

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.

Posgrado en Ciencias Biológicas

**EVALUACIÓN DE *Gymnopodium floribundum* Rolfe
COMO RECURSO NECTARÍFERO**

Tesis que presenta

RAYMUNDO MANUEL GONZÁLEZ RAMÍREZ

En opción al título de

MAESTRO EN CIENCIAS

(Ciencias Biológicas: opción Recursos Naturales)

Mérida, Yucatán, México

Abril 2014





RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis titulado “EVALUACIÓN DE *Gymnopodium floribundum* Rolfe COMO RECURSO NECTARÍFERO” fue realizado en los laboratorios de la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección de la Dra. María Azucena Canto Aguilar, dentro de la Opción Recursos Naturales, perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas de este Centro.

Atentamente,

Dr. Felipe A. Vázquez Flota
Coordinador de Docencia

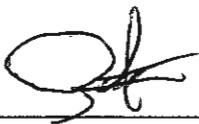
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.



Mérida, Yucatán, México; 10 de marzo de 2014

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos Experimentales, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma:  _____

Nombre: Raymundo Manuel González Ramírez

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. por todas las facilidades brindadas para la realización de este trabajo. En especial, a la Unidad de Recursos Naturales por facilitarme material, equipo y laboratorios.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (cvu/becario: 445246/334943, para la realización de esta tesis para la realización de la Maestría en Ciencias Biológicas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

A la Dra. Azucena Canto Aguilar por aceptarme desde el servicio social, por su paciencia, confianza, apoyo, amistad y enseñanzas a lo largo de estos años que me permitieron crecer académicamente.

A los integrantes del laboratorio de interacciones: Técnica María Rosalina Rodríguez por su valiosa ayuda en el trabajo de campo y laboratorio así como por el apoyo moral que permitió la realización exitosa de esta investigación. Cesar Canche por su ayuda, amistad, y compañerismos que fueron bien recibidos en momentos difíciles.

Al Dr Enrique Reyes y Lic. Rubén Medina por su tiempo y ayuda brindada en la identificación de los visitantes florales.

A todos los compañeros y amigos del CICY que hicieron esta estancia agradable, por todos los buenos momentos, platicas, fiestas, almuerzos y convivios, Matilde Ortiz, Lic. Verónica Limones Briones, Gerardo Godoy, Hiram Blancarte, Alan Escalante, María Dzul, Eduardo Chavez, Irvin Saenz, Alfredo Miranda, Filogonio May, Carlos Jiménez, Manuel a amigos de la UADY Eduardo Montejo, Simmon Montes.

Al Dr. Roger Orellana por sus acertadas observaciones consejos y amistad, al Dr. Luis Medina por su tiempo e información que fueron de mucha ayuda para la elaboración de el presente trabajo.

DEDICATORIAS

A mi familia que siempre me apoyo durante toda mi carrera, especialmente a mis padres Rocio Ramírez y Manuel González, por su apoyo incondicional el cual fue indispensable para alcanzar mis metas. A mi tía Magali Ramírez por aceptarme en su casa y por su apoyo que fue de suma importancia para la culminación de esta etapa académica.

A mi hermanita Alondra, por ser uno de los principales motivos para superarme y salir adelante.

A la Comarca (Raúl Monsreal, Jorge Escalante, Fernando Fleites, Antonio Duran, Franklin Rocha y Rubén Medina) por su amistad invaluable que me ha impulsado desde la carrera para mejorar y llegar a estas instancias. Por todo los buenos momentos que hemos pasado, y por los que faltan.

| ÍNDICE | Página |
|---|--------|
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | v |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | vii |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| CAPÍTULO I..... | 5 |
| INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| ANTECEDENTES GENERALES..... | 6 |
| Flora melífera de Yucatán y su importancia..... | 6 |
| Importancia ecológica y económica de <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe..... | 7 |
| Néctar y su relación con sus consumidores..... | 10 |
| Factores que afectan la producción y calidad del néctar..... | 11 |
| Descripción de la especie..... | 13 |
| Fenología floral y su relación con el clima..... | 14 |
| Sitios de estudio..... | 15 |
| PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN..... | 17 |
| OBJETIVOS..... | 17 |
| Objetivos generales..... | 17 |
| Objetivos específicos..... | 18 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 18 |
| | |
| CAPÍTULO II. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE INDIVIDUOS, PRODUCCIÓN DE FLORES Y NÉCTAR EN DOS POBLACIONES DE <i>GYMNOPODIUM FLORIBUNDUM</i> ROLF | 25 |
| INTRODUCCIÓN..... | 25 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 26 |
| Muestreo de <i>G. floribundum</i> en las áreas de estudio..... | 26 |
| Estimación número de flores e inflorescencias..... | 28 |
| Variación del número de flores..... | 30 |
| Relación de las variables biológicas del árbol con la producción floral y con su | |
| Probabilidad de floración..... | 31 |
| Volumen de producción de néctar..... | 31 |
| Concentración de azúcares en el néctar..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| Variación en el néctar..... | 33 |
| Estimación de la producción potencial de néctar y concentración de azúcares a nivel individuo y población..... | 34 |
| Análisis estadístico de los datos..... | 36 |
| RESULTADOS..... | 38 |
| Muestreo de <i>G. floribundum</i> en las áreas de estudio..... | 38 |
| Variación del número de flores..... | 40 |
| Relación de las variables biológicas (intrínsecas) del árbol con la producción floral y con su probabilidad de floración..... | 41 |
| Volumen y concentración del néctar..... | 44 |
| Variación en el néctar..... | 45 |
| Estimación de la producción de néctar y concentración de azúcares a nivel individuo y población..... | 47 |
| DISCUSION..... | 48 |
| Densidad del <i>G. floribundum</i> en las áreas de estudio..... | 48 |
| Estimación del número de flores e inflorescencias a nivel individual y poblacional y su variabilidad..... | 49 |
| Relación de las variables biológicas del árbol con la producción floral y su probabilidad de floración..... | 51 |
| Volumen, concentración y variabilidad del néctar..... | 52 |
| Estimación de la producción potencial de néctar y concentración de azúcares a nivel individuo y población..... | 55 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 57 |
| | |
| CAPÍTULO III. RIQUEZA DE VISITANTES FLORALES Y DINÁMICA DE VISITAS EN EL <i>GYMNOPODIUM FLORIBUNDUM</i> CON RELACIÓN A LA PRODUCCION DE NÉCTAR A LO LARGO DEL DÍA. | 67 |
| INTRODUCCIÓN..... | 67 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 68 |
| Identificación de los visitantes florales y su dinámica de visitas en relación al néctar y las condiciones ambientales..... | 68 |
| Análisis estadísticos..... | 69 |

| | |
|--|----|
| RESULTADOS | 70 |
| Visitantes florales..... | 70 |
| Dinámica de visitas y su relación con las características del néctar y las variables ambientales..... | 71 |
| DISCUSIÓN | 74 |
| Visitantes florales..... | 74 |
| Dinámica de visitas..... | 75 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 77 |
| | |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS | 83 |
| DISCUSIÓN GENERAL | 83 |
| CONCLUSIONES | 86 |
| PERSPECTIVAS | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 87 |

| ÍNDICE DE FIGURAS | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Producción de miel en Yucatán y su contribución mensual representada por las barras azules, la línea roja representa la precipitación anual, los datos corresponden al promedio de los años 2002-2011 (datos tomados del SIAP y de la CONAGUA)..... | 9 |
| Figura 2. Factores que afectan la producción y las características del néctar..... | 12 |
| Figura 3. Fotografías y dibujos botánicos de Ortiz (1994) del <i>G. floribundum</i> . A: Inflorescencia; B: Dibujo de las principales características; C: Tallos; D: Flor..... | 14 |
| Figura 4. Imagen satelital de Google Earth Enterprise (2010) indicando las dos áreas de estudio | 15 |
| Figura 5. Inicio, pico y final de floración por semanas del <i>G. floribundum</i> en el 2012 y precipitación anual en las áreas de estudio del año 2011 en: A) CICY; B) UADY..... | 16 |
| Figura 6. Esquema de los transectos. Distancias entre los transectos, así como su longitud y anchura de cada uno..... | 26 |
| Figura 7. Patrón de ramificación típico de <i>G. floribundum</i> . Imagen tomada de Mondragon et al., 2004 mostrando la típica ramificación en <i>G. floribundum</i> , y los niveles que presenta, tronco, rama primaria (b1), rama secundaria (b2), rama terciaria (b3), rama cuaternaria (b4)..... | 27 |
| Figura 8. Raíces del <i>G. floribundum</i> y sus uniones (flechas rojas) entre ramets, indicando que los árboles son (clones) pertenecientes a un solo individuo..... | 28 |
| Figura 9. Método de conteo de flores e inflorescencias. A: Inflorescencias, B: Pedúnculo (flecha roja), C: Muestras en el microscopio..... | 30 |
| Figura 10. A) temperatura (línea negra) y humedad (línea roja) registrada por los data loggers durante el muestreo del néctar. B) Volumen (línea roja) y concentración (línea negra) del néctar del <i>G. floribundum</i> durante los cuatro horarios de colecta, n=240..... | 45 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 11. | Tasa de visitas a lo largo del día en <i>G. floribundum</i> de todas las especies en conjunto (Media \pm E.E.)..... | 71 |
| Figura 12. | Tasa de visitas de las especies nativas (excluyendo a <i>A. mellifera</i>) a lo largo del día, en el <i>G. floribundum</i> (Media \pm E.E.) y la concentración del néctar (figura de arriba) a lo largo del día..... | 72 |
| Figura 13. | Tasa de visitas de <i>A. mellifera</i> a lo largo del día, en el <i>G. floribundum</i> (Media \pm E.E.)..... | 73 |

| ÍNDICE DE CUADROS | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Listado de las plantas melíferas más importantes en la península de Yucatán según Flores y Vermont (2011) y Flores (1990)..... | 7 |
| Cuadro 2. Principales usos del <i>G. floribundum</i> en Yucatán..... | 8 |
| Cuadro 3. Importancia del <i>G. floribundum</i> en zonas de vegetación secundaria de acuerdo con el Índice de Valor de importancia (IVI) e importancia en una zona conservada, información recopilada de Dupuy et al., 2012 y Díaz-Gallegos et al., (2002)..... | 9 |
| Cuadro 4. Individuos ubicados de <i>G. floribundum</i> en transectos y densidad de individuos en las áreas de estudio..... | 39 |
| Cuadro 5. Número de flores y de flores por inflorescencia (Media \pm E.E.) obtenidos a través del censo floral..... | 39 |
| Cuadro 6. Características de los árboles ubicados en los transectos, y estimación de la producción floral por árbol del <i>G. floribundum</i> | 40 |
| Cuadro 7. Variación del número de flores, en los niveles de ramificación para ambos métodos de conteo..... | 41 |
| Cuadro 8. Matriz de correlaciones de las características estudiadas del <i>G. floribundum</i> | 42 |
| Cuadro 9. Prueba de efectos fijos para las variables biológicas del árbol y para los sitios de estudio respecto a las proporciones de ramas secundarias con flores. Las variables significativas están resaltadas en negro..... | 43 |
| Cuadro 10. Razón de probabilidades (ODDS ratio) entre las variables biológicas (intrínsecas) del árbol y el número de ramas secundarias con flores en el <i>G. floribundum</i> | 43 |
| Cuadro 11. Prueba de efectos fijos de las variables biológicas del árbol y entre los sitios de estudio, respecto a las probabilidad de que florezca los árboles de <i>G. floribundum</i> | 44 |
| Cuadro 12. Volumen y concentración del néctar producido (flor por día) en las áreas de estudio..... | 44 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| Cuadro 13. | Análisis de varianza (ANOVA) del volumen de néctar colectado a distintos horarios del día en <i>G. floribundum</i> | 46 |
| Cuadro 14. | Variables usadas y estimación del néctar y azúcar producido por el <i>G. floribundum</i> a nivel individuo y hectárea..... | 48 |
| Cuadro 15. | Numero de flores por inflorescencia, flores abiertas por día (Media \pm E.E.) y duracion de la floracion del <i>G. floribundum</i> | 48 |
| Cuadro 16. | Listado de los visitantes florales en <i>G. floribundum</i> . Las x señalan el lugar de colecta..... | 70 |

RESUMEN

Gymnopodium floribundum, es considerada de gran importancia melífera en la península de Yucatán debido a su amplia distribución y abundancia, pero principalmente porque de su néctar deriva una miel de alta calidad. Durante su floración (marzo a mayo) se cosecha el 47 % del total de miel en el estado. Dada su importancia este trabajo se enfoca al análisis y estimación de su aporte nectarífero así como a la identificación de los insectos que visitan sus flores y la dinámica de sus visitas en función de las características del néctar y del medio ambiente. Se selecciono dos áreas de estudio, el jardín botánico del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y un área cercana al campus de ciencias biológicas y agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Para evaluar el valor melífero se estudio las siguientes variables: número de árboles por área, número de flores por árbol, volumen de néctar producido por flor y concentración de azúcares. Los visitantes florales fueron capturados e identificados para formar una colección de referencia y durante el mes de febrero del 2013 en el horario de las 07:00 a 17:00 horas se obtuvo la tasa de visitas la cual se relacionó con las variables ambientales: temperatura (grados Celsius), humedad relativa (%) e intensidad de luz (medido en luxes) y las variables del néctar volumen y concentración. La mayor densidad de árboles se registró en el área de la UADY con 240 árboles por hectárea, el número de flores por árbol no difirió entre sitios produciendo en promedio 19,143 flores por árbol. Los árboles del CICY produjeron 1.28 ± 0.7 μL de néctar por flor por día con una concentración de azúcares del 54 %, y en la UADY 1.64 ± 1.3 μL de néctar con 68% de concentración. Tomando en cuenta estos datos el área del CICY produce 4.94 litros de néctar y 2.88 kilogramos de azúcar por día, y el área de la UADY 7.53 litros de néctar y 3.85 kilogramos de azúcar. Respecto a los visitantes florales se registro 27 especies de insectos, pertenecientes a cuatro órdenes y a 15 familias, el orden Himenóptera y la familia Apidae fueron los que estuvieron mejor representadas. La concentración expresada en grados brix fue la única variable significativa del néctar asociada a la tasa de visitas. La humedad relativa fue la variable ambiental más significativa ya que se asoció con la tasa de visitas y los atributos del néctar (volumen y concentración). En conclusión el *G. floribundum* es un recurso nectarífero de gran importancia en Yucatán y la estimación de néctar a nivel de poblaciones es una herramienta que puede tener una amplia aplicación para la determinación de áreas con potencial para la apicultura.

ABSTRACT

Gymnopodium floribundum is a shrub native to the Yucatan Peninsula, Mexico. It is important to regional honey production due to its broad distribution and high abundance, and the fact that its nectar produces high quality honey. Forty percent of annual honey production in Yucatan state occurs during its flowering season (March to May). A study was done of *G. floribundum* nectar production, identification made of its floral visitors, and analysis done of floral visits as a function of nectar characteristics and environmental factors. The study area included the botanical garden of the Yucatan Center for Scientific Research (CICY) and an area near the Biological and Livestock Sciences campus of the Autonomous University of Yucatan (UADY). The species' value to honey production was evaluated using four variables: tree count per area; flower count per tree; nectar volume produced per flower; and nectar sugar concentration. Floral visitors were caught and identified to create a reference collection. In February 2013, floral visit rate was documented from 0700 to 1700 h and related to temperature (°C), relative humidity (%) and light intensity (lux), as well as nectar volume (µL) and concentration (%). Tree density was highest (240 / ha) at the UADY. Flower count per tree (average = 19,143 / tree) did not differ between sites. Trees at the CICY produced 1.28 ± 0.7 µL nectar per flower per day with a 54% sugar concentration, while at the UADY they produced 1.64 ± 1.3 µL with a 68% concentration. Based on these figures, the CICY site produced 4.94 liters of nectar and 2.88 kilograms of sugar a day, and the UADY site produced 7.53 liters of nectar and 3.85 kilograms of sugar a day. A total of 27 floral visitor species were recorded from four orders and fifteen families. The order Hymenoptera and the family Apidae were best represented. Sugar concentration in degrees (°) Brix was the only nectar variable to affect visit rate. Of the environmental variables, relative humidity most affected visit rate and nectar attributes (volume and concentration). *G. floribundum* is clearly a vital nectar resource in Yucatan. Generating nectar estimates by tree populations is a promising tool for identifying vegetation areas with high honey production potential.

INTRODUCCIÓN

Las angiospermas son actualmente las plantas dominantes en la mayoría de los ecosistemas terrestres y han ocupado esta posición desde la era Cenozoica en el período Paleógeno. Se originaron durante el Cretácico temprano hace aproximadamente 135 millones de años, y a partir de ese tiempo se produjo su radiación evolutiva hasta convertirse en el grupo dominante de la actualidad (Prámparo *et al.*, 2007; Mejía *et al.*, 2006).

Una de las características principales y que les confirió una ventaja evolutiva es la presencia de flores, las cuales son estructuras especializadas para la reproducción, ya que ahí se forman los gametos y después de la fecundación se desarrollan los frutos y semillas. Otra de las funciones de las flores es la de aumentar el éxito reproductivo en las plantas mediante diversas estrategias, como la producción de recompensas florales con alto valor nutritivo, para atraer a diversos organismos que puedan funcionar como vectores para la transferencia del polen de una planta a otra, y de esta manera hacer posible la polinización (Sammataro y Avitabile, 1998; Dafni, 1992).

De todas las recompensas florales que se han reportado para atraer polinizadores como, aceites, polen, néctar, fluidos estigmáticos y resinas, el polen y el néctar son las dos recompensas preferidas por los polinizadores. Específicamente el néctar es la recompensa floral más importante y que ha sido más estudiada. El néctar es una innovación de las angiospermas siendo un componente clave en las relaciones mutualistas entre las plantas con flores y sus polinizadores (Brandenburg, 2009; Simpson y Neff, 1983).

Las plantas que aportan gran cantidad de néctar han sido aprovechada desde el punto económico mediante la apicultura (manejo y aprovechamiento de las abejas melífera). En El estado de Yucatán sobresale el *Gymnopodium floribundum* como el mayor recurso nectarífero pero pesar de la evidencia bibliográfica y empírica del aporte nectarífero y su aprovechamiento por las abejas en las principales cosechas de miel, los análisis palinológicos usados para evaluar la importancia y origen botánico de las mieles muestran que el polen del *G. floribundum* se encuentra sub representado restándole importancia al

G. floribundum como planta melífera. Por este motivo la evaluación nectarífera y de la biología floral en el *G. floribundum* que se plantea en este trabajo adquiere mayor relevancia ya que podrá aportar información sobre por qué en los análisis de miel no se puede determinar su aporte nectarífero en la producción de miel (Alfaro, 2010; Villanueva-Gutiérrez *et al.*, 2009).

ANTECEDENTES GENERALES

Flora melífera de Yucatán y su importancia

El estado de Yucatán cuenta con una flora diversa que aportan una gran cantidad de néctar y polen, esto se debe a las condiciones climáticas y topográficas de la región que permite una amplia distribución y densidad de plantas. A este tipo de vegetación se le denomina flora nectaro-polinífera, la cual se puede dividir en polinífera si la planta aporta en su mayoría polen o nectarífera si aporta mayormente néctar, pero para obtener esta denominación las plantas deben producir estos recursos de manera abundante y que sea accesible para las abejas y otros organismos, y que principalmente pueda ser aprovechada en la apicultura (Flores, 2010; Sousa *et al.*, 1981).

