235.
- López A (2009) Efecto de la termorregulación y la nutrición sobre el desarrollo de individuos en *Nannotrigona perilampoides* Cresson 1878 (Hymenóptera: Meliponini). M en C.Tesis Universidad Autónoma de Yucatán.
- Machado J, Tyree M (1994) Patterns of hydraulic architecture and water relations of two tropical canopy trees with contrasting leaf phenologies: *Ochroma pyramidale* and *Pseudobombax septenatum*. *Tree. Physiology* 14:219-240.

- Mackay W, Mackay E (1989) Clave de los géneros de hormigas en México (Hymenoptera: Formicidae). Memorias del II Simposio Nacional de Insectos Sociales. Oaxtepec, Morelos, México. SME-CIEAMAC. 82.
- Marín O, Castaño A, Gómez G (2012) Fenología del guamo *Inga edulis* (Fabales: Mimosoideae) en dos agroecosistemas del Quindío, Colombia. Revista de Investigaciones - Universidad del Quindío. 23(2):127-133.
- Marshall A (2008) 500 insects a visual reference. Firefly Books. Canada. 528.
- Mendizabal F (2005) Abejas. Editorial Albatros. Buenos Aires, República Argentina. 255.
- Michener D (2007) The bees of the world. Johns Hopkins University Press. Baltimore. MD.
- Murillo L (2008) Clave dicotómica para la identificación de las familias de mariposas (Rhopalocera) pertenecientes a las superfamilias Papilionoidea y Hesperioidea. Research Gate. 3(2):6-11.
- Nates G (2005) Abejas silvestres y polinización. Manejo integrado de plagas. Agroecología. Costa Rica. 76: 7-20.
- Navarro C (2016). Evaluación de los polinizadores de *Caesalpinia vesicaria* (Fabacea: Caesalpinioideae) en el matrorral costero de Yucatán, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- Niezgoda J, Feuer M, Nevling I (1983) Pollen ultrastructure of the Tribe Ingeae (Mimosoideae: Leguminosae). Journal Store. American Journal of Botany. 70 (5):650-667.
- Novelo L, Delfín H, Ayala R, Contreras H (2003) Community structure of native bees in four vegetation types in the dry tropics of Yucatán, México. Folia Entomológica Mexicana 42:177-190.
- Opler P, Frankie G, Baker H (1976) Rainfall as a factor in the release, timing, and synchronization of anthesis by tropical trees and shrubs. Journal of Biogeography 3:231-236.
- Orellana R, Balam M, Bañuelos I, García E, Herrera F, Vidal J (1999) Evaluación climática. Atlas de procesos territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, pp 163-182.
- Palma G, Quezada – Euán J, Meléndez V, Irigoyen J, Valdovinos – Nuñez G, Rejón M (2008) Comparative efficiency of *Nannotrigona perilampoide*, *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apoidea) and mechanical vibration of fruit production of enclosed habanero pepper. Journal of Economic Entomology. 101 (1):132-138.



- Pineda – Herrera E, Valdez – Hernández J, Pérez – Olvera C, Dávalos – Sotelo R (2015) Fenología, crecimiento en diámetro y periodicidad de *Hura polyandra* en Costa Grande, Guerrero, México.
- Pool J (2011) Reevaluación del análisis filogenético de Barneby y Grimes (1997), para el género *Pithecellobium* incorporando nuevos datos. Instituto Tecnológico de Conkal. Mérida, Yucatán.
- Potts G (2005) Recording pollinator behavior on flowers. En Dafni A, Kevan PG, B. Husband C (eds) Practical pollination biology. Enviroquest. Canadá, pp 329-339.
- Quinn P, Keough J (2002) Experimental design and data analysis for biologist. Cambridge University Press. New York, pp 208-219.
- Quezada – Euán J (2005) Termorregulación. En: Biología y uso de las abejas sin aguijón de la península de Yucatán, México (Hymenoptera: Meliponini). Universidad Autónoma de Yucatán. pp 67-75.
- Rathcke B, Lacey E (1985) Phenological patterns of terrestrial plants. Annual Review of Ecology and Systematics. 16:179-214.
- Raw A (1979) *Centris dirrhorda* (Anthophoridae), the bee visiting West Indian Cherry flowers (*Malpighia puniceifolia*). Revista de Biología Tropical. 27(2):283-285.
- Ramírez N, Brito Y (1992) Pollination biology in a palm swamp community in the Venezuelan Central Plains. Botanical Journal of the Linnean Society. 110:277-302.
- Reich P (1995) Phenology of tropical forests: Patterns, causes, and consequences. Canadian Journal of Botany. 73: 164-174.
- Reyes E, Meléndez V, Ayala R, Delfín H (2009) Bee Faunas (Hymenoptera: Apoidea) of Six Natural Protected Areas in Yucatan, Mexico. Entomological News. 120 (5):530-544.
- Richards A (1986) Plant breeding systems. George Allen y Unwin. London. 529.
- Roubik W (1995) Pollination of cultivated plants in the tropics. FAO. Rome. 196.