La representatividad de esta flora en la península de Yucatán se observa claramente al tener en cuenta que de las aproximadamente 2,400 especies de plantas que existen en la península 600 son reportadas por Flores y Vermont 2011 como melíferas. Las especies consideradas de mayor interés se pueden observar en el (cuadro 1). Entre los tipos de vegetación con mayor número de especies melíferas son la selva baja caducifolia, selva baja caducifolia espinosa, selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, selva baja perennifolia o inundable y selva alta perennifolia (Durán, 2000).

La relevancia de la flora melífera se observa al encontrarse como la segunda categoría en importancia, solo después de la flora de uso medicinal y contribuyendo con el 40% de las leguminosas, la cual es la familia botánica dominante para toda la península de Yucatán. Pero principalmente las plantas melíferas resaltan por aportar la materia prima (néctar) necesaria para la elaboración de la miel en la apicultura, una actividad que produce

aproximadamente 10,000 toneladas de miel al año (Echazarreta, 2010) y se destina principalmente para exportación, con un valor de 189.4 millones de pesos y la cual involucra a la población rural, dándole sustento a aproximadamente 6000 apicultores (SAGARPA, 2009; Toledo *et al.*, 2008; Güemes *et al.*, 2004). Otro punto importante de la flora melífera es que es una fuente de alimento de diversos gremios de organismos en los ecosistemas, como insectos, reptiles, aves y mamíferos, contribuyendo de esta manera en la cadena trófica a nivel de ecosistema (Flores, 2010).

Cuadro 1. Listado de las plantas melíferas más importantes en la península de Yucatán según Flores y Vermont (2011) y Flores (1990).

| Nº | Nombre común (Maya) | Especie | Familia |
|----|---------------------|---|----------------|
| 1 | Tajonal | <i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng | Asteraceae |
| 2 | Dzidzilché | <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe | Polygonaceae |
| 3 | Habin | <i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg. | Fabaceae |
| 4 | Box-catzin | <i>Acacia gaumerii</i> S.F. Blake | Fabaceae |
| 5 | Katzim | <i>Mimosa bahamaensis</i> Benth. | Fabaceae |
| 6 | Tsalam | <i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth. | Fabaceae |
| 7 | Chukin siis | <i>Haematoxylum campechianum</i> L. | Fabacea |
| 8 | Kitam che | <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm. | Fabaceae |
| 9 | xtabentun | <i>Turbina corymbosa</i> (L.) Raf. | Convolvulaceae |
| 10 | ----- | <i>Jaquemontia pentantha</i> (Jacq.)G. Don. | Convolvulaceae |

Importancia ecológica y económica de *Gymnopodium floribundum* Rolfe

Gymnopodium floribundum es considerada por diversos autores como la planta melífera de mayor importancia en el estado de Yucatán (Cuadro 2). Se distribuye ampliamente en toda la península y forma parte de varios tipos de vegetación de la región, pero principalmente se le considera como parte de la vegetación secundaria. Esto implica que después de que alguna comunidad vegetal es expuesta a perturbación, esta especie es de las primeras en recolonizar el área. Esta característica se debe principalmente a que

G. floribundum se puede reproducir por medio vegetativo y posee estrategias que la hacen resistente a la sequía y que le permiten rebrotar con rapidez. Ambos atributos la hacen prevalecer y convertirse en una especie abundante en selvas con diferentes etapas de sucesión (cuadro 3), así como parte fundamental en la vegetación asociada al cultivo tradicional o milpas y en zonas abandonadas donde se practicó el cultivo de henequén (Dupuy *et al.*, 2012; Pool, 2000; Rico-Gray *et al.*, 1988).

Cuadro 2. Principales usos del *G. floribundum* en Yucatán.

| Autor (es) | Año | Uso principal | Uso secundario |
|----------------------------|------|---------------|----------------------------|
| Sousa <i>et al</i> | 1981 | Melífera | |
| Acosta | 1985 | Melífera | Forrajero |
| Villegas <i>et al</i> | 1998 | Melífera | |
| Vicario y Echazarreta | 1999 | Melífera | |
| Arellano <i>et al</i> | 2003 | Melífera | Maderable, forrajera, leña |
| Echazarreta <i>et al</i> | 2010 | Melífera | |
| Quiroz-Carranza y Orellana | 2010 | leña | |

Además de su utilidad en la apicultura en Yucatán *G. floribundum* es una especie con múltiples usos (cuadro 2). Por ejemplo, destaca su aprovechamiento como leña, ocupando el cuarto lugar de las especies de plantas usadas como combustible. También debido a la dureza de su madera y abundancia se recolecta para la construcción de viviendas (Quiroz-Carranza y Orellana 2010). Incluso según Acosta, (1985) puede usarse durante la sequia como forraje en la cría de ganado.

Sin embargo la mayor importancia de esta especie vegetal está en el valor económico que presenta para los productores apícolas, debido al volumen de néctar producido durante su floración. Más del 70% de la producción anual de miel en el estado de Yucatán se realiza durante la floración de *V. dentata* (especie melífera igualmente importante que flórese de enero a febrero) y *G. floribundum* (marzo a mayo) (figura 1).

Cuadro 3. Importancia del *G. floribundum* en zonas de vegetación secundaria de acuerdo con el Índice de Valor de importancia (IVI) e importancia en una zona conservada, información recopilada de Dupuy *et al.*, 2012 y Díaz-Gallegos *et al.*, 2002.

| Tipo de vegetación | Edades de abandono (años) | Índice de valor de importancia |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Bosque tropical secundario | 3-8 | 5 |
| Bosque tropical secundario | 9-15 | 6 |
| Bosque tropical secundario (planicie) | > 15 | 2 |
| Bosque tropical secundario (Cerro) | > 15 | 2 |
| Bosque tropical subperenifolio | Conservado | 12 |

Es importante destacar que la floración del *G. floribundum* se da en las épocas de secas por lo cual la miel que proviene de esta floración contiene un menor contenido de humedad que la cosechada en otras épocas, lo cual junto con otras características como su color, sabor, olor y viscosidad, hacen que la miel que proviene del néctar del *G. floribundum* sea considerada de alta calidad siendo apreciada en el mercado nacional e internacional (Porter-Bolland, 2003; Vicario y Echazarreta 1999; Echazarreta *et al.*, 1997).

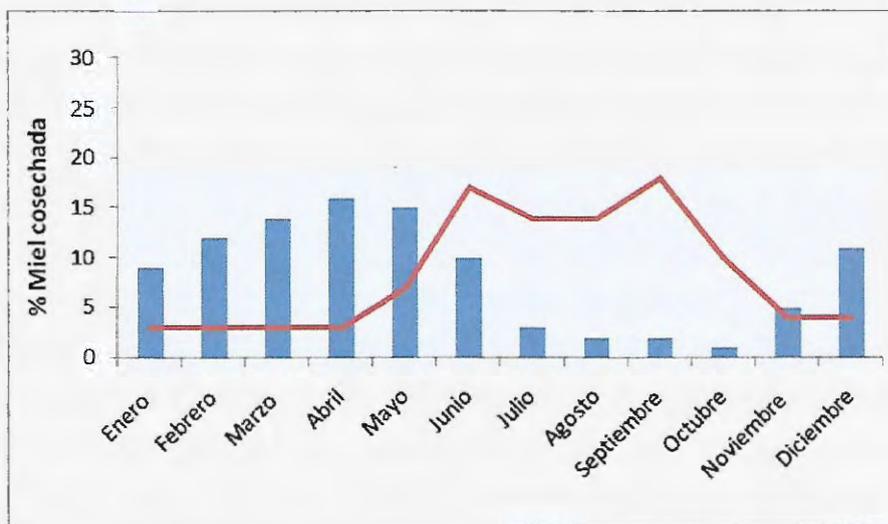


Figura 1. Producción de miel en Yucatán y su contribución mensual representada por las barras azules, la línea roja representa la precipitación anual, los datos corresponden al promedio de los años 2002-2011 (datos tomados del SIAP y de la CONAGUA)

Néctar y su relación con sus consumidores

De manera general, el néctar se define como una sustancia líquida constituido principalmente por agua y azúcares y que es producido por las plantas a través de los nectarios. Existen dos tipos de néctar y su denominación está en función del sitio donde es producido, el extra floral y el floral. El primero se le denomina así debido a que el nectario no se encuentra en la flor y por lo tanto el néctar no es producido en las flores, y es probable que sea de origen más ancestral que el floral ya que está presente también en pteridofitas y gimnospermas, su función sugiere que es la de atraer organismos beneficiosos como hormigas, parasitoides u otros que les sirvan como protección para la planta, e incluso se pudo haber originado como una forma de liberar el exceso de carbohidratos en las plantas (Canto, 2011; Nepi *et al.*, 2009).

El néctar floral como su nombre lo indica es producido exclusivamente en los néctarios presentes en las flores, y los azúcares que lo conforman son la sacarosa, fructosa y glucosa. El agua y los azúcares del néctar se encuentran presentes en distintas proporciones y concentraciones, por ejemplo las concentraciones de azúcar en el néctar pueden ser tan altas que alcanzan el 80%, pero valores cercanos al 20% son los más comunes. El néctar además contiene otras sustancias, tales como vitaminas minerales, aminoácidos, compuestos aromáticos, aceites, toxinas, lípidos, antibióticos, e inclusive otros azúcares más complejos como xilosa, maltosa y rafinosa (Lundgren, 2009; Nicolson y Thornburg, 2007; Baker y Baker 1975).

El néctar floral está íntimamente asociado a la reproducción de la planta y se considera la mayor recompensa alimenticia producida por las plantas con flor, su función es la de atraer a organismos que visitan a las flores para que transporten el polen de una flor a otra desempeñando un papel determinante en el proceso de polinización, asegurando con esto la variabilidad genética y aumentando el éxito reproductivo (Nicolson, 2007; Simpson y Neff, 1983).

Las características del néctar están relacionadas íntimamente a los requerimientos energéticos y nutricionales de sus consumidores, por tanto el volumen, la concentración

de azúcares, la química y el tiempo de secreción del néctar, determinará el tipo de polinizadores que visiten a la flor. Esta relación ha sido observada en varios grupos de polinizadores, como ejemplo se tiene que los colibríes, mariposas, polillas y abejas de lengua larga por lo general prefieren néctares ricos en azúcares como la sacarosa, mientras que las abejas de lengua corta y las moscas prefieren néctares ricos en hexosas. Otro ejemplo se observa respecto a la concentración del néctar, las plantas polinizadas por abejas producen néctares más concentrados en comparación con la concentración registrada en las plantas visitadas por aves, como por ejemplo los colibrís (Nicolson, 2007; Baker y Baker, 1968).

Factores que afectan la producción y calidad del néctar

Las características del néctar volumen, concentración de azúcares y composición química están influenciadas por diversos factores, y estos se pueden dividir en: factores externos los cuales se dan por influencia del medio ambiente que lo rodea, y los factores internos que derivan principalmente por procesos fisiológicos de la flor. Además la variabilidad en el néctar se da en diversos niveles, por ejemplo a nivel intraespecífico donde se ha reportado variación entre las flores de la misma planta, entre nectarios de la misma flor, entre plantas de una población, y entre las poblaciones (Canto *et al.*, 2011; Canto *et al.*, 2007; Galetto y Bernardello, 2005).

Los principales factores internos que se han estudiado son los relacionados con la edad de la flor ya que en ciertas especies, la concentración de azúcares y el volumen producido se altera de acuerdo a la edad de la flor; en el caso de *Aconitum columbianum* se encontró que las flores de mayor edad segregan más néctar que las flores más jóvenes. Además de la edad de la flor, se ha documentado que otros factores como la sexualidad de la flor y la posición que ocupa en la inflorescencia son factores importantes que determinan la variabilidad de las características del néctar de la planta. Inclusive los factores medio ambientales como la luz, humedad, temperatura y fertilidad del suelo puede estimular la variación interna en las características del néctar (Canto *et al.*, 2011; Sakai, 2008; Mendizabal, 2005; Mitchell, 2004; Kato y; Schlising, 1970).

La reabsorción del néctar es otro factor interno que influye de manera directa en el volumen y concentración de los azúcares presentes en el néctar. Una posible función de la reabsorción es la de evitar que las flores después de ser fecundadas continúen siendo visitadas por los polinizadores o incluso como un mecanismo para recuperar parte de la energía invertida en el néctar (Búrquez y Corbet, 1991).

Los principales factores externos (Figura 2), son la temperatura, humedad, precipitación, radiación solar, nutrientes disponibles en el suelo, y velocidad del viento. Estos factores actúan en conjunto y el nivel de afectación sobre el néctar dependerá de la morfología de la flor y la forma en que es presentado el néctar, ya que por ejemplo las flores en forma tubular permiten una menor exposición del néctar y la radiación solar y el viento, le afectarán menos que a una planta que produzca un néctar en una flor expuesta (Dafni, 1992).

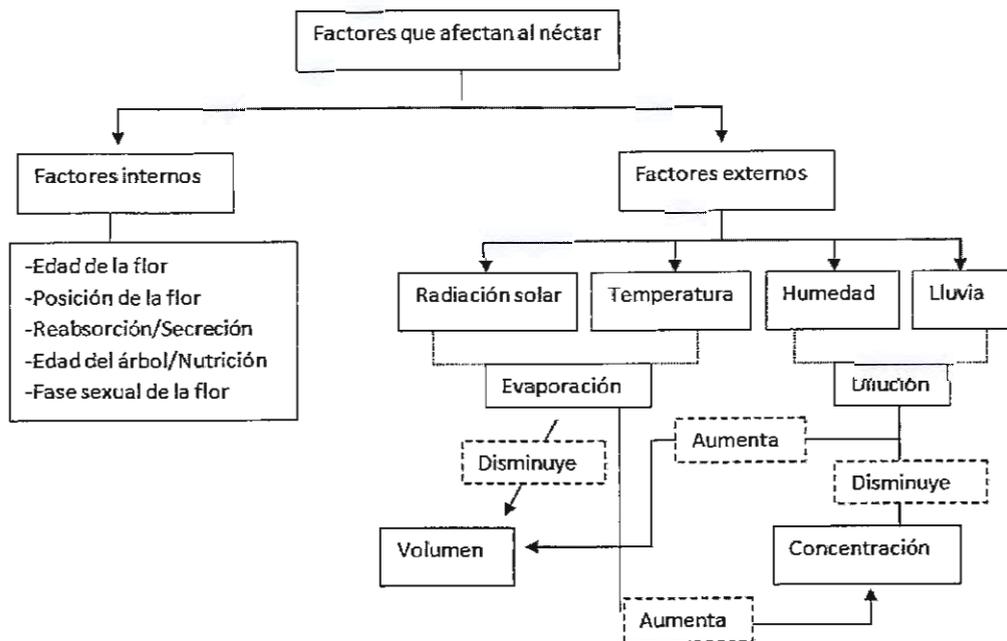


Figura 2. Factores que afectan la producción y las características del néctar (Dafni, 1992).

Descripción de la especie

Gymnopodium floribundum, (figura 3) es una planta perteneciente a la familia Polygonaceae, que puede ser de hábitos arbustivos o arbórea alcanzado alturas que van de los 2 a 7 metros, y es fácilmente reconocible por la corteza fisurada de color gris o café oscuro, presentando una compleja ramificación de patrón simpodial monocasio. Las hojas son alternas simples de forma elíptico-oblongadas con venación pinnada con 7-10 pares de nervios primarios (Ortiz, 1994). Presenta inflorescencias terminales que pueden presentarse de forma solitaria o en pares racimosas, estas a su vez en panículas de color verdoso-amarillento, la flor contiene 9 estambres con filamentos de 2 mm de largo, el ovario es súpero, sécil trígono y comprimido, unicarpelar, presentando 3 estilos filiformes. Las flores son hermafroditas y presentan una separación temporal en las funciones sexuales, madurando primero la fase masculina a este fenómeno se le conoce como protandria. El fruto es del tipo aquenio trígono de 4-5 mm de largo por 2 mm de grosor, de superficie lisa y de color café claro, en su interior se encuentra una única semilla de forma alargada, con cotiledones orbiculares.

En México la distribución del *G. floribundum* abarca Oaxaca, el sur de Tabasco, la península de Yucatán, y también se distribuye en Centroamérica en los países de Belice, Guatemala y Honduras (Flores y Vermont, 2011; Interián-Ku *et al.*, 2009; Ortiz, 1994). A pesar de que *G. floribundum* es una especie ampliamente distribuida en Yucatán y de la cual se obtiene grandes beneficios económicos, ha sido poco estudiada.

La información más antigua de la que se tiene registró es la de Stanley en (1930) y posteriormente la de Miranda en 1958, en la cual la mencionan en trabajos generales que describen la vegetación y flora de la península de Yucatán. Acosta en (1985) estudió algunos aspectos que se enfocan en su biología en general así como sus usos alternativos, de igual manera se ha estudiado la arquitectura y morfometría del árbol por parte de Interián-Ku *et al.*, en el 2009. Sin embargo aspectos de suma importancia como su biología floral y reproductiva han sido poco estudiados, siendo el estudio de López en 1994 el único y más importante que ha descrito aspectos de su biología reproductiva y su relación con la producción de néctar.

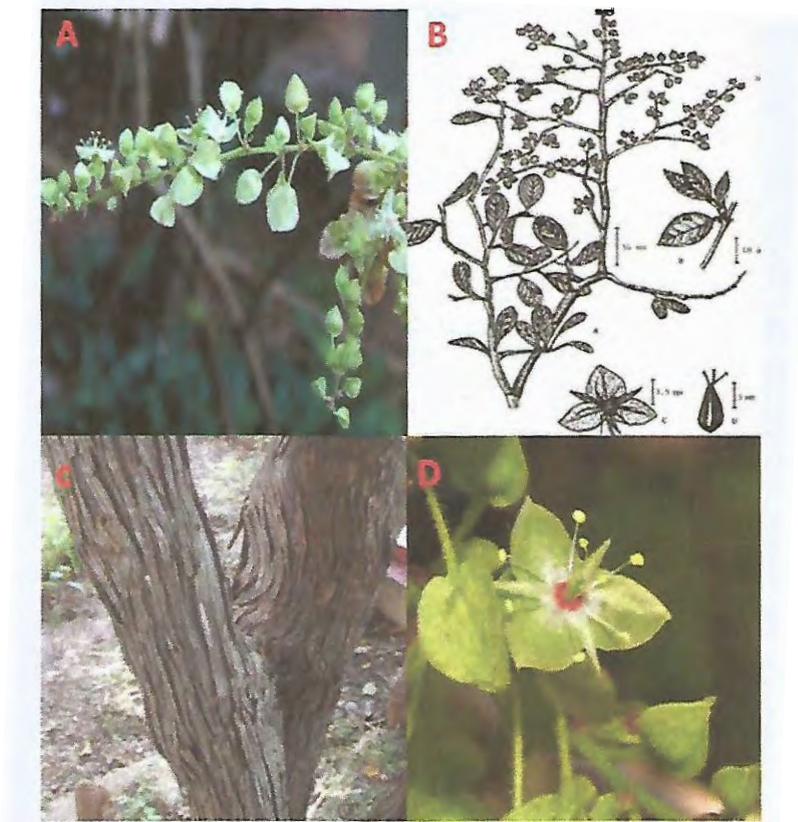


Figura 3. Fotografías y dibujos botánicos de Ortiz (1994) del *G. floribundum*. A: Inflorescencia; B: Dibujo de las principales características; C: Tallos; D: Flor

Fenología floral y su relación con el clima

La mayor parte del trabajo del presente estudio se realizó durante la floración del 2012, tomando en cuenta que la floración del *G. floribundum* depende de la lluvia de un año anterior, se graficó la precipitación del año 2011 como se observa en la (figura 4) para tener una referencia de la cantidad de lluvia previa a la floración estudiada. Esta información es útil porque permite explicar las posibles diferencias en la producción de néctar entre las áreas de estudio.

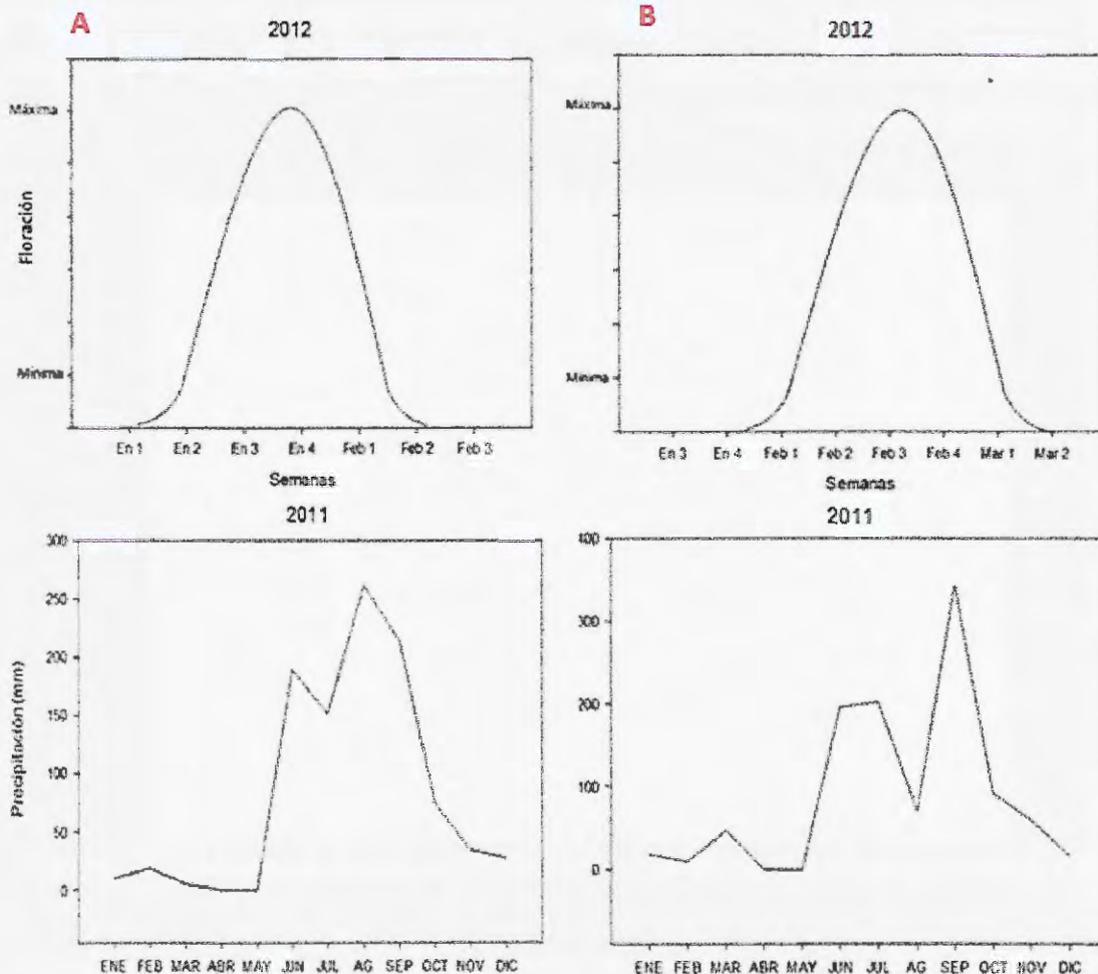


Figura 4. Inicio, pico y final de floración por semanas del *G. floribundum* en el 2012 y precipitación anual en las áreas de estudio: A) CICY; B) UADY.

Sitios de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en dos sitios distintos, ambos con una amplia abundancia de *G. floribundum* y con una tiempo similar de conservación de la vegetación (30 años). El primero (figura 5) se ubica en el jardín botánico regional Xíitbal neek (Figura 4), ubicado dentro de las instalaciones del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), el cual se localiza al norte de la ciudad de Mérida (21°01'42" de LN, 89°38'17" LO) en una altitud de 8 m. El suelo es de tipo rendzina y poco abundante, pedregoso y con un alto contenido de materia orgánica. El clima es cálido subhúmedo con

lluvias en verano y con una marcada sequía de diciembre a abril. La precipitación media anual es de 940 mm y la temperatura media anual de 26°C. (Ruíz-Godoy y Orellana, 2000; Orellana y Escalante, 2004).



Figura 5. Imagen satelital de Google Earth Enterprise (2010) indicando las dos áreas de estudio.

El segundo sitio de estudio seleccionado se ubica en los terrenos del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), localizado en el kilómetro 15.5 de la carretera Mérida-X' matkuil, al sur de la ciudad de Mérida, entre los 20° 58' 09" de Latitud Norte y 89° 37' 02" de Longitud Oeste. La altura máxima del terreno es de 10 metros. La extensión total del área es de 28 hectáreas con una presencia de 90 especies de plantas características de la vegetación secundaria y de la selva baja caducifolia. El suelo está clasificado como somero y pedregoso, identificados en el tipo de litosoles, rendzinas y cambisoles, localmente conocidos como ts'ek'e'l, y kankab y el clima es similar al del primer sitio de estudio siendo cálido subhúmedo con lluvias en verano y sequías en gran parte del año, como es característico en la península con una precipitación anual de 948 mm y presentando una temperatura media anual de 25° C (Casanova, 2000).

Los dos sitios de estudio se seleccionaron debido a que ambos poseen una amplia abundancia de *G. floribundum*, además en ambos sitios la vegetación tiene un tiempo de conservación similar de más de 30 años y las condiciones climáticas y edafológicas son similares.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Tomando en cuenta la importancia económica y ecológica del *G. floribundum*, como recurso nectarífero y dado que se tiene poca información respecto a su aporte nectarífero y floral, las preguntas de investigación del presente trabajo son las siguientes:

- 1.- ¿Cuál es la densidad de árboles y el número de flores en el *G. floribundum* a nivel individual y poblacional en el campus de la UADY y el CICY?
- 2.-¿Cuál es la producción de néctar respecto al volumen y azúcar por flor, árbol y hectárea en las dos áreas de estudio?
- 3.-¿A qué nivel (intra-individual o inter-individual) se registra la mayor variabilidad del néctar respecto al volumen y concentración de azúcares?
- 4.-¿Cuáles son los visitantes florales y cuál es su dinámica de visita en relación a las características del néctar y las variables ambientales?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la importancia del *G. floribundum*, como recurso nectarífero en función de la producción y concentración de azúcares del néctar y su relación con los visitantes florales.

Objetivos específicos

- 1.- Estimar la densidad de individuos y la producción de inflorescencias y flores por árbol.
- 2.- Evaluar la producción y concentración de azúcares del néctar a lo largo del día por flor, individuo y hectárea.
- 3.-Estimar la variación intra-individual e inter-individual del néctar respecto al volumen y concentración de azúcares.
- 4.-Identificar a los visitantes florales y estimar la dinámica de visitas en relación a las características del néctar producido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arellano-Rodríguez, J.A., J.S. Flores Guido, J., Tun Garrido y M.M. Cruz-Bojórquez. (2003). Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. en: *Etnoflora Yucatanense* J.S. Flores (ed.). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán. 815 p.
- Acosta, M.C. (1985). Estudio e investigación del *Gymnopodium floribundum* rolfe Var: *Antigonoides robinson* (Tsi' Tsilche) en algunos municipios del estado de Yucatán. Tesis de Licenciatura, Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán. 144 p.
- Alfaro, B.R.G., J.A. González, D.J. Ortiz, C.F.A. Viera, P.A.I. Burgos, E. Martínez-Hernández y E. Ramírez-Arriaga (2010). *Caracterización Palinológica de las Mieles de la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 156 p.
- Baker, H. G. and I. Baker (1975). Studies of nectar constitution and pollinator-plant coevolution, in: *Coevolution of Plants and Animals*, Gilbert, L. E. y P. H. Raven, (eds),. Univ. of Texas Press. Texas. pp. 100-140.
- Baker, H.G. y P.D. Hurd (1968). Intrafloral ecology. *Annual Reviews Entomology* 13, 385-414

- Brandenburg, A., A. Dell'Olivo, R. Bshary and C. Kuhlemeier (2009). The sweetest thing Advances in nectar research. *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 486-490.
- Búrquez, A. and S. A. Corbet (1991). Do Flowers Reabsorb Nectar?. *Functional Ecology*, 5, 349-379.
- Canto, M. A. (2011). El néctar, la esencia de la miel, en: *La Miel y las Abejas el Dulce Convenio del Mayab*, C. Echazarreta (Ed). Biblioteca Básica de Yucatán. México, Yucatán .pp. 61-72
- Canto, M. A., C. M. Herrera, I. M. García, R. Pérez and M. Vaz (2011). Intraplant variation in nectar traits in *Helleborus foetidus* (Ranunculaceae) as related to floral phase, environmental conditions and pollinator exposure. *Flora*, 206, 668-675
- Canto, M. A., R. Pérez, M. Medrano, M. C. Castellanos and C. H. Herrera (2007). Intra-plant variation in nectar Sugar Composition in two *Aquilegia* species (Ranunculaceae): contrasting patterns under field and glasshouse conditions. *Annals of Botany*, 99, 653–660.
- Casanova, L.I. (2000). Caracterización de la vegetación secundaria del área experimental que se ubica al noreste del campus universitario de la FMVZ. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán. Merida Yucatán. 87 p.
- Dafni, A. (1992). *Pollination Ecology a Practical Approach*. Oxford University press. Oxford. 250 p.
- Díaz-Gallegos, J. R., O. Castillo-Acosta y G. García-Gil (2002). Distribución Espacial y Estructura Arbórea de la Selva Baja Subperennifolia en un Ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Universidad y Ciencia*, 18,11-27.
- Dupuy, J.M., J. L. Hernández-Stefanoni, R. A. Hernández-Juárez, E. Tetetla-Rangel, J. O. López-Martínez, E. Leyequien-Abarca, F. J. Tun-Dzul and F. May-Pat (2012). Patterns and correlates of tropical dry forest structure and composition in a highly replicated chronosequence in Yucatan, Mexico. *Biotropica*, 44, 151-162.
- Duran, R. y G. García. (2010). Distribución espacial de la vegetación, en: *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, Duran, R. y M. Méndez (Eds). Centro de Investigación Científica de Yucatán, Programa de Pequeñas Donaciones-Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. Yucatán, México. pp. 131-135.

- Duran, R. (2000). *Listado Florístico de la Península de Yucatán*. Centro de Investigación Científica de Yucatán . Mérida Yucatán. 259 p.
- Echazarreta, C. M. (2010). Apicultura y producción de miel, en: *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. Duran, R. y M. Méndez (Eds). Centro de Investigación Científica de Yucatán, Programa de Pequeñas Donaciones-Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. Yucatán, México. pp 109-111.
- Echazarreta, C. M., J.J. G. Quezada-Euan, L. M. Medina y K. L. Pasteur (1997). Bee-keeping in the Yucatan Peninsula: Development and Current Status. *Bee World*, 78, 115-27.
- Flores, G. J. S. (2010). Flora melífera, en: *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. Duran, R. y M. Méndez (Eds). Centro de Investigación Científica de Yucatán, Programa de Pequeñas Donaciones-Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. Yucatán, México. p 345.
- Flores, G. J.S. (1990). The flowering periods of leguminosae in the Yucatan peninsula in relation to honey flows. *Journal of Apicultural Research*, 29, 82-88
- Flores, G. J.S. y R. Vermont (2011). La vegetación de la península de Yucatán y su miel, en: *La Miel y las Abejas el Dulce Convenio del Mayab*, Echazarreta (Ed) Biblioteca Básica de Yucatán. México, Yucatán .pp. 33-46.
- Galetto, L and Bernardello, G (2005). Rewards in flowers: néctar, in: *Practical Pollination Biology*, A. Dafni, P. G. Kevan, y B.C. Husband (Eds.) Cambridge, Ontario. pp. 261–313.
- Güemes, R.F., C. Echazarreta y R. Villanueva. (2004). *Condiciones de la Apicultura en Yucatán y del Mercado de sus Productos*. Ediciones Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. 71 p.
- Interián-Ku, V.M., J.I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares, M.A. Borja y H. Vaquera-Huerta (2009). Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85,17-29.

- Kato, S. y S. Sakai (2008). Nectar secretion strategy in three Japanese species: changes in néctar volumen and sugar concentration dependent on flower age and flowering order. *Botany*, 86, 337–345.
- López, N.Y. (1994). Cantidad y calidad el néctar producido por tres especies de plantas de la familia Polygonaceae. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. 50 p.
- Lundgren, J.G (2009). *Progres in Biological Control: Relationships of Natural Enemies and Non-Prey Foods*. Springer Dordrecht, Netherlands. 453 p.
- Mejia, P., Dilcher, D. and Jaramillo, C (2006). Early angiosperm evolution in tropical latitudes. *Palynology*, 30, 222.
- Mendizabal, F. M. (2005). *Abejas*. Editorial Albatros SACI. Buenos Aires Argentina. 256 p.
- Miranda, F. (1958). Estudios acerca de la vegetación, en: Los Recursos Naturales del Sureste y su Aprovechamiento, Beltran, E. (ed) . Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables México. pp. 230-231.
- Mitchell, R.J. (2004). Heritability of nectar traits: why we know so little? *Ecology*, 85, 1527-1533.
- Nepi, M., P. Aderkas, R. Wagner, S. Mugnaini, A. Coulter and .E. Pacini (2009). Néctar and pollination drops: how different are they? *Annals of Botany*, 104, 205-219.
- Nicolson, S.W. and R.W. Thornburg (2007). Nectar chemistry, in: *Néctaries and Nectar*, Nicolson, S. W, M. Nepi, y E. Pacini (eds) Springer, Dordrecht. pp. 215-249.
- Orellana, R. y S. Escalante (2004). Jardín Botánico Regional-Xítbal neek, en: Colecciones Biológicas Centros de Investigación CONACyT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (ed). México D.F. México. pp 60-61.
- Ortiz, J.J. (1994). Polygonaceae. *Etnoflora Yucatanense*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 61 p.
- Percival, M. S. (1961). Types of nectar in angiosperms. *New Phytologist*. 60: 235-281.
- Pool, A.P. (1988). Composición estructura y manejo actual de la vegetación secundaria en diferentes etapas de barbecho en Hocaba, Yucatán, México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. 65 p.
- Porter-Bolland, L. (2003). La apicultura y el paisaje maya. Estudio sobre La fenología de la floración de las especies melíferas y su relación con el ciclo apícola en la Montaña, Campeche, México. *Estudios Mexicanos*, 19, 303-330.

- Prámparo, M. B., M. Quattrocchio, M. A. Gandolfo, M. C. Zamalao y E. Romero. (2007). Historia evolutiva de las angiospermas (Cretácico-Paleógeno) en Argentina a través de los registros paleoflorísticos. *Asociación Paleontológica Argentina*, 11, 157-172.
- Quiroz-Carranza, J. y R. Orellana (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 16, 47-67.
- Rico-Gray, V., J. G. García-Franco, A. Puch, y P. Sima. (1988). Composition and structure of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico. *International Journal Ecology Environmental Science*, 14, 21-29.
- Ruizgodoy G.R. y L.R. Orellana (2000). *Museos Vivos de Plantas en la República Mexicana*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Programa Nacional de Reforestación. Centro de Investigación Científica de Yucatán. A.C. México. 90 p.
- SAGARPA, (2009). Síntesis del Sector Agropecuario de Yucatán Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Yucatán, México. pp. 1-14
- Sammataro, D. and A. Avitabile (1998). *The Beekeeper's Handbook*. Cornell University Press. New York. USA. 190 p.
- Schlising, R.A. (1970). Sequence and Timing of Bee Foraging in Flowers of *Ipomoea* and *Aniseia* (Convolvulaceae). *Ecology*, 6, 1061-1067.
- Simpson, B.B. y J. L. Neff. (1983). Evolution of floral rewards in: *Handbook of Experimental Pollination Biology*. Jones, C.E. and R.J. Little (eds). Van Nostrand Reinhold, New York. pp. 142-159.
- Sousa N., V. Suárez y A. Barrera. (1981). *Plantas Melíferas y Poliníferas de Yucatán*. Fondo Editorial de Yucatán. Mérida, Yucatán. 60 p.
- Standley, P.C. (1930). La flora de Yucatán. *Field Museum Natural History Botanical*, 3, 157-492.
- Toledo, V., N. Barrera, E. García y P. Alarcón (2008). Uso múltiple y biodiversidad entre los mayas yucatecos (México). *Interciencia*, 33, 345-352.
- Vicario, E. and C.M. Echazarreta, (1999). *Gymnopodium floribundum*: a major honey plant for beekeepers in Yucatán, Mexico. *Bee World*, 80, 145-147.

Villanueva-Gutiérrez, R., B. Moguel-Ordóñez, C. M. Echazarreta-González y G. Arana-López (2009). Monofloral honeys in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Grana*, 48, 214-223.

ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE INDIVIDUOS, PRODUCCIÓN DE FLORES Y NÉCTAR EN DOS POBLACIONES DE *GYMNOPODIUM FLORIBUNDUM* ROLF

INTRODUCCION

Los recursos florales son de gran importancia ecológica, principalmente por ser una abundante fuente de alimento en los ecosistemas. La mayoría de la información acerca de la producción floral proviene de estudios acerca de la fenología floral y su relación con la biología reproductiva de las plantas. Sin embargo la cuantificación floral ha sido poco estudiada en relación a las actividades económicas y de conservación de los polinizadores, actividades en las cuales los recursos florales son esenciales y para los cuales la estimación floral resulta de gran importancia, como ejemplo en la apicultura. (Díaz-Forestier *et al.*, 2009; Ollerton y Lack, 1998)

La estimación de los recursos florales en conjunto con la producción nectarífera es una herramienta que permite evaluar la importancia de la flora melífera y permite crear estrategias con fines prácticos por ejemplo para la industria apícola, en la cual adquiere mayor relevancia esta información. Además de la importancia práctica, los recursos florales deben de ser estudiados en relación a la cantidad de recurso alimenticio que proporcionan para los grupos de insectos en el ecosistema, principalmente para los grupos de polinizadores y visitantes florales, los cuales en la actualidad se ha reportado una declive en sus poblaciones (Carrie y George, 2012; Díaz-Forestier *et al.*, 2009; Timmer y Zitko, 1995).

Debido a la importancia ecológica y práctica de la estimación de los recursos florales y nectaríferos en el presente capítulo se estimó la densidad de individuos y el número de flores e inflorescencias de *G. floribundum*. Además se determinó y evaluó la producción de néctar y su concentración de azúcares a lo largo del día así como su variabilidad a nivel intra-individual e inter-individual. Finalmente se estimó la producción de néctar y su equivalente en sacarosa por flor, árbol y hectárea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de *G. floribundum* en las áreas de estudio

La estimación de la densidad de *G. floribundum* se llevó a cabo usando el método de intersección en línea de Eberhard (1978), este método se aplicó en ambas áreas de estudio. En cada zona se delimitó una hectárea dentro de la cual se trazaron cuatro transectos de 50 metros de largo cada uno, con una separación de 20 metros entre ellos, y cada transecto se delimitó con un ancho de 2 metros, con 1m por lado de la línea central (Figura 6).