- Stone G, Raine N, Prescott M, Willmer P (2003) Pollination ecology of acacias (Fabaceae, Mimosoideae). *Australian Systematic Botany*. 16:103-118.
- Torres W, Méndez M, Dorantes A, Durán R (2010) Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 86:37-51.
- Tchuenguem N, Blaise J, Lebel J (2014) Pollination efficiency of *Xylocopa olivacea* (Hymenoptera: Apidae) on *Cajanus cajan* (Fabaceae) flowers at Yaoundé, Cameroon. *International Journal of Tropical Insect Science*. 34:138-148.
- Waser N, Ollerton J (2006) Plant pollinator interactions. From specialisation to generalization. The University of Chicago, pp 3-145.
- Westerkamp C (1991) Honeybees are poor pollinators-why?. *Plant Systematic and Evolution*. 177:71-75.
- Whitworth T (2006) Claves para géneros y especies de moscas califóridas (Diptera: Calliphoridae) de América al Norte de México. *Proceedings of the Entomology Society of Washington*. 108(3):689-725.
- Willmer P (2011) Pollination and floral ecology. Princeton University Press. E.U.A, pp 154-220.
- Wright S, Cornejo F (1990) Seasonal drought and leaf fall in a tropical forest. *Ecology*. 71:1165-1175.
- Wright S, Van Schaik C (1994) Light and the phenology of tropical trees. *American Naturalist*. 143:192-199.
- Wright S, Calderón O (1995) Phylogenetic patterns among tropical flowering phenologies. *Journal of Ecology*. 83:937-948.

CUADRO 1. Resultados del ANOVA de la variación en la cantidad de néctar en plantas de *Pithecellobium keyense* en matorral de duna costera.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón - F</i> | <i>Valor - P</i> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|------------------|------------------|
| Días                       | 57214.17                 | 3         | 19071.39              | 249.89           | <0.0001          |
| Plantas [Días]             | 26790.76                 | 44        | 608.88                | 7.98             | <0.0001          |
| Error                      | 7326.77                  | 96        | 76.32                 |                  |                  |
| Total                      | 91331.7                  | 143       |                       |                  |                  |

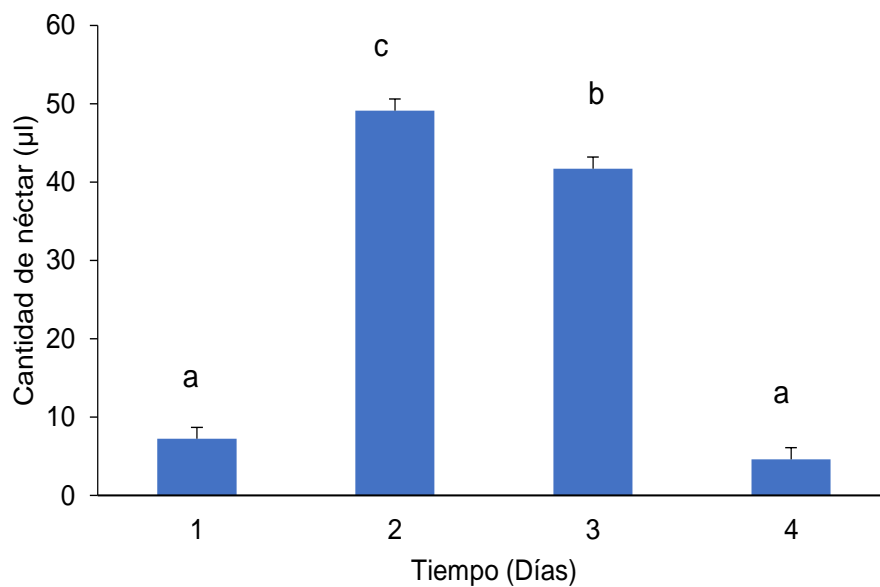


FIGURA 1. Promedio y error estándar de la cantidad de néctar ( $\mu\text{l}$ ) producida por 12 plantas en cuatro días de muestro de la floración (2016) de *Pithecellobium keyense* en el matorral de duna costera.