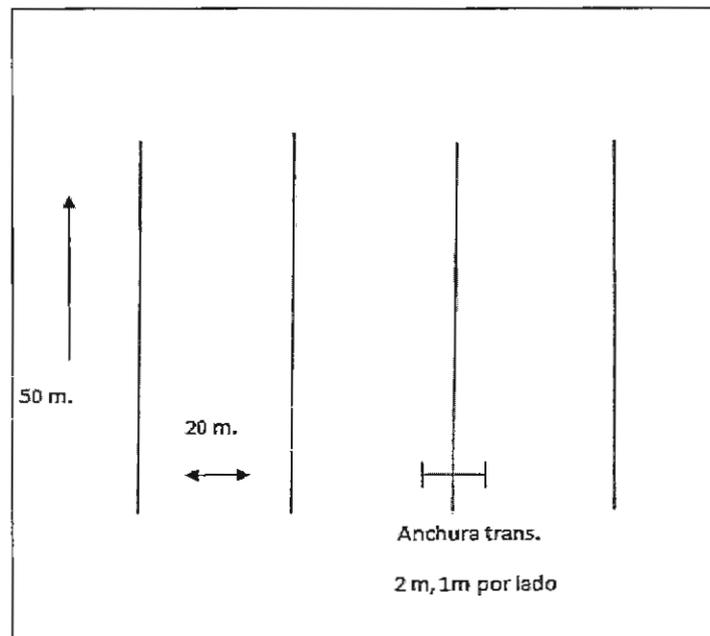


Figura 6. Esquema de los transectos. Distancias entre los transectos, así como su longitud y anchura de cada uno.

El muestreo consistió en recorrer a lo largo de cada transecto y localizar cada individuo de *G. floribundum* dentro del rango de la línea. Una vez ya recorrido el transecto se registraban los individuos encontrados. Cada árbol encontrado en el transecto fue marcado con un número para su identificación y a cada árbol se le tomaron los siguientes datos para su posterior análisis: número de ramets (clones del árbol desarrollados a partir de propágulos o extensiones de la raíz), diámetro a la altura del pecho, cobertura de la

copa (largo y ancho) y al ser la ramificación del árbol importante para la variación del néctar, se tomó en cuenta tres niveles de ramificación, nivel primario (b1), nivel secundario (b2) y nivel terciario (b3), el nivel cuaternario (b4) no se contabilizó en el estudio, debido a la alta ramificación en este nivel el cual impide su conteo en campo al entre cruzarse con ramas de árboles vecinos (Figura 8). Se registró la presencia y ausencia de flores en las ramas del nivel terciario (b3). Finalmente, se realizó una estimación de la densidad de individuos en las áreas de estudio, dividiendo el número de individuos contados entre el área total muestreado m^2 (Krebs, 1999).

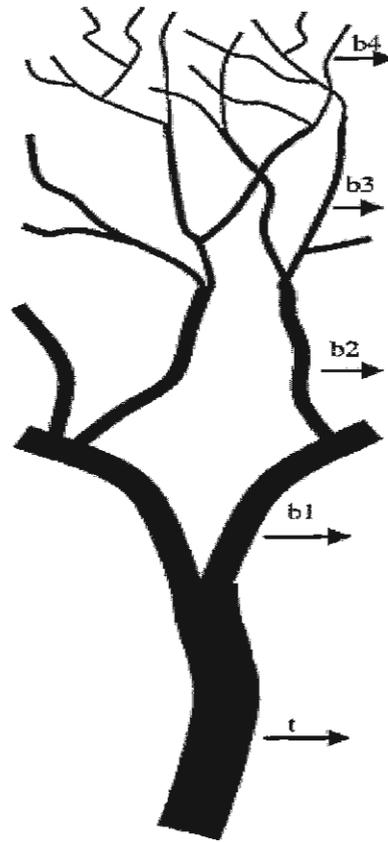


Figura 7. Patrón de ramificación típico de *G. floribundum*. Imagen tomada de Mondragon et al., 2004 mostrando la típica ramificación en *G. floribundum*, y los niveles que presenta, tronco, rama primaria (b1), rama secundaria (b2), rama terciaria (b3), rama cuaternaria (b4).

Para la estimación de la densidad de individuos del *G. floribundum* se consideró la reproducción clonal que presenta, y por lo tanto el criterio que se siguió para saber en qué

caso interpretar a un individuo como ramet de un árbol o un árbol individual. Esto consistió en tomar la distancia de separación como indicador de individuos independientes, no conectados a través de raíces en caso de mucha cercanía (50 a 100 cm) se procedió a excavar en el espacio entre los árboles para observar si hay uniones de las raíces, las cuales se pueden determinar con cierta facilidad y a poca profundidad, figura 9. En caso de haber uniones se consideraron ambos árboles como ramets de un mismo individuo.



Figura 8. Raíces del *G. floribundum* y sus uniones (flechas rojas) entre ramets Se puede apreciar en estas imágenes las uniones entre raíces que indica en este caso que los árboles son ramets (clones) pertenecientes a un solo individuo.

Estimación número de flores e inflorescencias

Para estimar el número de flores producidas se usaron dos métodos:

1) Censo floral total: En este método se seleccionaron dos árboles, uno por cada área de estudio a los que se les registró la totalidad de flores e inflorescencias. El conteo de flores e inflorescencias se realizó de manera manual a partir de las ramas colectadas de los árboles seleccionados para el censo, las ramas se cortaron al nivel de rama terciaria

(b3). A cada rama colectada del nivel (b3) se le registró la procedencia (tomando en cuenta de que rama secundaria provenía y de que ramet) de acuerdo al patrón de ramificación explicado anteriormente (figura 8).

2) Censo de flores por rama: Para este método se colectó de cada árbol localizado en los transectos una rama terciaria (b3), la cual se envolvió en periódico y empaquetó en bolsas de plástico anotando los datos del árbol y de la rama de procedencia. Dado que el número de ramas fue elevado no se pudo realizar el conteo en el mismo tiempo que fueron colectadas, por lo que se guardaron en el Laboratorio de Ecología del CICY. Debido a que las flores con el paso del tiempo se caían dentro de sus envolturas, se usó el conteo del pedúnculo como evidencia del número de flores que presentaba cada inflorescencia (figura 10). Para la estimación de flores por árbol, se utilizaron dos datos: 1) el número de ramas secundarias en flor (b2) de cada árbol ubicado en los transectos y 2) el promedio de flores producido por rama secundaria (b2), ambos datos se multiplicaron y de esta manera se obtuvo el número de flores producido por árbol.

El segundo método (conteo de flores por rama) se realizó en todos los árboles muestreados para que el número de muestras fuera grande y por lo tanto las datos estadísticos calculados sean representativos de la población, permitiendo de esta manera realizar los análisis en un número menor de muestras y no en toda la población, y en base a estos extrapolar los resultados de los análisis de néctar a toda la población.



Figura 9. Método de conteo de flores e inflorescencias. A: Inflorescencias, B: Pedúnculo (flecha roja), C: Muestras en el microscopio.

Variación del número de flores

Para saber si existe variación importante en el número de flores respecto a cada nivel de ramificación, rama primaria b1, rama secundaria b2, rama terciaria b3, y entre árboles se estimaron los componentes de varianza. Complementariamente se realizó un análisis de modelos mixtos debido a que en el análisis se incluyeron efectos aleatorios (variación entre los niveles de ramificación) y efectos fijos (diferencias entre los sitios de estudio). El diseño de componentes de varianza se escogió por que permite analizar las muestras colectadas en ambos métodos de estimación floral. Además los componentes de varianza (niveles de ramificación) se encuentran anidados y estructurados en un estricto orden jerárquico en el cual todos los efectos se asumen como aleatorios, quedando estructurados de la siguiente manera: ramet se encuentra anidado dentro de árbol, rama primaria b1 se encuentra anidado dentro de ramet, rama secundaria b2 se encuentra anidado dentro de rama primaria b1 y finalmente rama terciaria b3 se encuentra anidada dentro de rama secundaria b2.

Relación de las variables biológicas del árbol con la producción floral y con su probabilidad de floración.

Los datos colectados de los árboles durante el muestreo por transectos: diámetro a la altura del pecho, número de ramets, número de ramas primarias (b1), número de ramas secundarias (b2), número ramas secundarias (b2) en flor y cobertura de la copa (midiendo el largo y ancho para posteriormente multiplicar estos valores y obtener el área ocupado por la copa). Con este conjunto de variables se realizó una regresión estadística para poder determinar cuáles de las características (biológicas) del árbol pueden estar asociados con el número de flores por árbol, con el número de ramas secundarias en flor (b2) y con el número de flores por inflorescencia.

Para poder saber cuáles variables de las cuantificadas en el *G. floribundum* modifican la proporción de ramas secundarias en flor con respecto al total de ramas secundarias y conocer las variables del árbol que pueden influir en la probabilidad de floración de los árboles observados en los transectos, se realizó una regresión logística usando modelos lineales generalizados mixtos. Este procedimiento se basa en una función logística y se usa para modelar la probabilidad de un evento ocurriendo como función de otros factores

Volumen de producción de néctar

La evaluación del volumen de néctar se llevó a cabo midiendo el néctar producido en las flores de *G. floribundum*. Para la recolección del néctar se utilizaron microcapilares calibrados (volumen expresado en microlitros). Las colectas se realizaron en cuatro horarios: mañana 1 (06:30 h), mañana 2 (10:00 h), medio día (14:00 h) y tarde (17:00 h), para cubrir de esta manera la producción en todo el día. La técnica utilizada para la obtención del néctar fue la de néctar acumulado; para esto se embolsaron inflorescencias de un total de 11 árboles del área de estudio del CICY y nueve del área de la UADY. Después del embolsado, se esperaron cuatro horas debido a que según observaciones previas, es el tiempo mínimo en el cual se acumula néctar suficiente para su medición. Ya transcurridas las cuatro horas se cortaron las inflorescencias y se llevaron al laboratorio donde se les midió el volumen de néctar producido a tres flores por cada inflorescencia. La primera toma de datos se inicio a las 06:30 h de inflorescencias embolsadas un día

antes, tomando en cuenta que según muestreos previos la secreción de néctar inicia desde las 03:00 h.

El volumen se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por Dafni (1992). El néctar se extrajo con los microcapilares calibrados y se midió la longitud (milímetros) del néctar ocupado en el microcapilar, posteriormente esta cantidad se dividió entre la longitud total del microcapilar (mm) y se multiplicó finalmente por la capacidad total de volumen del microcapilar. La fórmula es la siguiente.

$$\frac{\text{Longitud de la columna de néctar (mm)}}{\text{Longitud total del microcapilar (mm)}} * \text{Volumen total del microcapilar}$$

= Volumen de néctar μl acumulado en 4 horas

Concentración de azúcares en el néctar

La concentración de azúcares en el néctar se determinó midiendo el total de azúcares disueltos en el néctar colectado durante el muestreo del volumen. La medición se realizó diluyendo la muestra de néctar con agua destilada en el mismo capilar (completando el volumen del capilar con agua), y agitando posteriormente para homogenizar el líquido esta medida se realizó ya que los volúmenes disponibles en ocasiones eran muy pequeños e incuantificables. Posteriormente el néctar diluido fue expulsado sobre el prisma del refractómetro manual (eclipse). La concentración fue expresado en grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) (g de sacarosa/100 g solución) y esta medida es un cociente total de equivalentes de sacarosa disuelta en una determinada solución. Como el solvente y el soluto se encuentran en unidades de masa (gr) la solución es una relación peso/peso (Kearns & Inouye, 1993; Bolten *et al.*, 1979).

Una vez medida la concentración de azúcares en grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) de la muestra diluida, se aplicó la fórmula de disoluciones químicas para conocer la concentración inicial (antes de diluirse) de la muestra de néctar colectada. La fórmula indica la relación porcentual del volumen del soluto disuelto (azúcar), expresado en mililitros, respecto al volumen de la solución (néctar), también expresado en mililitros (Seese y Daub, 1989). La fórmula es la siguiente:

$$\frac{VF * C}{Vi} = \% \text{ Brix por volumen de néctar colectado}$$

Donde:

VF= volumen final del capilar calibrado ocupado por el néctar.

C= Concentración del néctar, obtenido tras completar el volumen del capilar con agua destilada y medido directamente en el refractómetro en (grados brix, °Bx)

Vi= Volumen inicial del néctar ocupado en el microcapilar calibrado, tomado directamente de la flor.

Para poder estimar la cantidad de azúcar producido por árbol y por hectárea fue necesario obtener la cantidad de azúcares en miligramos producido por flor por día utilizando el procedimiento descrito por Dafni (1992), el cual consistió en dividir en 100 la concentración de azúcar medido en el refractómetro y multiplicar el valor obtenido por el volumen de néctar colectado de la flor, finalmente el valor resultante se multiplicó por la densidad de sacarosa en la concentración observada, la fórmula es la siguiente:

Miligramos de azúcar en volumen conocido de néctar =

$$\frac{\% \text{ azucar (medido en el refractometro)}}{100} * \text{Volumen nectar en } \mu\text{l} * \text{Densidad sacarosa}$$

Variación en el néctar

Para estimar la variación del néctar se seleccionaron dos variables, volumen y concentración de azúcares expresado en grados brix. Se consideraron dos niveles para el análisis de la variación, el intra individual (dentro del árbol) e inter individual (entre árboles). Los datos seleccionados para el análisis fueron los que se colectaron previamente para la evaluación del volumen y concentración de néctar producido por flor.

Para cada muestra de néctar se tuvo un control exacto del árbol de procedencia, del área y del nivel de ramificación de procedencia (b1, b2 y b3), inclusive se registró de cuál inflorescencia procedía. Debido a la jerarquización de los datos la variabilidad del volumen

y concentración del néctar se analizó estimando los componentes de varianza (los datos están anidados uno dentro de otro).

La variación a nivel intra individual se estimó con las muestras de néctar procedentes de flores de las distintas ramificaciones (b1, b2, b3) inflorescencias y flores, pero siempre procedentes del mismo árbol. Para la variación inter individual se compararon las muestras de néctar pero colectadas de diferentes árboles. Se comparó también el néctar colectado de ambas áreas de estudio y entre los horarios para saber si existía variabilidad del néctar, entre sitios y horarios.

Se determinó la variación de las características del néctar a lo largo del día y su relación con las variables ambientales. Para lograr esto se colectaron muestras de néctar de nueve arboles procedentes del área de estudio de la UADY. Las muestras se colectaron siguiendo la metodología descrita anteriormente para la determinación del volumen y concentración. En cada árbol en la que se registró el néctar también se le registraron las variables temperatura (grados Celsius), humedad relativa (%) e intensidad de luz (medido en luxes), con el fin de poder observar como estas variables afectan las características del néctar. Los datos se registraron usando tres "data loggers" registrando cada 15 minutos las tres variables.

Finalmente, debido a que las flores del *G. floribundum* presentan una separación temporal en el desarrollo de sus órganos sexuales llamada protandria, se realizó una prueba estadística en las muestras de néctar colectadas para saber si la fase sexual en la que se encuentra la flor, (estaminada o pistilada) influye en la producción del néctar, separando y comparando las muestras provenientes de flores en ambas fases.

Estimación de la producción potencial de néctar y concentración de azúcares a nivel individuo y población

Para obtener la cantidad de néctar y azúcares potencial producido por árbol y por población primero fue necesario obtener la cantidad de néctar que produce una flor en un día, para lo cual se sumó y promedió el néctar colectado en las flores en los cuatro

horarios para cada árbol. El néctar producido por flor por día se multiplicó por el número de flores promedio producido por árbol, de esta manera se obtuvo la cantidad de néctar estimado en promedio que produce un árbol de *G. floribundum* por día. Para la estimación a nivel poblacional se multiplicó el néctar estimado producido por árbol por el número de árboles por hectárea en ambas áreas de estudio. La estimación para la cantidad de azúcares se realizó de manera similar pero usando la cantidad de miligramos de azúcar producido por flor por día, con el fin de estimar el valor melífero medido en kilo de azúcar producido por árbol y por hectárea.

Para la cuantificación de la producción de miel en ambas zonas de estudio, primero se realizó una estimación del equivalente en gramos de azúcar que contiene un kilo de miel. Para saber cuánta azúcar contiene la miel pura se obtuvo muestras de miel de Yucatán, se midió y promedio su concentración de azúcares. La concentración de la miel fue medida en un refractómetro, (grados brix) el cual expresa un cociente total de azúcares equivalente en sacarosa disuelta en una determinada solución (g de sacarosa/100 g solución). De acuerdo a estos datos y tomando en cuenta que la concentración promedio obtenida fue del 80%, un kilo de miel se compone de 800 gramos de azúcar y 20% restante en agua y al menos el 1 % conformado por sustancias en cantidades mínimas como minerales, ácidos proteínas enzimas y vitaminas según Crane 1975. Esta fórmula de estimar la cantidad de miel a partir del azúcar producido ha sido usado igualmente por Díaz-Forestier *et al.*, 2009; Jabonski y Kotowski en el 2004 y 2005.

Finalmente considerando que el néctar y azúcar estimado mediante esta metodología se basa en el supuesto que todas las flores abren al mismo tiempo, cuestión que no sucede en realidad (por eso se toma como producción potencial) se determinó el porcentaje de flores abiertas por día, basado en el número de flores abiertas promedio de las inflorescencias estudiadas y de esta manera obtener cuanto néctar y azúcar está disponible por día, con el objeto de obtener la producción de néctar y azúcar por día de manera más apegado a lo que pasa en la naturaleza. Además se usó el número de días que dura la floración para multiplicarlos por el néctar producido por día y así estimar el néctar y azúcar producido por periodo de floración. Además es importante resaltar que la producción de miel estimada para ambos sitios se realizó bajo el supuesto de que toda el

néctar disponible del *G. floribundum* fuera aprovechado únicamente por la especie *A. mellifera*.

Análisis estadístico de los datos

Producción floral y su relación con las variables biológicas: A cada variable seleccionada se le realizó un análisis exploratorio para ver si presentaban una distribución simétrica mediante la observación de su histograma. También se examinó la posición de la media y mediana con las gráficas de caja y se observaron las gráficas de probabilidad normal para comparar los datos frente a una distribución normal teórica y saber si los datos tienen una distribución normal.

La variable número flores mostró una distribución asimétrica con sesgo positivo. Gráficamente la distribución de los datos muestra una mayor frecuencia hacia el lado derecho de la distribución. Por lo tanto se transformó la variable al logaritmo natural ($y = \ln x+1$), obteniéndose una notable mejoría en la asimetría y mostrando una distribución mucho más cercana a la normalidad, la media y mediana coincidió y se ubicó en el centro de la distribución.

Se realizó un análisis de modelos mixtos con el procedimiento MIXED, en el cual los efectos fijos evaluados fueron los sitios de estudio (UADY, CICY). El objetivo era determinar si existían diferencias entre el número de flores producido por árbol entre ambos sitios. La variable rama secundaria en flor igualmente mostró asimetría durante su análisis y se transformó a logaritmo natural, mejorando su distribución en el histograma y en la gráfica de probabilidades de distribución normal.

Las regresiones se realizaron tomando en cuenta como variables independientes las características intrínsecas del árbol, diámetro a la altura del pecho (dap), cobertura, número de ramets, número ramas primarias (b1) y número de ramas secundarias (b2). Como variables dependientes se tuvieron el número de flores por árbol, el cual se estimó por árbol con los datos de los árboles muestreados en los transectos, y la variable ramas

secundarias en flor. El análisis estadístico aplicado fue el de regresión paso a paso (*stepwise*) del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System ver: 9.1.3.).

El procedimiento paso a paso se caracteriza por llevar a cabo la elección de variables predictivas por un procedimiento automático, usando primero una matriz de correlaciones y segundo usando una secuencia de pruebas F, para que las variables sean seleccionadas para elaborar el modelo predictor estas tienen que ser significativas para un valor de alfa del 0.1500 o menor.

El análisis de las probabilidades de floración asociada a las variables biológicas (intrínsecas) del *G. floribundum* se realizaron utilizando modelos de regresión logística con el procedimiento GLIMIX (modelos lineales generalizados mixtos) del paquete SAS. El primer evento a evaluar fueron las ramas secundarias en flor (b2) y en qué magnitud afecta cada variable la proporción de ramas secundarias en flor tomando en cuenta el total de ramas en flor. El siguiente evento a evaluar fue la probabilidad de que los árboles florezcan o no, en función de las variables biológicas del *G. floribundum*, esto fue posible ya que se cuenta con datos de árboles en flor y sin flores, la distribución en los datos es considerada binomial.

Los resultados de ambos eventos se expresaron a través de la razón de probabilidades (*odds ratio*), estadístico que se define como una razón de probabilidad, en la que un evento es afectado o condicionado en una proporción conocida por una serie de variables. En este caso las variables evaluadas fueron las variables biológicas del árbol. Los resultados se dieron en forma de intervalos de confianza ya que de esta manera se tiene una inferencia estadística confiable del 95%, y solo deja una probabilidad de 5% (0.05) de que el verdadero valor del *odds ratio* no sea el correcto.

La técnica usada para evaluar el ajuste del modelo fue mediante la estimación del residual de pseudo-probabilidad y el valor de chi cuadrado global. Se consideró para el análisis a los transectos como bloques y los árboles anidados dentro de cada bloque independientes de los árboles de los otros bloques para que no haya réplicas de los datos. Como parte de los análisis se realizó una prueba de efectos fijos para conocer qué

variables del árbol tuvieron significancia respecto a la proporción de ramas secundarias en flor y para la probabilidad de que los árboles florezcan o no.

Las variables seleccionadas para el análisis de la variación del néctar fueron la concentración de azúcares medido en el néctar colectado expresado en grados brix, el volumen de néctar acumulado en 4 horas expresado en microlitros; las dos variables anteriores se evaluaron tomando en cuenta los sitios de estudio y el horario de colecta usando pruebas (o modelos) de efectos fijo, en el caso de mostrar diferencias se usó pruebas *post hoc* para saber que horarios diferían entre sí. Además estas mismas variables fueron las usadas para estimar los componentes de varianza a nivel intra e inter individual.

Se realizó igualmente una regresión paso a paso tomando las características del néctar (volumen y concentración en grados brix) como variables en relación con las variables luz, temperatura y humedad, que se registraron con los data loggers. El análisis pretende saber que variables de néctar son afectadas directamente por las variables medio ambientales registradas.

Las dos variables al ser exploradas estadísticamente no presentaron una distribución normal. Debido a lo anterior la variable concentración de azúcares se transformó a arcoseno (transformación angular), y la variable volumen se transformó a logaritmo natural ($y = \ln x+1$). Para evaluar si la fase sexual influye en la producción de néctar en el *G. floribundum* se separaron las muestras procedentes de flores en fase masculina y femenina, y se realizó una prueba de t de student para comparar ambas medias.

RESULTADOS

Muestreo de *G. floribundum* en las áreas de estudio

En el cuadro 4 se presentan los resultados del muestreo en ambas áreas de estudio, con un total de árboles muestreados de 221 árboles. El área con mayor número de árboles interceptados, mayor densidad de individuos y de árboles en floración por hectárea fue el área de la UADY. Los resultados de las variables DAP, cobertura, número de ramets,

ramas primarias y ramas secundarias en todos los individuos interceptados pueden observarse en el anexo 1.

Cuadro 4. Individuos ubicados de *G. floribundum* en transectos y densidad de individuos en las áreas de estudio

| Áreas estudio | Extensión (Ha) | # Indiv. transectos | Individuos en flor | Densidad (indiv / Ha) | Densidad indiv en flor/ Ha |
|---------------|----------------|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|
| UADY | 0.5 | 120 | 18 | 240 | 36 |
| CICY | 0.5 | 101 | 11 | 202 | 22 |

Al Comparar los dos individuos estudiados en detalle, fue el árbol censado en el jardín botánico del CICY el que presento mayor número de flores, y flores promedio por inflorescencia. El árbol de la UADY presentó una mayor ramificación respecto al nivel de rama primaria (b1) y rama secundaria (b2), el número de rama terciaria (b3) con flores en cada árbol fue similar (cuadro 5).

Cuadro 5. Número de flores y de flores por inflorescencia (Media ± E.E.) obtenidos a través del censo floral.

| Área | # Ramas b1(b2) | Total flores árbol | Total ramas terciaria (b3) | Promedio flor por sub rama | Promedio flor inflorescencia |
|----------------|----------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Árboles conts. | | | | | |
| CICY (1) | 6 (12) | 70844 | 18 | 3935 | 25±16 |
| UADY (1) | 8 (17) | 58324 | 17 | 3430 | 13±8.2 |

Rama primaria (b1); Rama secundaria (b2); Rama terciaria (b3); media ± (desviación estándar)

Las características principales de los árboles en floración y la estimación de su producción floral para cada árbol, se pueden observar en el cuadro 6. Los árboles con mayor porcentaje de ramas en flor, se registraron en el sitio de la UADY, respecto al número de flores por inflorescencia este registro fue mayor en los árboles del área del CICY.

Cuadro 6. Características de los árboles ubicados en los transectos, y estimación de la producción floral por árbol del *G. floribundum*.

| Área estudio | Árbol | Cober. (mts) | Dap | # ramet | # b1 | # b2 | % árbol en flor | E. F. Á | P.f.I | | |
|--------------|--------|--------------|---------|---------|------|------|-----------------|---------|-------|-------|----|
| CICY | 2 | 1.7-2.3 | 6 | 2 | 5 | 16 | 3 | 19 | 8169 | 35 | |
| | 4 | 2.5-1.8 | 4 | 3 | 7 | 11 | 2 | 18 | 13698 | 33 | |
| | 11 | 1.4- 1 | 2.5 | 2 | 6 | 6 | 4 | 67 | 29296 | 40 | |
| | 28 | 1.2- 1.6 | 3 | 3 | 7 | 7 | 2 | 28 | 12586 | 26 | |
| | 14 | 1.5- 1.9 | 5 | 1 | 3 | 10 | 5 | 50 | 45030 | 31 | |
| | 27 | 1.8- 1 | 4 | 1 | 2 | 5 | 2 | 40 | 5174 | 18 | |
| | 1 | 0.80- 1.3 | 4.8 | 3 | 5 | 8 | 2 | 25 | 5100 | 51 | |
| | 18 | 2- 1.5 | 3 | 2 | 5 | 13 | 3 | 23 | 10752 | 23 | |
| | 26 | 1.7- 2 | 4 | 3 | 6 | 15 | 3 | 20 | 4557 | 25 | |
| | 21 | 1.05- 1.2 | 4.7 | 1 | 3 | 7 | 3 | 42 | 27582 | 24 | |
| | 20 | 0.60- .95 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 75 | 5658 | 22 | |
| | UADY | 5 | 1.5-1 | 3 | 3 | 5 | 4 | 3 | 75 | 3399 | 30 |
| | | 6 | 1.7-1.1 | 3 | 2 | 4 | 10 | 9 | 90 | 33561 | 28 |
| 11 | | 1.5-2.2 | 4 | 3 | 7 | 11 | 4 | 36 | 4540 | 28 | |
| 12 | | 1.1-1.4 | 4 | 1 | 2 | 7 | 1 | 14 | 1670 | 29 | |
| 1 | | 1.1-.90 | 4 | 3 | 9 | 21 | 8 | 38 | 58288 | 31 | |
| 5 | | 2.2-1.8 | 5 | 3 | 6 | 15 | 5 | 33 | 56830 | 52 | |
| 19 | | 01-ene | 3.5 | 1 | 2 | 5 | 2 | 40 | 2488 | 29 | |
| 23 | | 1.7-2 | 4.5 | 1 | 3 | 7 | 2 | 28 | 20582 | 28 | |
| 26 | | 1.-1.5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 4 | 57 | 24740 | 30 | |
| 28 | | 2-1.4 | 4.5 | 1 | 8 | 5 | 4 | 80 | 31160 | 37 | |
| 31 | | 2.2-1.5 | 5 | 1 | 3 | 5 | 4 | 80 | 20788 | 28 | |
| 1 | | 2.7-3 | 7 | 1 | 2 | 5 | 2 | 40 | 17412 | 26 | |
| 13 | | 1.8-4 | 5 | 3 | 8 | 9 | 8 | 88 | 10208 | 16 | |
| 20 | | 1.6-2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 2 | 50 | 5496 | 16 | |
| 33 | 01-feb | 3.5 | 1 | 2 | 4 | 2 | 50 | 7544 | 23 | | |
| 35 | 04-feb | 5.5 | 3 | 5 | 9 | 8 | 88 | 50568 | 17 | | |

Cober: cobertura de la copa; Dap: diámetro altura del pecho; b1: rama primaria; b2: rama secundaria; E.F.Á: estimación de flores por árbol; P.F.I: promedio flor por inflorescencia

Variación del número de flores

El análisis de componentes de varianza indicó que la variabilidad del número de flores producidas en los distintos niveles de ramificación no es significativa usando la estimación de flores por rama (cuadro 7). Usando la metodología del censo floral total la variación del número de flores solo fue significativa al nivel de rama terciaria (b3), para el caso del número total de flores por árbol. La variación tampoco fue significativa entre los transectos muestreados.

Al comparar el número de flores producidas por árbol no se observaron diferencias entre la media por árbol de flores producida en los dos sitios estudiados ($\bar{x} = 19,143$ flores,

$F_{1,26}=1.33$, $P=0.226$). El número de flores por inflorescencia igualmente no presentó una diferencia estadística tomando en cuenta los sitios de estudio ($\bar{x} = 28$ flores, $F_{1,26} = 0.60$, $P=0.45$).

Cuadro 7. Variación del número de flores, en los niveles de ramificación para ambos métodos de conteo

| Metodología | Componentes de varianza | Var (%) valor Z | P | |
|--------------------|----------------------------|--------------------|------|---------------|
| Censo floral total | Árbol | 19.76 | 0.63 | 0.2641 |
| | Ramet | 2.8 | 0.88 | 0.1894 |
| | Rama primaria (b1) | 1.7 | 1.17 | 0.1219 |
| | Rama secundaria (b2) | 1 | 0.92 | 0.1795 |
| | Rama terciaria (b3) | 3.95 | 2.63 | 0.0043 |
| Censo floral ramas | Transecto | 0.36 | 0.27 | 0.3394 |
| | Árbol | 5.74 | 0.38 | 0.3507 |
| | Ramet | 10.08 | 0.66 | 0.2532 |
| | Rama primaria (b1) | 11.31 | 1.06 | 0.145 |
| | Rama secundaria (b2) | 7.79E-14 | . | . |
| | Rama terciaria (b3) | 1.46 | 1.32 | 0.093 |

Relación de las variables biológicas (intrínsecas) del árbol con la producción floral y con su probabilidad de floración.

Las variables y su correlación resultantes de la regresión “paso a paso” se observan en el (cuadro 8), la variable que tiene un mayor número de relaciones positivas e importantes es el del número de ramets por árbol, y este se asocia con los dos niveles de ramificación rama primaria, rama secundaria y rama terciaria con flores. El número de flores producidas por árbol está relacionada de manera importante con el número de ramas secundarias en flor y muestra relación menor con el número de ramas primaria y secundarias.

De todas las variables que se observan en la matriz para la determinación del número de flores por árbol la única variable explicativa significativa fue la del número de ramas secundarias en flor ($F_{1,25} = 15.28$; $P = 0.0006$). La salida del modelo de regresión generado es el siguiente: $\text{Número de flores} = (8.37 + 0.28 (b2) + E$; $R^2 = 0.37$). Para el número de sub ramas (b2) en flor fue significativo la variable número de ramas primarias por árbol ($F_{1,25} = 8.95$; $P = 0.006$), por lo cual según la salida del modelo el número de ramas (b2) en flor depende del número de ramas primarias que presenta cada árbol (sub ramas con flores = $0.58 + 0.12 (b1) + E$; $R^2 = 0.26$). El número de flores por inflorescencia no mostró una correlación importante con ninguna de las variables explicativas, solo con cobertura y de manera marginal ($R^2 = 0.14$; $F_{1,24} = 4.08$; $P = 0.054$).

Cuadro 8 Matriz de correlaciones de las características estudiadas del *G. floribundum*.

| | DAP | Ramet | b1 | b2 | b2 con flores | Cobertura | Flores por árbol |
|------------------|-------|-------|------|------|---------------|-----------|------------------|
| Dap | | | | | | | |
| Ramet | -0.16 | | | | | | |
| b1 | -0.09 | 0.76 | | | | | |
| b2 | -0.28 | 0.56 | 0.56 | | | | |
| b2 con flores | -0.04 | 0.39 | 0.51 | 0.43 | | | |
| Cobertura | -0.31 | 0.24 | 0.17 | 0.26 | 0.08 | | |
| Flores por árbol | 0.16 | 0.1 | 0.34 | 0.32 | 0.61 | 0.23 | |

DAP: diámetro a la altura del pecho; b1: rama primaria; b2: rama secundaria.

El modelo de regresión logística realizado con el procedimiento GLIMIX mostró una estimación residual de pseudo-probabilidad de 1052.41, y una chi cuadrada global con grados de diferencia de 0.67, este criterio mientras más cercano a 1 sea indicará un mejor ajuste del modelo y se considera como una medida de la variabilidad residual en la distribución marginal de los datos.

El efecto de los transectos y de los árboles se evaluó con una prueba Z, e indicó que los transectos tienen una contribución importante en la variación debido a que los árboles están anidados dentro de los transectos ($Z = 4.919$; $P < 0.00001$.)

La proporción de ramas secundarias con flores tomando en cuenta el total de ramas secundarias, no difiere significativamente entre ambos sitios de estudio (cuadro 9). Las únicas variables del árbol que modifican la proporción de ramas secundarias con flores son el diámetro a la altura del pecho (DAP) y cobertura de la copa.

Cuadro 9. Prueba de efectos fijos para las variables biológicas del árbol y para los sitios de estudio respecto a las proporciones de ramas secundarias con flores. Las variables significativas están resaltadas en negro

| Efectos | GL | | Valor F | P |
|-----------------------|-----------|----------------|---------|--------------|
| | numerador | GL denominador | | |
| Sitio | 1 | 71 | 3.22 | 0.07 |
| DAP | 1 | 71 | 7.14 | 0.009 |
| Cobertura | 1 | 71 | 4.97 | 0.02 |
| Ramets | 1 | 71 | 2.47 | 0.12 |
| Ramas secundaria (b2) | 1 | 71 | 1.55 | 0.21 |

La variable diámetro a la altura del pecho (DAP) aumenta en 0.73 la proporción de ramas secundarias con flores de acuerdo al total de ramas secundarias observadas, y la cobertura de la copa aumenta en un 0.77 la proporción de ramas secundarias con flores esta información se observa en el cuadro 10.

Cuadro 10. Razón de probabilidades (ODDS ratio) entre las variables biológicas (intrínsecas) del árbol y el número de ramas secundarias con flores en el *G. floribundum*.

| Variables | ODDS | | | GL |
|-----------|-----------------------------|-------------|-------|----|
| | Intervalos de confianza 95% | | | |
| | Lc | Estimado | Lc | |
| Sitio | | | | |
| CICY/UADY | 0.314 | 0.57 | 1.063 | 71 |
| DAP | 0.587 | 0.73 | 1.87 | 71 |
| Cobertura | 0.61 | 0.77 | 0.994 | 71 |

Lc: Limite de confianza

La probabilidad de que el árbol florezca o no, no fue afectada por ninguna de las variables estudiadas (cuadro 11). Únicamente el Dap modifica la probabilidad pero de manera marginal. En la salida del modelo se obtuvo una estimación residual de pseudo-probabilidad de 1099.11 y un chi cuadrado global de 149.79 y una chi cuadrada con grados de diferencia de 0.70 indicando un buen ajuste del modelo.

Cuadro 11. Prueba de efectos fijos de las variables biológicas del árbol y entre los sitios de estudio, respecto a las probabilidad de que florezca los árboles de *Gymnopodium floribundum*

| Efectos | GL numerador | GL denominador | Valor F | P |
|-----------|--------------|----------------|---------|-------|
| Sitio | 1 | 80 | 0.26 | 0.61 |
| DAP | 1 | 80 | 3.71 | 0.057 |
| Cobertura | 1 | 80 | 0 | 0.96 |
| Ramets | 1 | 80 | 0.22 | 0.63 |
| Ramas | 1 | 80 | 1.36 | 0.24 |

Volumen y concentración del néctar

El total de árboles muestreados durante la colecta de néctar fue de 20 árboles. El volumen de néctar y la cantidad de azúcar por flor a lo largo del día se observa en el cuadro 12.

Cuadro 12. Volumen y concentración del néctar producido (flor por día) en las áreas de estudio.

| Características | Flor por día | Mediana | Mínimo | Máximo | n |
|-------------------|--------------|---------|--------|--------|-----|
| Volumen (µL) | | | | | |
| CICY | 1.28±0.7 | 1.5 | 0.4 | 3.2 | 153 |
| UADY | 1.64±1.3 | 1 | 0.4 | 4.3 | 82 |
| Concentración (%) | | | | | |
| CICY | 54.00±25.5 | 53 | 9.1 | 86 | 143 |
| UADY | 68.00±27 | 71 | 21 | 85 | 69 |
| Azúcar (mg) | | | | | |
| CICY | 0.75±0.5 | 0.58 | 0.08 | 2.00 | 143 |
| UADY | 0.84±0.5 | 0.56 | 0.30 | 1.90 | 69 |

n: número de muestras, media ± (desviación estándar)

La hora de inicio de secreción del néctar fue a las 03:00 horas (madrugada). La primera colecta de néctar fue a las 06:30 horas y la mayor concentración de azúcares junto con el mayor volumen del néctar fue registrado en el área de la UADY.

Variación en el néctar

La variación en la concentración de azúcares expresada en grados brix en *G. floribundum* no fue significativa a nivel intra individual. La variación fue 0 en los niveles flores, rama secundaria y ramet. En los otros niveles de ramificación, la variación fue mayor pero sin ser significativa, (inflorescencia, $z = 0.39$, $P = 0.34$; rama primaria $z = 0.70$, $P = 0.24$). La variación fue nula (0) a nivel inter individual y no se encontraron diferencias entre los sitios de estudio ($F_{1, 171} = 0.01$, $P = 0.91$), ni entre horarios de colecta ($F_{3, 171} = 1.83$, $P = 0.1$).

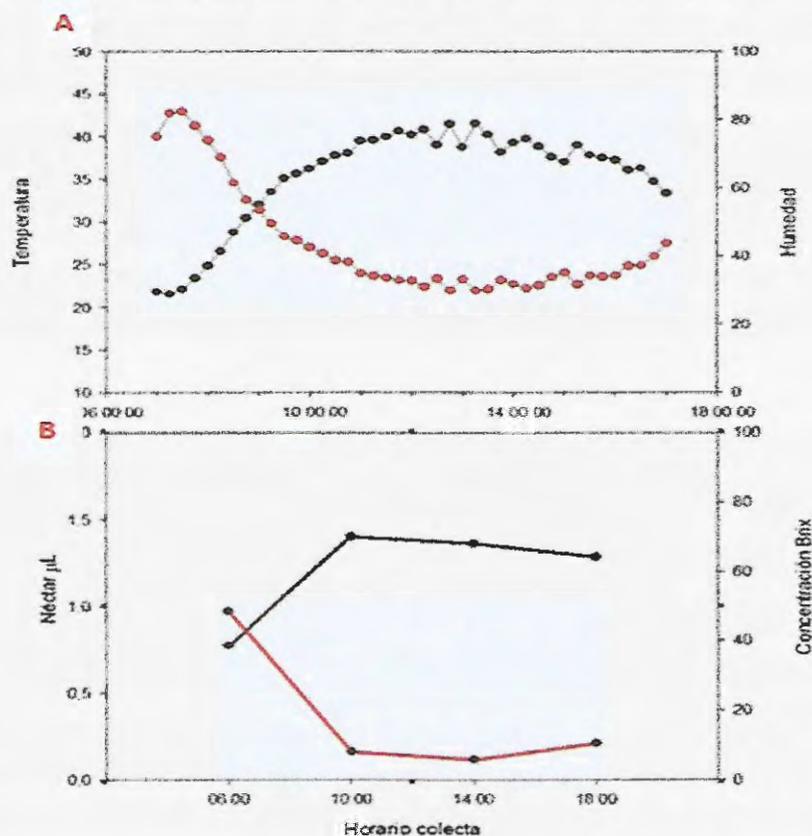


Figura 10. A) temperatura (línea negra) y humedad (línea roja) registrada por los data loggers durante el muestreo del néctar. B) Volumen (línea roja) y concentración (línea negra) del néctar del *Gymnopodium floribundum* durante los cuatro horarios de colecta promedio en $\mu\text{L} \pm$ desviación estándar; $n = 240$.