CUADRO 2. Resultados del ANOVA de la variación en la concentración de néctar en plantas de *Pithecellobium keyense* en matorral de duna costera.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón - F</i> | <i>Valor - P</i> |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|------------------|------------------|
| Días                       | 25708.21                 | 3         | 8569.4                | 331.36           | <0.0001          |
| Plantas [Días]             | 12144.17                 | 44        | 276.0                 | 10.67            | <0.0001          |
| Error                      | 2482.67                  | 96        | 25.86                 |                  |                  |
| Total                      | 40335.04                 | 143       |                       |                  |                  |

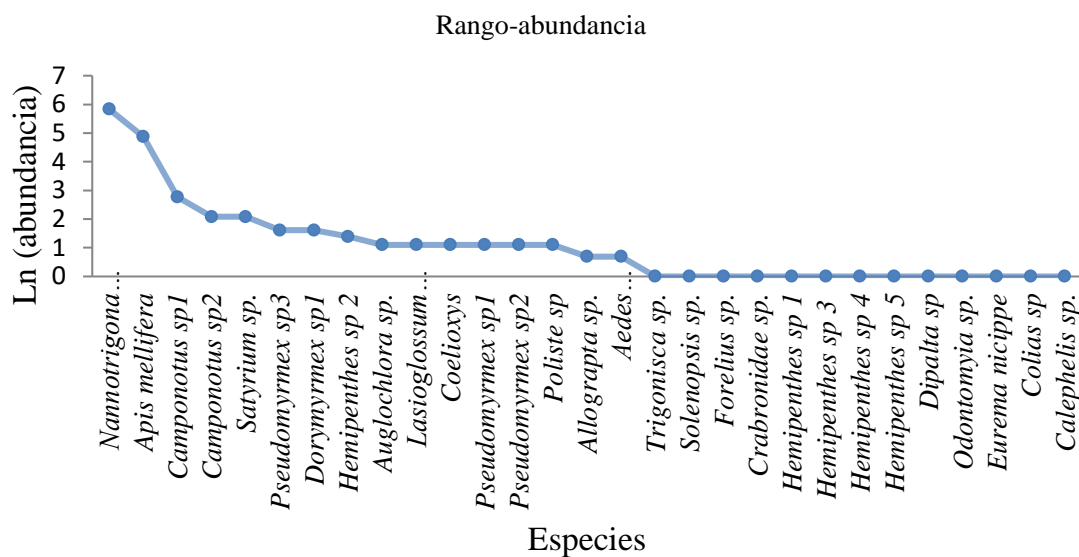


FIGURA 2. Abundancia de las especies de visitantes florales de la clase Insecta en 12 plantas de matorral de duna costera durante cuatro días de la floración de *Pithecellobium keyense* de enero 2014.

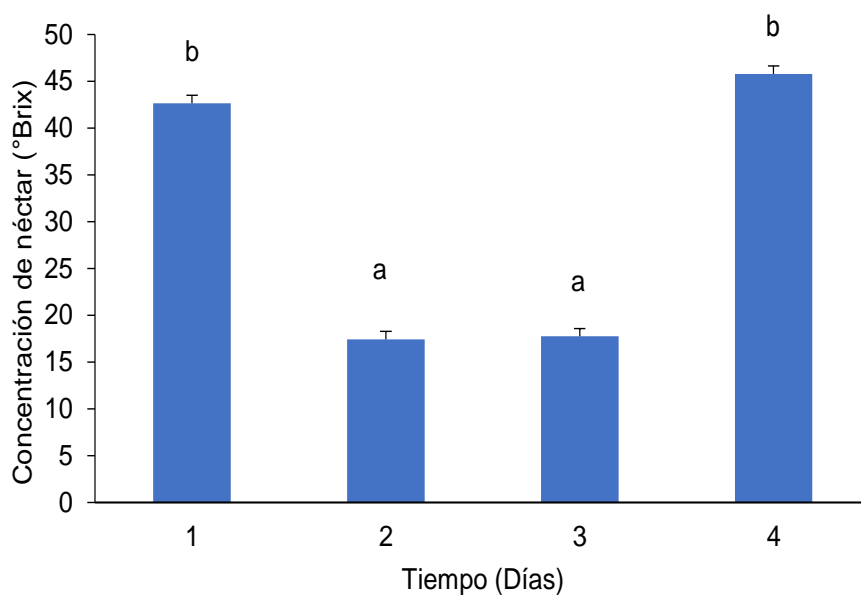


FIGURA 3. Promedio y error estándar de la concentración de azúcar en el néctar (°Brix) producida en 12 plantas en las inflorescencias de *Pithecellobium keyense* en los cuatro días de la floración del año 2016.