No se encontró variación significativa en el volumen de néctar producido a nivel intra individual en las muestras colectadas. A nivel de flor y rama secundaria la variación fue nula (0). La variación no fue significativa a nivel inflorescencia ($z=0.89$, $P=0.18$), rama primaria ($z=1.24$, $P=0.10$) y ramet ($z=0.32$, $P=0.37$). La variación inter individual (entre árboles) tampoco fue significativa ($z=1.21$, $P=0.11$).

Se encontraron diferencias estadísticas significativas del volumen de néctar entre ambos sitios de estudio ($F_{3,171}=24.48$, $P<.0001$) y entre los horarios de colecta, cuadro 13 ($F_{1,171}=47.73$, $P<.0001$), en la figura 10 se puede observar gráficamente las diferencia del volumen del néctar entre horarios de colecta. No se encontró variación significativa en el volumen de néctar producido a nivel intra individual en las muestras colectadas. A nivel de flor y rama secundaria la variación fue nula (0). La variación no fue significativa a nivel inflorescencia ($z=0.89$, $P=0.18$), rama primaria ($z=1.24$, $P=0.10$) y ramet ($z=0.32$, $P=0.37$). La variación inter individual (entre árboles) tampoco fue significativa ($z=1.21$, $P=0.11$).

Cuadro 13. Análisis de varianza (ANOVA) del volumen de néctar colectado a distintos horarios del día en *G. floribundum*.

| Horario colecta | media \pm (d.e) μ L | Prueba post hock |
|------------------|---------------------------|------------------|
| 6 hrs mañana | 0.96 \pm 0.96 | a |
| 10 hrs mañana | 0.17 \pm 0.18 | bc |
| 14 hrs medio día | 0.12 \pm 0.13 | b |
| 18 hrs tarde | 0.22 \pm 0.21 | c |

Letras diferentes indican diferencia entre las medias

Respecto a la variación del néctar y su relación con las variables ambientales se obtuvo que la temperatura y humedad son las variables ambientales que se relacionaron significativamente ($F_{1,117}=38.38$, $P< 0.0001$) con el volumen del néctar y de manera positiva como se observa en el modelo generado (Volumen de néctar= $-0.63+0.021(\text{humedad})+0.028(\text{temperatura})+\text{Error}$; $R^2=0.27$). La influencia de la temperatura y la humedad se puede observar en la figura 11.

En la concentración del néctar en grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) la humedad relativa es la única variable predictiva que se relaciona significativamente y de manera negativa ($F_{1,117}=108.70$, $P < 0.0001$), arrojando el modelo siguiente: (concentración néctar en grados brix = $111.63 - 0.92$ (humedad); $R^2=0.48$). También la temperatura mostró una relación con la concentración en grados brix ($R^2=0.50$) pero sin ser significativa estadísticamente.

Considerando la fase sexual de la flor, se encontró una diferencia estadística en la producción de néctar ($t_{1,78}=-4.35$, $P < 0.001$), siendo durante la fase femenina cuando se produce el mayor volumen de néctar $\bar{x} = 0.76 \pm 1.08 \mu\text{L}$ y la menor cantidad se produce durante la fase masculina $\bar{x} = 0.17 \pm 0.20 \mu\text{L}$.

Estimación de la producción potencial de néctar y concentración de azúcares a nivel individuo y población

Usando el número estimado de flores por árbol (cuadro 4) se obtuvo que cada árbol produce en promedio 19,143 flores. Este dato se utilizó para las estimaciones en ambas áreas ya que los análisis indicaron que la producción de flores no difiere entre sitios. La producción de flores por hectárea para el campus de ciencias biológicas de la UADY fue de 4,594,320 flores y para el CICY fue de 3,866,886 flores.

La mayor estimación de néctar y azúcar producido por individuo (árbol) y población (hectárea) se encontró en el área de la UADY, y el resumen de los resultados y las variables usadas se observan en el cuadro 14. Basados en esta información y de acuerdo a la equivalencia de azúcares que tiene un kilo de miel, el área del CICY produjo 2.5 kg de miel por hectárea por día y la UADY fue de 3.9 kg.

Contemplando la duración de la floración se obtuvo que el CICY produce 22.27 litros de néctar hectare/día y equivalente a 12.09 kg de azúcar hectare/día, y la UADY 36.14 litros de néctar hectare/día y equivalente a 18.48 kg azúcar hectare/día. Estos datos se obtuvieron tomando en cuenta que cada kg de miel contiene 800 gramos de azúcar.

Cuadro 14. Variables usadas y estimación del néctar y azúcar producido por el *G. floribundum* a nivel individuo y hectárea.

| Área estudio | densidad | # flores por árbol | Néctar flor por día (µL) | Azúcar flor por día (mg) | Estimación árbol/día | Estimación hectárea/día |
|--------------|----------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| CICY | 202 | 19,143 | 1.28 ±0.70 | 0.75±0.5 | 0.0245 L 0.0143 kg | 4.949 L 2.88 kg |
| UADY | 240 | 19,143 | 1.64 ±1.34 | 0.84±0.5 | 0.0313 L 0.0160 Kg | 7.53 L 3.85 kg |

Como parte de la metodología explicada anteriormente se puede observar en el cuadro 15 que solo cerca del 30% del total de flores por árbol se encuentran abiertas (antesis) por día. Por lo tanto las estimaciones totales de néctar del CICY con esta información es la siguiente: 1.48 litros de néctar por hectárea/día y 0.80 kg de azúcar hectárea/día y para la UADY 2.40 litros de néctar hectárea/día y 1.23 kg de azúcar por hectárea/día.

Cuadro 15. Numero de flores por inflorescencia, flores abiertas por día (Media ± E.E.) y duracion de la floracion del *G. floribundum*.

| Área estudio | Flores abiertas por día | Flores por inflo | Porcentaje flores abiertas por día | Duración de la floración (Días) |
|--------------|-------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| CICY | 7.05±3.71 | 25±16 | 28.00 | 15 |
| UADY | 4.25± 2.2 | 13±8.2 | 32.00 | 15 |

DISCUSIÓN

Densidad del *Gymnopodium floribundum* en las áreas de estudio

La densidad de individuos obtenida en el presente estudio difiere con la encontrada para otras zonas de Yucatán. Siendo mucho menor al compararla con la encontrada por White y Hood (2004) en su estudio donde se muestreó la vegetación en las selvas de ocho

comunidades en Yucatán. En las selvas de Calcehtok encontraron 908 individuos por hectárea, en el área de Kabah 1,355 individuos por hectárea y en la zona de Ticul 400 individuos por hectárea. Esta alta densidad puede deberse a que en su metodología explican que solo contaron el número de tallos, por lo tanto no se consideró la capacidad del *G. floribundum* para reproducirse de forma vegetativa, produciendo clones a través de extensiones de sus raíces (ramets), como sugiere Mondragón *et al.*, 2004, de esta manera sobreestimando la densidad de individuos en un área determinada.

En los resultados se puede observar cómo la densidad de árboles del *G. floribundum* es mayor en el área de la UADY, a pesar de que ambas zonas pertenecen al mismo tipo de vegetación secundaria y con un tiempo de regeneración similar de más de 30 años. La diferencia en la densidad entre los sitios puede deberse a varios factores, entre los que destacan los abióticos como indica Cecon *et al.*, (2006) y Cecon *et al.*, (2002) siendo las diferencias en el tipo de suelo, clima local, disponibilidad de agua en el suelo e incluso la disponibilidad de nutrimentos como señalan Campo y Vázquez-Yanes, 2004.

La fenología floral es afectada directamente por factores como la disponibilidad de nutrimentos y el acceso a agua en el suelo como observaron Valdez-Hernández *et al.*, (2010). En su estudio de fenología encontraron que la producción de flores del *G. floribundum* fue mayor en los sitios con mayor cercanía a fuentes de agua como los cenotes. Respecto al hecho de que se encontró una mayor densidad de árboles en la UADY es importante considerar el hecho de que el área del CICY está bajo un manejo al estar ubicado dentro del jardín botánico regional, lo cual indica que la densidad de árboles puede estar siendo afectada por presiones de manejo, como riego, poda e incluso remoción de individuos enteros afectando tanto la densidad de individuos como la fenología de los árboles.

Estimación del número de flores e inflorescencias a nivel individual y poblacional y su variabilidad.

Respecto al número de flores contados y estimados por árbol se observa que el *G. floribundum* produce una alta cantidad de flores, sin embargo esta información no puede

ser comparada con otras plantas de la región ya que la estimación de los recursos florales no han sido estudiados con detenimiento en Yucatán. En otros países como en Chile, Díaz-Forestier *et al.*, 2009 usaron la estimación floral como herramienta para conocer el potencial melífero de la especie *Quillaja saponaria* Mol, de igual manera en Israel Keasara, y Shmida (2009) usaron la estimación y el conteo de número de flores en conjunto con la producción de néctar para evaluar a las especies de árboles y arbustos como alimento potencial para la conservación de las abejas., Estos trabajos son ejemplos de la importancia de la estimación de los recursos florales y su utilidad lo cual es lo que se pretende hacer con la información obtenida en este estudio.

Las estimaciones de la producción floral en el *G. floribundum* son posibles principalmente por la poca variación cuantificada en los niveles de ramificación. El método de coleccionar una única rama de cada árbol muestreado es confiable siempre y cuando el nivel mínimo de ramificación usado para la estimación sea el de rama secundaria (b2) ya que a este nivel es el mínimo nivel de ramificación en el cual no se encontró variación significativa en la producción de flores para los dos métodos de estimación floral (censo floral total y censo de flores por rama).

El promedio de flores por inflorescencia fue mayor en los árboles del área del CICY que en los de la UADY pero estadísticamente esta diferencia fue no significativa. El tamaño y número de flores por inflorescencia son características que según autores como Thomson, (1988), Kearns y Inouye (1993) se relacionan con la eficiencia de forrajeo, los visitantes florales y la tasa de visitas afectando directamente el éxito reproductivo de la plantas.

Otro de los aspectos en la biología reproductiva de importancia es el número de flores abiertas simultáneamente en las inflorescencias. Pleasants y Zimmerman, 1990 encontraron que en *Aconitum columbianum* mientras mayor número de flores tenga abiertas simultáneamente se reduce el número de visitas por flor pudiendo limitar su polinización. En el caso del *G. floribundum* el número de flores promedio abiertas en las inflorescencias fue similar en ambos sitios de estudio CICY (7.05 ± 3.7) y UADY

(4.25 ± 2.20) y el número de flores abiertas es muy bajo si tomamos en cuenta el promedio de flores por inflorescencia (28 flores).

Finalmente los datos recopilados del número de flores en el *G. floribundum* indican que es factible su estimación y que el factor importante respecto a su variabilidad es el nivel de rama que se colectó para su cálculo. Esta información de la capacidad floral en conjunto con el néctar se puede integrar como una herramienta para valorar los recursos melíferos de manera eficaz.

Relación de las variables biológicas del árbol con la producción floral y su probabilidad de floración.

Las flores en conjunto con tallos, ramas, corteza y follaje son consideradas por la FAO (2001) como parte de la biomasa aérea viva. La biomasa de los árboles ha sido estimada a través del uso de ecuaciones alométricas que relacionan la biomasa de árboles con medidas como el diámetro del tallo y la altura (Yam, 2012; Ketterings et al., 2001). En el presente estudio se realizó una aproximación similar pero estimando específicamente el número de flores producido por árbol en base a la características intrínsecas (biológicas). Los resultados indicaron que el número de flores estimado en los árboles no puede ser predicho de acuerdo al diámetro a la altura del pecho, número de ramas primarias, ramas secundarias o por la cobertura, pero sí por el número de ramas secundarias en flor, y a su vez el número de ramas secundarias en flor se asocia con el número de ramas primarias. Por lo tanto en futuros estudios las variables que no mostraron una relación con el número de flores podrían ser descartadas para cuantificar la floración en esta especie.

En *G. floribundum* el hecho de que el número de flores no se pueda predecir con las variables biológicas del árbol puede deberse a que la floración y el número de flores mayormente influenciada por otros factores ajenos a la biología del árbol, sobre todos por factores medio ambientales como la cantidad de lluvias y su variación estacional (Valdez-Hernández et al., 2010; Borchert et al., 2004) y principalmente debido a la cantidad de luz que reciben (Levy y Dean, 1998).

A pesar de que las variables biológicas no se relacionaron con el número de flores, las variables diámetro a la altura del pecho y cobertura de la copa si aumentaban la proporción de ramas secundarias en flor, se recomienda profundizar en futuros estudios el por qué de esta asociación ya que no hay información al respecto y estos datos pueden tener mucha utilidad en el manejo de los recursos florales.

Volumen, concentración y variabilidad del néctar

El volumen de néctar producido por flor por día en el *G. floribundum* en ambas áreas de estudio es menor al reportado por López en (1994). Sin embargo el patrón de producción es similar, ya que en ambos estudios la mayor producción de néctar se observó en el horario de las primeras horas de la mañana (06:00-07:00 hrs) y el menor volumen producido a las 14:00 hrs. Cruden *et al.*, (1983) clasifica a las plantas de acuerdo a la tasa de producción de néctar en: lentos, rápidos y súper productores. De acuerdo a sus características el *G. floribundum* se clasificaría como intermedio entre las plantas de producción lenta y super productoras, debido a que produce néctar desde muy temprano (03:00 hrs) y su tasa de acumulación es tardada (4hrs) característica común en las plantas de producción lenta. Pero la morfología floral es típica de las súper productoras debido a que las flores ofrecen poca protección al néctar.

La concentración del néctar en el *G. floribundum* fue cercana al 60 %, la cual se puede considerar alta si tomamos en cuenta que Lundgren (2009) y Wolf (2006) señalan que la concentración común del néctar en las plantas es cercana al 20 %. Esta concentración del 60 % es la óptima reportada para abejas sociales como los meliponinos y *A. mellifera* (Nicolson, 2007; Roubik *et al.*, 1995; Roubik y Buchmann 1984).

Las diferencias entre especies respecto a características como el volumen concentración y composición química, tienden a ser explicadas en el contexto adaptativo y en función de la competición por polinizadores y aumentar el éxito reproductivo (McCallum *et al.*, 2013; Pacini y Nepi, 2007; Potts *et al.*, 2004; Real y Rathcke 1991). Estudios como el de Keasar *et al.*, (2008) Biernaskie *et al.*, (2002) y Herrera en (1983) sugieren que la variabilidad en el néctar es una estrategia en las plantas para aumentar la polinización cruzada, ya que evita la visita constante de los polinizadores a una sola flor promoviendo y aumentando el

rango de vuelo de los visitantes entre flores y permitiendo un acarreo de polen entre flores de distintos individuos.

En el presente estudio los resultados indicaron que la variabilidad del néctar respecto al volumen y concentración de azúcares resultó ser baja e inclusive nula a nivel intra e inter individual. Este resultado puede indicar que no existe variación en el néctar, que algún factor está impidiendo estimar la variabilidad del néctar en el *G. floribundum* o que la variación se debe a cuestiones de la biología reproductiva.

Los factores implicados en la variación en el néctar son variados y son considerados como un componente clave en la interacción entre plantas y sus visitantes florales (Canto *et al.*, 2011; Canto *et al.*, 2007). Entre los factores tenemos los estímulos medio ambientales como la temperatura, luz y fertilización. Igualmente factores internos como la edad de la flor, la posición y su fase sexual han sido señaladas como responsables de la variación en rasgos del néctar a nivel intra individual. La variabilidad en el néctar igualmente ha sido observada a distintos niveles (Zywiec *et al.*, 2012; Galetto y Bernadello 2004; Herrera, 1995), por ejemplo Herrera *et al* (2006) en *Helleborus foetidus* encontraron una amplia variación en la composición de azúcares a nivel poblacional entre flores de la misma planta nectarios de la misma flor y en menor magnitud entre plantas.

Entre los factores que pudieron afectar la estimación de la variabilidad esta la propia morfología floral, ya que las flores del *G. floribundum* mantiene los nectarios expuestos durante toda la vida de la flor. El mantener los nectarios expuestos según Pacini y Nepi, (2007) propicia que las variables medio ambientales afecten de manera más directa la variación del volumen y concentración en el néctar. Inclusive en la figura 9 podemos ver como el cambio en el volumen y concentración a lo largo del día ocurre cuando cambia la temperatura y la humedad.

La humedad relativa fue la variable de mayor importancia en el presente estudio ya que se relacionó directamente con las dos características evaluadas en el néctar. Al disminuir la humedad a lo largo del día la concentración en grados brix aumento y al aumentar la humedad el volumen se incremento. La importancia de esta variable es mencionada por

Corbet *et al.*, 1979, ya que la disminución en la humedad relativa tiende a aumentar la evaporación del agua en el néctar lo cual aumenta la concentración, mientras que su aumento tiende a diluir el néctar y disminuir su concentración y aumentar el volumen.

De las tres variables ambientales que se registraron y relacionaron con el néctar para el *G. floribundum* la temperatura y la humedad son las variables que resultaron significativamente asociadas al volumen del néctar. La temperatura es de suma importancia, ya que se ha reportado que afecta directamente a la planta aumentando o disminuyendo la tasa de secreción de néctar, Jakobsen y Kristjansson (1994) encontraron que las bajas temperaturas pueden causar una disminución en la respiración y aumentar en la tasa de secreción de néctar en la especie *Trifolium repens*. Inclusive se ha reportado que la temperatura actúa sobre las encimas en las células secretoras de néctar afectando la proporción de sacarosa en el néctar (Villareal y freeman 1990).

Es importante mencionar que en la literatura (Davis, 2003; Búrquez y Corbet, 1991) se reporta a la radiación solar como el factor que afecta directamente la producción de néctar a través de la fotosíntesis aumentando la producción de azúcares destinado a esta recompensa, pero en este estudio la radiación solar no se asoció con ninguna de las variables del néctar, posiblemente la nubosidad que se presentó durante el muestreo interfirió con el registro de datos e impidiendo observar un patrón entre ambas variables.

Una de las fuentes de variación en las características del néctar en el *G. floribundum* fue la fase sexual de la flor, ya que la mayor producción de néctar se dio durante la fase femenina. El sesgo en la producción de néctar de acuerdo a la fase sexual en plantas dicogamas ha sido reportado anteriormente (Canto *et al.*, 2011; Aizen y Basilio 1998). Carlson y Harms, (2006) encontraron que la variación respecto a la fase sexual en plantas dicogamas ha sido reportada en 41 especies distribuidas en 22 géneros.

Las flores hermafroditas tienen dos funciones distintas: la dispersión de polen de las anteras a los estigmas de otras flores compatibles (función masculina), y la recepción de polen compatible en el estigma para producir semillas (función femenina) (Aizen y Basilio, 1998). La expresión del sesgo del néctar por fase en flores hermafroditas dicogamas probablemente es promovida por la selección sexual o para evitar la endogamia. Cuando

la mayor producción de néctar recae en la función masculina se ha interpretado que se debe a la limitación de polinizadores que afecta la adecuación masculina causando que la selección sexual promueva el aumento en rasgos en el néctar durante esta fase. Cuando el néctar es mayor en la fase femenina esta variación funciona como mecanismo que afecta directamente el comportamiento de forrajeo de los visitantes florales ya que el néctar es generalmente la recompensa más buscada en las flores, lo cual propicia que los polinizadores visiten menos flores en fase masculina en general causando poca geitonogamia (Ashman y Morgan, 2004; Queller, 1983). Este último mecanismo pudiera ser el que está actuando en el *G. floribundum* dado que el volumen de néctar fue mayor en la fase femenina.

Carlson y Harms 2006 en revisiones de literatura encontraron que el sesgo en la producción de néctar de acuerdo a la fase sexual en plantas con flores hermafroditas ocurre con más frecuencia en las plantas que presentan protandria, inclusive reportan que de acuerdo a en qué fase recae la mayor producción de néctar se relaciona directamente con el tipo de polinizador, siendo las plantas con mayor producción de néctar en la fase femenina polinizadas por abejas, y en las plantas que producen la mayor cantidad de néctar en la fase masculina generalmente son polinizadas por aves. Estos patrones coinciden con lo obtenido para el *G. floribundum* ya que esta planta es protandrica, característica reportada para esta especie por Lopez en 1994, y cuyas visitantes florales principalmente son abejas.

Estimación de la producción de néctar y azúcares a nivel individuo y población

La producción de néctar por árbol en el *G. floribundum* se puede considerar bajo si se compara por ejemplo con la estimación realizada por Díaz-Forestier, (2009) en la especie melífera *Q. saponaria* que produce 5.29 ± 2.8 L por árbol. Pero la producción de néctar en el *G. floribundum* adquiere otra dimensión cuando se conjuga con la alta densidad de individuos de esta planta. La duración de la floración de las especies igualmente es una cuestión importante en la estimación de los recursos melíferos por ejemplo según acosta (1985) y Ortiz (1994) la floración del *G. floribundum* abarca de marzo a mayo, pudiéndose adelantar desde febrero como se observó en durante los muestreos, y con una duración

total de 30 a 45 días, resultando para el área de la UADY 225 litros de néctar, 93 kg de azúcar y 116.25 kg de miel por hectárea por periodo de floración y para el área del CICY 148 litros de néctar, 86 kg de azúcar y 107.5 kg de miel por hectárea por periodo de floración.

La importancia ecológica también se puede abordar en relación a la oferta de néctar de las plantas melíferas y el aprovechamiento de sus consumidores. Se han realizado estudios principalmente en *A. mellifera* estimando por ejemplo el número de cargas de néctar que necesitan coleccionar las abejas para producir miel. Según Echazarreta en el 2011, para obtener un kg de miel las abejas tienen que coleccionar de 120,000 a 150,000 cargas de néctar, y para *Ratnieks* asen falta 110,275 cargas. Sin embargo estas estimaciones son demasiado generalistas, ya que el número de cargas necesarias para obtener un kg de miel será variable de acuerdo a la concentración del néctar de la planta en cuestión, de la cantidad de néctar disponible durante cada visita a las flores y del volumen por carga de las abejas en el buche melífero.

Para *A. mellifera* por ejemplo la capacidad máxima reportada para una abeja es alrededor de 50 a 60 microlitros (Roubik y Buchmann 1984; Crane, 1975), pero esta cantidad pudiera ser artificial ya que para su obtención se utilizó alimentadores. Según Fewell y Winston en 1996 la capacidad para *A. mellifera* es de 18.3 microlitros. Este dato además de provenir de abejas a las cuales no se les suministró alimentación artificial es más cercano a los datos que se coleccionaron complementariamente en el presente trabajo de investigación (13.10 microlitros).

En diferentes partes del mundo se ha realizado un esfuerzo para estimar los recursos nectaríferos, principalmente para saber que especies de plantas pueden cultivarse para hacer más rentable la apicultura. Entre los más destacados tenemos los realizados por Keasara y Shmida (2009) en Israel y en Polonia por Jabonski y Kotowski (2005), Jabonski y Kotowski (2004); Pero más importante aun y en relación al presente trabajo es la coincidencia de las variables usadas en la estimación de los recursos nectaríferos: número de flores por árbol, azúcares producidos por flor, densidad de los árboles y visitantes florales.

En conclusión la estimación de néctar por hectárea en el *G. floribundum* fue alta, lo cual avala su posición como un gran recurso melífero en la región. Entre las características que sobresalen está la alta concentración del néctar, el alto número de flores producido por árbol y principalmente la alta densidad de individuos en la que se encontró en ambas áreas de estudio. De acuerdo a los análisis de la variabilidad del número de flores indicaron que es posible cuantificar la producción floral contando las flores de una sola rama por árbol y contando el número de ramas en flor por árbol, siempre y cuando el nivel utilizado sea el de rama secundaria (b2). Los resultados son importantes para la toma de decisiones acerca del potencial de áreas aptas para la apicultura y sería necesario realizar estudios similares con el resto de la flora melífera en Yucatán, ya que sería de utilidad tanto para la apicultura como para la conservación de los polinizadores nativos de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aizen, M. A and A. Basilio (1998). Sex differential nectar secretion in protandrous *Alstroemeria aurea* (alstroemeriaceae): is production altered by pollen removal and receipt? *American Journal of Botany*, 85, 245-252.
- Ashman, T. L. and M.T. Morgan (2004). Explaining phenotypic selection on plant attractive characters: male function, gender balance or ecological context. *Proceedings of the Royal. Society Biological Sciences*, 271, 553-559.
- Biernaskie, J. M., R. V. Cartar and T. A. Hurly (2002). Risk-averse inflorescence departure in hummingbirds and bumble bees: could plants benefit from variable nectar volumes? *Oikos* 98, 98-104.
- Bolten, A. B., P. Feinsinger, H. G. Baker y and I. Baker (1979). On the calculation of sugar concentration in flower nectar. *Oecologia*, 41, 301-304.
- Borchert, R., S. A. Meyer, R. S. Felger and L. Porter-Bolland (2004). Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*, 13, 409-425.
- Búrquez, A. and S. A. Corbet (1991). Do Flowers Reabsorb nectar? *Functional Ecology*, 5, 369-379.

- Canto A., C. M. Herrera, I. M. García, R. Pérez and Mónica Vaz (2011). Intraplant variation in nectar traits in *Helleborus foetidus* (Ranunculaceae) as related to floral phase, environmental conditions and pollinator exposure. *Flora*, 206, 668-675.
- Canto, A., R. Pérez, M. Medrano, M. C. Castellanos and C. M. Herrera (2007). Intra-plant variation in nectar sugar composition in two *Aquilegia* species (Ranunculaceae): contrasting patterns under field and glasshouse conditions. *Annals of Botany*, 99, 653-660.
- Carlson, J. E. and K. E. Harms (2006). The Evolution of Gender-Biased nectar Production in Hermaphroditic Plants. *The Botanical Review*, 72, 179-205.
- Carrie, R. J. G. and D. R. George (2012). Selection of floral resources to optimise conservation of agriculturally-functional insect groups. *Journal of Insect Conservation*, 16, 635-640.
- Ceccon, E., I. Olmsted, C. Vázquez-Yanes y J. Campo-Alves (2002). Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferentes estado regeneracional en Yucatán. *Agrociencia*, 36, 621-631.
- Ceccon, E., P. Huante and E. Rincón (2006). Abiotic factors Influencing tropical dry forests regeneration. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49, 305-312.
- Corbet, S.A., Willmer, P.G., Beament, J.W.L., Unwin, D.M and O.E. Prys-Jones (1979). Post-secretory determinants of sugar concentration in nectar. *Plant Cell and Environment*, 2, 293-308.
- Crane, E. (1975). *Honey: A Comprehensive Survey*. Heinenmann, London. 608 p.
- Dafni, A. (1992). *Pollination Ecology a Practical Approach*. Oxford University Press. Oxford. 250 p.
- Davis, A.R. (2003). Influence of elevated CO₂ and ultraviolet-B radiation levels on floral nectar production: a nectary-morphological perspective. *Plant Systemtics and Evolution*, 238, 169-181.
- Díaz-Forestier, J., M. Gómez and G. Montenegro (2009). Nectar volume and floral entomofauna as a tool for the implementation of sustainable apicultural management plans in *Quillaja saponaria* Mol. *Agroforestry System*, 76, 149-162
- Eberhardt, L.L. (1978). Transect methods for populations studies. *Journal of Wildlife Management*, 42, 1-31.

- Echazarreta, C. (2011). Las mieles de Yucatán, en: *La Miel y las Abejas. El Dulce Convenio del Mayab*, Echazarreta (ed.).Gobierno del Estado de Yucatán. Biblioteca Básica de Yucatán. Yucatán, México. pp. 100-102.
- Fewell, J. H. and M. L. Winston (1996). Regulation of nectar collection in relation to honey storage levels by honey bees, *Apis mellifera*. *Behavioral Ecology*, 7, 286-291.
- Galetto, L and G. Bernardello (2005). Floral nectaries, nectar production dynamics and chemical composition in six *Ipomoea* Species (Convolvulaceae) in relation to Pollinators. *Annals of Botany*, 94, 269-280.
- Herrera, C. M. (1995). Floral biology, microclimate, and pollination by ectothermic bees in an early-blooming herb. *Ecology*, 76, 218-228.
- Herrera, C. M., R. Pérez and C. Alonzo (2006). Extreme intraplant variation in nectar sugar composition in an insect-pollinated perennial herb. *American Journal of Botany*, 93, 575-581.
- Herrera, C.M. and R. C. Soriguer (1983). Inter and intra floral heterogeneity of nectar production in *Helleborus foetidus* L. (Ranunculaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 86, 253-260.
- Jablonski, B. and Z. Koltowski. (2004). Nectar secretion and honey potential of honey plants growing under poland's conditions part XIV. *Journal of Apicultural Science*, 48, 5-9.
- Jablonski, B. and Z. Koltowski. (2005). Nectar secretion and honey potential of honey plants growing under poland's conditions part XV. *Journal of Apicultural Science*, 49, 59-63.
- Jakobsen, H.B. and K. Kristjansson (1994). Influence of temperature and floret age on néctar secretion in *Trifolium repens* L. *Annals of Botany*, 74, 327-334.
- Kearns, C. A. and D. W. Inouye (1993). *Techniques for Pollination Biologists*. University press of Colorado. Colorado, USA. 583 p.
- Keasar, T., A. Sadeh. and A. Shmida. (2008). Variability in nectar production and standing crop, and their relation to pollinator visits in a Mediterranean shrub. *Arthropod-Plant Interactions*, 2, 117-123.
- Keasara, T. and A. Shmida (2009). An evaluation of Israeli forestry trees and shrubs as potential forage plants for bees. *Israel Journal of Plant Sciences*, 57, 1-16.

- Ketterings, Q.M., R. Coe, M. V. Noordwijk, Y. Ambagau and C.A. Palm (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146, 199-209.
- Krebs, C. (1999). *Ecological Methodology*. Addison Wesley Longman. New York USA. p.140
- Levy, Y. Y. and C. Dean (1998). Control of flowering time. *Current Opinion in Plant Biology*, 1, 49–54.
- López, N.Y. (1994). Cantidad y calidad el néctar producido por tres especies de plantas de la familia Polygonaceae. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. 50 p.
- Lundgren, J.G. (2009). *Progres in Biological Control: Relationships of Natural Enemies and Non-Prey Foods*. Springer Dordrecht, Netherlands. 453 p.
- Maurizio, A. (1975). How bees make honey, en: *Honey: A Comprehensive Survey*, E. Crane (ed.). Heinenmann, London. pp. 77-105.
- McCallum, K.P., F. O. McDougall and R. S. Seymour (2013). A review of the energetics of pollination biology. *Jornal of Comparative Physiology*, 183, 867-876.
- Mondragon, D., L.M. Calvo-Irabien and D. H. Benzing. (2004). The basis for obligate epiphytism in *Tillandsia brachycaulos* (Bromeliaceae) in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Tropical Ecology*, 20, 97-104.
- Nicolson, S.W. (2007). Nectar consumers, in: *Nectaries and Nectar*, S.W., Nicolson, M. Nepi, y E. Pacini (eds.) Springer, Dordrecht, Netherlands. pp. 289-342.
- Ollerton, J and A. Lack (1998). Relationships between flowering phenology, plant size and reproductive success in *Lotus corniculatus* (Fabaceae). *Plant Ecology*, 139, 35-47.
- Ortiz, J.J (1994). Polygonaceae. *Etnoflora Yucatanense*. Ediciones de la UADY. Mérida. Yucatán, México. 61 p.
- Pacini, E. and Nepi, M (2007). Nectar production and presentation in: *Nectaries and Nectar*, S.W., Nicolson, M. Nepi, y E. Pacini (eds.) Springer, Dordrecht, Netherlands. pp.167-214.
- Pleasants, J. M. and M. Zimmerman (1990). The effect of inflorescence size on pollinator visitation of *Delphinium nelsonii* and *Aconitum columbianum*. *Collectanea Botanica*, 19, 21-39.

- Potts, S.G., B. Vulliamy, S. Roberts, C. O'Toole, A. Dafni, G. Néman and P.G Willmer, (2004). Nectar resource diversity organises flower-visitor community structure. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 113, 103–107.
- Queller, D. C. (1983). Sexual selection in a hermaphroditic plant. *Nature*, 305, 706-707.
- Ratnieks, F. (2013). How Bees Make Honey. Folleto divulgacion. The Laboratory of Apiculture & Social Insects (LASI). 4 p.
- Real, L.A. and B.J. Rathcke. (1991). Individual variation in nectar production and its effect on fitness in *Kalmia latifolia*. *Ecology*, 72, 149-155.
- Roubik, D.W and S.L. Buchmann (1984). Nectar selection by *Melipona* and *Apis mellifera* (Himenóptera: Apidae) and the ecology of nectar intake by bee colonies in a tropical forest. *Oecologia*, 61, 1-10.
- Schmitt, J. (1983). Individual flowering phenology, plant size, and reproductive success in *Linanthus androsaceus*, a California annual. *Oecologia*, 59,135-140.
- Seese, W. S y Daub. G. W (1989). *Química*. Quinta edición. Prentice-Hall, Mexico. 744 p.
- Thomson, J. D. (1988). Effects of variation in inflorescence size and floral rewards on the visitation rates of traplining pollinators of *Aralia hispida*. *Evolutionary Ecology*, 2, 65-76.
- Timmer, L.W y S.E. Zitko (1995). Early season indicators of post bloom fruit drop of citrus and the relationship of disease incident and fruit production. *Plant Disease*, 1017-1019.
- Yam, O. (2012). Estimación de la biomasa aérea arbórea en un paisaje de selva mediana sub caducifolia en el sur del estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán. 69 p.
- Valdez-Hernández, M., J. L. Andrade, P. C. Jackson and M. Rebolledo-Vieyra (2010). Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors. *Plant Soil*, 329, 155-171
- Villareal, A. G and C. E. Freeman (1990). Effects of temperature and wather stress on some floral nectar characteristics in *Ipomopsis longiflora* (Polemoniaceae) under controlled conditions. *Botanical Gazette*, 151, 5-9.
- Wolf, D. (2006). Néctar Sugar Composition and Volumes of 47 Species of Gentianales from a Southern Ecuadorian Montane Forest. *Annals of Botany*, 97, 767-777.

Zywiec, M., M. Delibes and J. M. Fedriani (2012). Microgeographical, inter-individual, and intra-individual variation in the flower characters of Iberian pear *Pyrus bourgaeana* (Rosaceae). *Oecologia*, 169, 713-722.

RIQUEZA DE VISITANTES FLORALES Y DINAMICA DE VISITAS EN GYMNOPODIUM FLORIBUNDUM CON RELACIÓN A LA PRODUCCIÓN DE NÉCTAR A LO LARGO DEL DÍA.

INTRODUCCIÓN

Las angiospermas para reproducirse exitosamente dependen de vectores para la transportación de sus gametos masculinos, utilizando recompensas para atraer a diversos polinizadores incluyendo insectos de todos los órdenes, mamíferos e inclusive reptiles (Nicolson, 2007; Godínez-Álvarez, 2004).

Las visitas a las flores a través de los diversos vectores (insectos, aves, mamíferos) son de gran importancia, ya que del transporte del polen depende el grado de éxito en la unión de los gametos y consecuentemente en la producción de frutos y semillas (Ollerton, 2011).

La cantidad de visitantes florales y su frecuencia de visitas depende en gran medida de la cantidad y calidad de las recompensas florales ofrecidas, que a su vez depende de cambios en la temperatura y otras variables climáticas que modifican tanto la actividad y metabolismo de los visitantes florales como la tasa de producción de néctar en las plantas. Por lo tanto la variabilidad de las características de las recompensas florales tiene una enorme influencia en la actividad de los visitantes florales. Es indispensable estudiar las variables que afectan tanto las actividades de los visitantes como la fenología de las plantas (Edge *et al.*, 2012; Hegland *et al.*, 2009).

Con el fin de entender la interacción de los visitantes florales con el recurso nectarífero ofrecido por *G. floribundum*, en el siguiente capítulo se identificaron a los visitantes florales y se analizó la tasa de visitas y su posible relación con las variables ambientales (intensidad lumínica, grados brix, humedad relativa) y con las características del néctar producido a lo largo del día.

MATERIALES Y MÉTODOS

Identificación de los visitantes florales y su dinámica de visitas en relación al néctar y las condiciones ambientales

La identificación de los visitantes florales se realizó colectando a todos los insectos que fueron observados en las flores de *G. floribundum*. En caso de haber sido otro organismo que no sea un insecto se le fotografió para su posterior identificación. El muestreo se realizó en dos periodos de floración, el primero en la temporada de octubre de 2012, y el segundo en los meses de enero y febrero del 2013. Los visitantes colectados fueron identificados taxonómicamente a nivel familia y a nivel especie en lo posible, posteriormente se montaron y pasaron a formar parte de la colección de referencia para poder facilitar la identificación en campo de estos visitantes. La identificación de los visitantes florales se realizó en ambos sitios de estudio para poder registrar la mayor riqueza de visitantes florales. Posteriormente se comparó la riqueza de especies entre ambos sitios y se seleccionó el que contuvo mayor número de especies para realizar el muestreo de la dinámica de visitas florales.

La dinámica de visitas se registró durante el mes de febrero del 2013 en el horario de 7:00 am a 5:00 pm, los días 19, 21 y 25, días específicos en los que la floración se encontraba en su pico máximo. El muestreo de la dinámica de visitas se realizó en el campus de la UADY debido a que la colecta de los visitantes florales fue menor en el CICY. La dinámica de visitas se estimó mediante la observación de la tasa de visitantes florales (número de visitas / tiempo de observación, entre el número de flores observadas), la tasa se calculó para cada intervalo de tiempo (15 minutos) a lo largo del día.