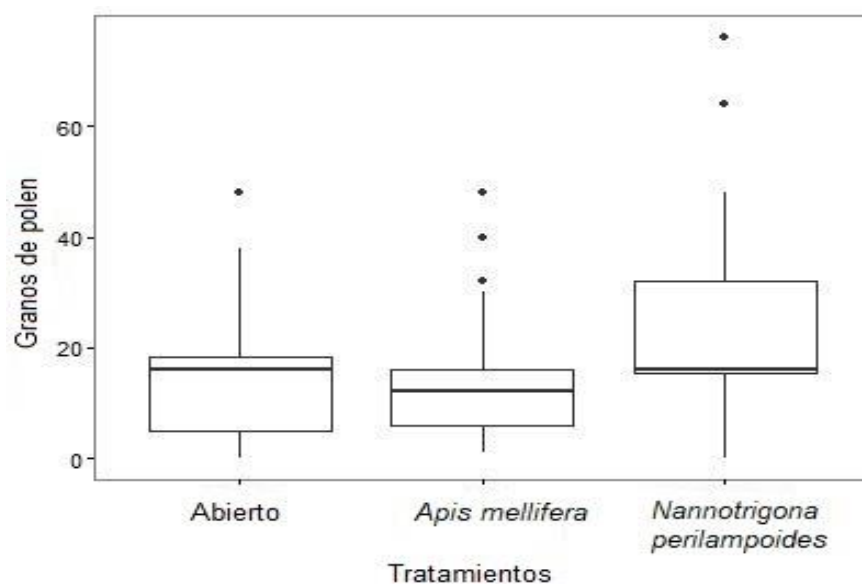


FIGURA 4. Resultados del ANOVA Kruskal Wallis de la evaluación en la deposición de polen de los tratamientos Abierto, *Apis mellifera* y *Nannotrigona perilampoides* durante la floración (2017) de *Pithecellobium keyense*.

Anexo 1. Especies de visitantes de *Pithecellobium keyense* identificadas en la localidad de Sisal, Yucatán.

| Orden               | Familia       | Especie                             |
|---------------------|---------------|-------------------------------------|
| Hymenoptera         | Apidae        | <i>Apis mellifera</i>               |
|                     |               | <i>Nannotrigona perilampoides</i>   |
|                     | Halictidae    | <i>Trigonisca</i> sp.               |
|                     |               | <i>Auglochloa</i> sp.               |
|                     |               | <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. |
|                     | Megachilidae  | <i>Coelioxys</i> sp.                |
|                     | Formicidae    | <i>Camponotus</i> sp.1              |
|                     |               | <i>Camponotus</i> sp.2              |
|                     |               | <i>Pseudomyrmex</i> sp.1            |
|                     |               | <i>Pseudomyrmex</i> sp.2            |
|                     |               | <i>Pseudomyrmex</i> sp.3            |
|                     |               | <i>Dorymyrmex</i> sp.1              |
|                     |               | <i>Solenopsis</i> sp.               |
|                     | Vespidae      | <i>Forelius</i> sp.                 |
| <i>Polistes</i> sp. |               |                                     |
| sp.                 |               |                                     |
| sp.                 |               |                                     |
| Diptera             | Ichneumonidae | sp.                                 |
|                     | Syrphidae     | <i>Allograpta</i> sp.               |
|                     | Bombillidae   | <i>Hemipenthes</i> sp.1             |

|             |               |                             |
|-------------|---------------|-----------------------------|
|             |               | <i>Hemipenthes</i> sp.2     |
|             |               | <i>Hemipenthes</i> sp.3     |
|             |               | <i>Hemipenthes</i> sp.4     |
|             |               | <i>Hemipenthes</i> sp.5     |
|             |               | <i>Dipalta</i> sp.          |
|             | Stratiomyidae | <i>Odontomyia</i> sp.       |
|             | Sarcophagidae | sp.                         |
|             | Culicidae     | <i>Aedes taeniorhynchus</i> |
| Lepidoptera | Lycaenidae    | <i>Satyrium</i> sp.         |
|             | Pieridae      | <i>Eurema nicippe</i>       |
|             |               | <i>Colias</i> sp.           |
|             | Riodinidae    | <i>Calephelis</i> sp.       |
|             | Hesperiidae   | sp.                         |
| Hemiptera   | Lygaeidae     | sp.                         |
|             | Pentatomidae  | sp.                         |
| Coleoptera  | Scarabaeidae  | sp.                         |

## 7. CONCLUSIONES GENERALES

La duración de los estadios florales, desde botón juvenil hasta flor madura, fue en promedio de casi dos días (47.78 hr). El estadio floral que tuvo un mayor tiempo de duración fue el de botón juvenil comparado con las otras fases fenológicas.

La cantidad y concentración de néctar varió entre días e inflorescencias y el néctar de *P. keyense* tiene niveles altos de concentración de azúcares como otras mimosidaes.

*Pithecellobium keyense* es visitado por una amplia variedad de especies de insectos. Sin embargo, los visitantes florales más abundantes fueron *Nannotrigona perilampoides* y *Apis mellifera*. *Apis mellifera* tuvo mayor carga polínica. No obstante, *N. perilampoides* depositó mayor número de granos de polen en el estigma, siendo la especie de abeja más eficiente en la polinización de *P. keyense*.