Las observaciones se realizaron en intervalos de 15 minutos por árbol abarcando tres árboles por cada día de observación, y en cada árbol se seleccionó una rama primaria a la cual se le contó el número de flores como dato necesario para obtener la tasa de visitas. En estas mismas ramas se colocaron los "data loggers" uno por cada rama observada para registrar las variables ambientales temperatura (grados Celsius), humedad relativa (%) e intensidad de luz (lux). Las tres variables se registraron cada 15 minutos, ajustando este registro con las observaciones de la tasas de visitas. Finalmente

en estas mismas ramas se colectó el néctar de acuerdo a la metodología del capítulo II para asociar sus características (volumen y concentración) con la tasa de visitas.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se analizaron con la ayuda del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System ver. 9.1.3.). La tasa de visitas se separó en tres grupos de acuerdo a sus características para su análisis: 1) la tasa de visitas global en el cual se incluyeron a todas las especies que se observaron visitando a las flores del *G. floribundum*. 2) La tasa de visitas pero excluyendo las visitas de *A. mellifera*, la exclusión de esta especie se debe a que es introducida y con una amplia tolerancia a temperaturas altas (Cooper y Schaffer, 1985) lo cual puede interferir con los patrones de forrajeo de las demás especies en relación al néctar y las variables ambientales. Finalmente se analizó la tasa de visitas solamente de *A. mellifera*, debido a que fue la especie que se encontró con mayor frecuencia en las visitas y al ser una especie introducida como se menciona anteriormente merece un análisis aparte.

La tasa de visitas global se analizó y transformó a logaritmo natural ($y = \ln x$), para cumplir el principio de normalidad de los datos. Para conocer si la tasa de visitas en las flores presenta un patrón a lo largo del día se realizó una correlación cúbica, cuadrática y simple, entre la tasa de visitas y el tiempo de muestreo por día.

Posteriormente se realizó una regresión lineal para saber si la tasa de visitas global (variable respuesta) se relacionaba con las variables (predictivas) ambientales: luz, temperatura, humedad, con las variables del néctar volumen y concentración en grados brix. Se usó el método de regresión paso a paso descrito en el capítulo II. El procedimiento seleccionó las mejores variables predictivas para elaborar el modelo por un procedimiento automático, usando como primer paso una matriz de correlaciones y en segundo usando una secuencia de pruebas F, para que las variables sean seleccionadas para elaborar el modelo predictor estas tienen que ser significativas para un valor de alfa del 0.1500 o menor. Este procedimiento se repitió con los dos grupos anteriormente mencionados (tasa de visitas de todas las especies excluyendo a *A. mellifera*, y tasa de visitas solamente de *A. mellifera*).

RESULTADOS

Visitantes florales

Las flores del *G. floribundum* fueron visitadas en total por 27 especies de insectos, pertenecientes a cuatro órdenes y a 15 familias. El orden Himenóptera y la familia Apidae fueron los que estuvieron mejor representadas (cuadro 16). Ocho especies estuvieron presentes en ambos sitios.

Cuadro 16. Listado de visitantes florales en el *G. floribundum*, colectados en los sitios de estudio. Las x señalan el lugar donde fueron colectadas las especies.

| Orden | Familia | Especie | UADY | CICY | |
|-------------|----------------|--|--------------------------------|------|--|
| Hymenoptera | Apidae | <i>Apis mellifera</i> L. | x | x | |
| | Apidae | <i>Nannotrigona perilampoides</i> Cresson | x | x | |
| | Apidae | <i>Trigona nigra</i> Cresson | x | x | |
| | Apidae | <i>Partamona bilineata</i> Say | | x | |
| | Apidae | <i>Scaptotrigona pectoralis</i> Dalla Torre | x | | |
| | Apidae | <i>Melipona beecheii</i> Bennett | x | | |
| | Apidae | <i>Trigona fulviventris</i> Guérin-Méneville | x | | |
| | Apidae | <i>Plebeia frontalis</i> Friese | x | | |
| | Formicidae | <i>Atta</i> sp. | x | | |
| | Halictidae | <i>Lasioglossum</i> sp.1 | x | | |
| | Halictidae | <i>Lasioglossum</i> sp.2 | x | | |
| | Platygastridae | Platygastridae sp. | x | | |
| | Pteromalidae | Pteromalidae sp. | x | | |
| | Sphecidae | Sphecidae sp. | x | | |
| | Vespidae | <i>Brachygastra mellifica</i> Say | x | x | |
| | Vespidae | <i>Polybia occidentalis</i> Olivier | x | x | |
| | Vespidae | <i>Polistes</i> sp. | x | | |
| | Diptera | Syrphidae | <i>Ornidia obesa</i> Fabricius | x | |
| | | Sepsidae | Sepsidae sp. | x | |
| | | Stratiomyiidae | Stratiomyiidae sp. | x | |
| Syrphidae | | Syrphidae sp. | x | x | |
| Coleoptera | Bruquidae | <i>Megacerus</i> sp.1 | x | | |
| | Bruquidae | <i>Megacerus</i> sp.2 | x | | |
| | Bruquidae | Bruquidae sp. 1 | x | x | |
| | Curculionidae | Curculionidae sp. | x | | |
| | Staphylinidae | Staphylinidae sp. | x | | |
| Hemiptera | Coreidae | Coreidae sp. | x | x | |

Dinámica de visitas y su relación con las características del néctar y las variables ambientales

La tasa de visitas global (todas las especies) no tuvo tendencia a lo largo del día, a pesar de que se pudo observar dos períodos pico durante los cuales existió la mayor cantidad de visitas; sin embargo estadísticamente no se encontró relación entre la tasa de visitas y la hora del día (regresión simple, cuadrática y cúbica $P > 0.05$). La tasa de visitas se puede observar en la Figura 11.

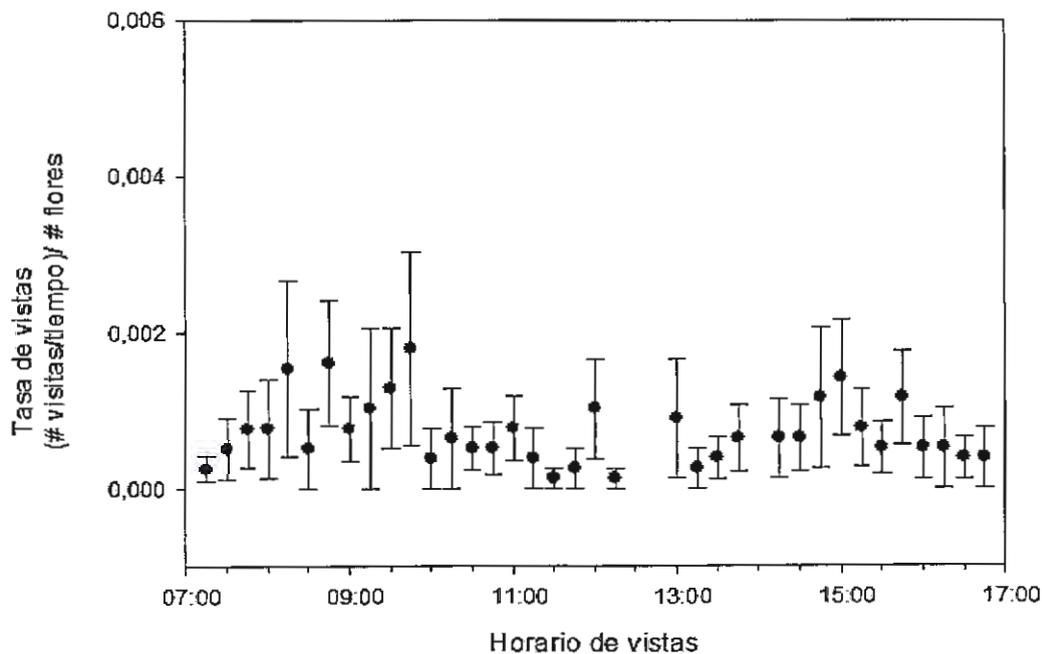


Figura 11. Tasa de visitas a lo largo del día en *Gymnopodium floribundum* de todas las especies en conjunto (Media \pm E.E.).

De todas las variables que se integraron en el procedimiento "paso a paso" (volumen, concentración del néctar, luz, temperatura y humedad relativa) ninguna tuvo relación significativa con la tasa de visitas global ($P > 0.0001$). Únicamente la variable número de especies ($6.85 + 0.53$ (número de especies) + Error; $R^2 = 0.49$; $F_{1,82} = 79.82$, $P < 0.0001$.) resultó estar asociada con la tasa de visitas.

El modelo de regresión cúbica es el que se ajustó mejor a la tasa de visitas excluyendo a *A. mellifera* generando la salida siguiente salida del modelo predictivo (tasa de visitas = $0.036+0.0000025(x)+0.000001(x^2)+0.0000000(x^3)+E$; $R^2=.72$; $F_{3,115}= 99.6$, $P=< 0.0001$). El patrón de visitas se puede observar en la Figura 12.

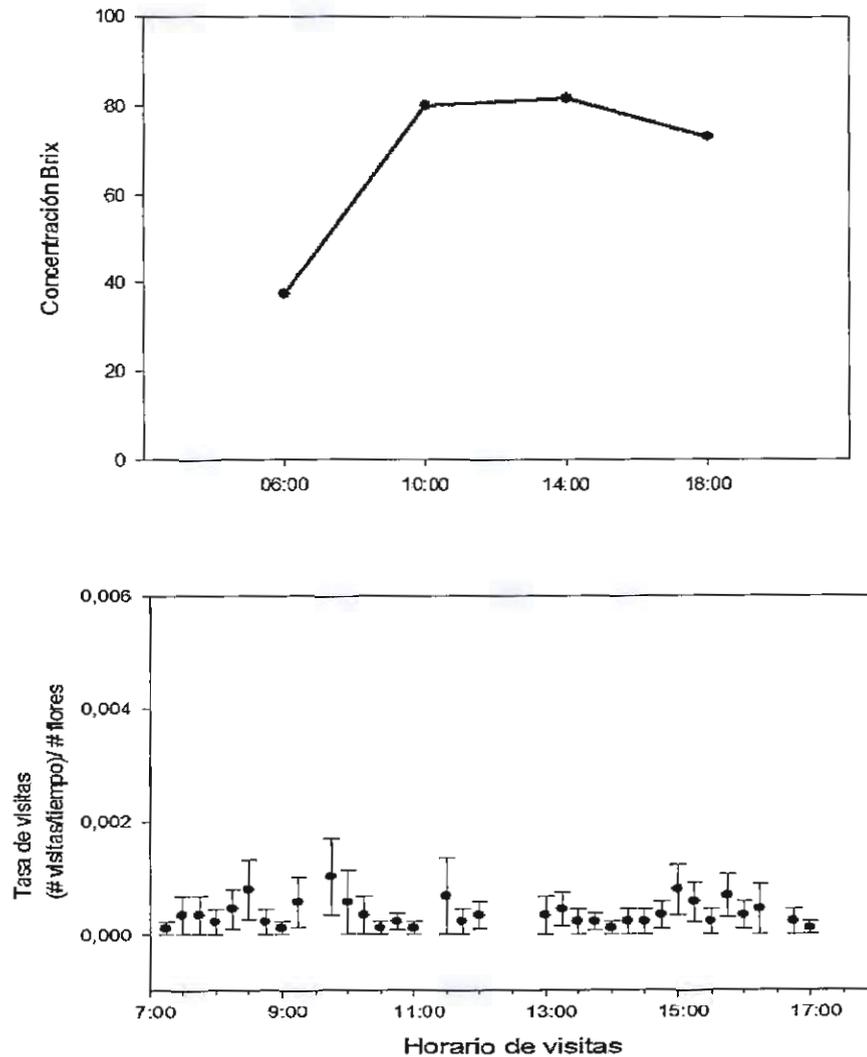


Figura 12. Tasa de visitas de las especies nativas (excluyendo a *A. mellifera*) a lo largo del día, en el *G. floribundum* (Media \pm E.E.) y la concentración del néctar (figura de arriba) a lo largo del día.

La tasa de visitas en el *G. floribundum* tomando en cuenta solamente a las especies nativas mostró una relación significativa con las variables ambientales humedad y temperatura, generado el siguiente modelo (tasa de visitas= $0.035+0.00033$

(temperatura)+-0.00024 (humedad)+Error; $R^2=0.89$; $F_{2,116}=500.1$, $P<0.0001$). La concentración expresada en grados brix fue la única variable significativa del néctar asociada a la tasa de visitas (tasa de visitas = $.024+.00016$ (concentración brix)+Error; $R^2=0.31$; $F_{1,117}=53.78$, $P<0.0001$).

La tasa de visitas exclusivamente de *A. mellifera* y el horario de observación no tuvo una relación significativa (regresión lineal, cuadrática y cúbica $P>0.05$). La tasa de visitas se puede observar en la figura 13. Únicamente las variables ambientales tuvieron una relación significativa ($F_{3,65}=4.20$, $P=0.0088$) con la tasa de visitas de *A. mellifera*. La relación fue baja ($R^2=0.016$) e indica una asociación negativa entre las variables temperatura y humedad y una relación positiva de la intensidad lumínica con la tasa de visitas como se observa en el modelo (tasa de visitas= $2.18+-0.089$ (temperatura)+ -0.024 (humedad)+ 0.0000098 (luz)+Error

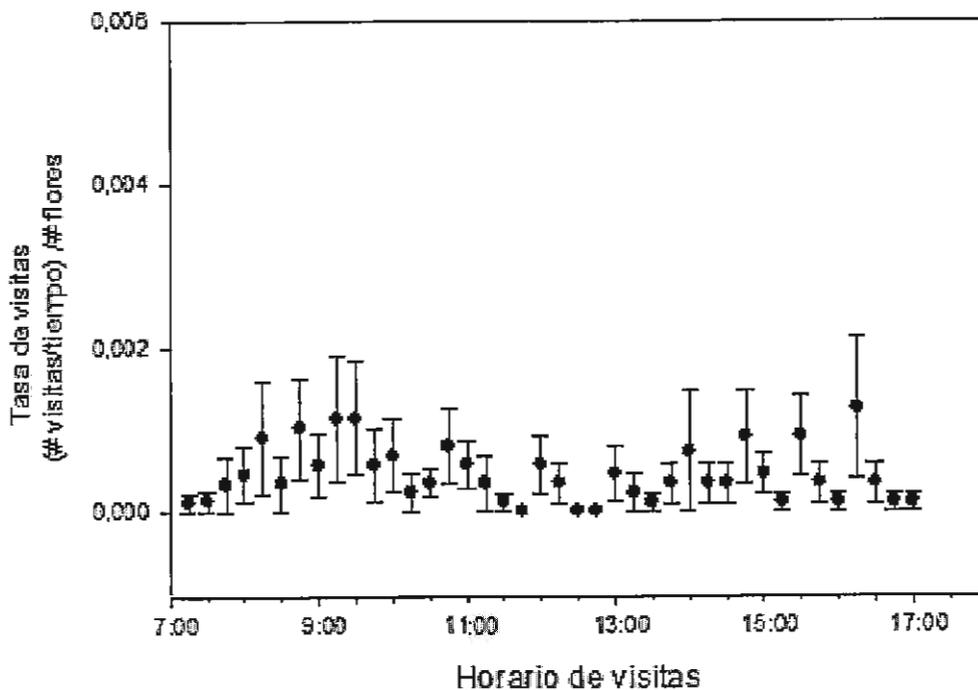


Figura 13. Tasa de visitas de *A. mellifera* a lo largo del día, en el *G. floribundum* (Media ± E.E.).

DISCUSIÓN

Visitantes florales

Se registró un total de 27 especies de visitantes florales, al compararla con la riqueza de visitantes registrado en otras plantas se puede considerar como una riqueza intermedia, por ejemplo en un estudio similar pero con la especie melífera *Q. soponaria* en Chile tuvo un total de 42 especies (Díaz-Forestier, 2009). Estas comparaciones no se pudieron hacer con plantas melíferas locales ya que no hay estudios en los cuales se registre a los visitantes florales. En plantas de importancia agrícola en Yucatán se ha observado una alta riqueza de especies de insectos visitando las flores, por ejemplo Pérez-Balam (2011) en el *Capsicum chinense* Jacq. registró un total de 67 especies de abejas nativas. Meléndez-Ramírez en el (2002) encontró en las flores de cultivos de cuatro especies de Cucurbitaceae 58 especies de abejas, siendo la especie *Cucumis melo* en la que se registró el mayor número de especies (27) de abejas visitando sus flores.

Pacini y Nepi, (2007) menciona que la forma en que se presenta el néctar en la flor está relacionada directamente con el tipo de polinizadores que visitan a la flor, por ejemplo las flores que presentan el néctar completamente expuesto son visitados principalmente por, himenópteros de lengua corta, dípteros y pequeños escarabajos, este patrón de especies descrito concuerda con las especies que se registraron en el *G. floribundum* cuyas flores de igual manera presentar el néctar de forma expuesta.

Gaumer (2012) en Yucatán registró los visitantes florales en la especie *Opuntia stricta* encontrando 16 especies de insectos. Al comparar su composición de visitantes florales con la del *G. floribundum* se observa una baja similitud ya que únicamente comparten dos especies *A. mellifera* la cual se considera una especie generalista y *Lasioglossum* sp. Respecto a la frecuencia de visitas se encuentra que la principal diferencia radica en que *O. stricta* es visitado mayormente (80%) por un coleóptero del género *Carpophilus* (80%), mientras que en el *G. floribundum* la mayor frecuencia de visitas se da por *A. mellifera*. Esta marcada diferencia se puede deber principalmente a que los muestreos se realizaron en distintas zonas de vegetación, *O. stricta* en la duna costera y *G.*

floribundum en la selva baja caducifolia lo que implicaría estar expuesta a diferentes especies de visitantes florales (Heithaus, 1974).

Entre los visitantes florales que destacan en el *G. floribundum* están las especies pertenecientes al orden Himenóptera que representaron el 62 % del total de especies registradas. En el presente estudio se registró que el *G. floribundum* fue una fuente de alimentos para taxa de importancia ecológica como parasitoides (Platygastridae, Pteromalidae), polinizadores (ocho especies de abejas sociales en total) y depredadores de semillas (tres especies de Brúquidos) lo cual puede ser usado como un indicador de la importancia de esta especie ya que funciona como fuente de alimento para diversos gremios de insectos en el ecosistema (Lundgren, 2009; Gauld, y Bolton, 1988).

Dinámica de visitas

La dinámica de visitas global (todas las especies) no presentó tendencia en la tasa de visitas respecto al transcurso del día. Cada grupo de insectos puede tener un patrón de vistas a las flores en determinado horario del día de acuerdo a sus requerimientos energéticos (Potts, 2004) o por sus limitaciones fisiológicas respecto al ambiente como encontró Biesmeijer et al., (1999) en dos especies de *Melipona*. En este análisis en particular las visitas de todas las especies se usaron en conjunto y los patrones de visitas de los diversos grupos de visitantes florales a lo largo del día pudieron sobre ponerse con la de especies generalistas como *A. mellifera* cuya frecuencia de vistas fue del 58.87%. La amplia frecuencia de visitas observada durante todo el día por *A. mellifera* pudo impedir que se observe un patrón definido de visitas de otros grupos de insectos e impidiendo determinar un patrón de aprovechamiento de los recursos florales por los múltiples grupos de visitantes que se encontraron en el *G. floribundum*.

Los análisis sin contemplar a *A. mellifera* fueron significativos ($F_{3,115} = 99.6$, $P < 0.0001$) e indicando una fuerte relación de la tasa de visitas a lo largo del día, al obtener una $R^2 = 0.72$ como se observa en la figura 12. En la regresión se observó dos picos de actividad máxima, uno de estos picos fue en el horario de 9:30 a 10:00, mismo horario en el cual se observó la mayor diversidad de especies visitando las flores, este horario y el pico de diversidad de especies concuerda al patrón encontrado por autores como Real en

(1981) para *Ipomea indica* e *Ipomea batatas* en Costa Rica y Edge et al., (2012) en *Cucurbita pepo* en Estados Unidos.

Las variables ambientales mostraron una fuerte influencia ($R=0.89; F_{2,116}=500.1, P<0.0001$) sobre la tasa de visitas sin contar con *A. mellifera*. Los factores ambientales juegan un papel importante, la luz por ejemplo principalmente en los insectos sociales limita la capacidad de navegación y orientación y las temperaturas extremas, tanto calientes como frías, restringen la actividad de forrajeo (Hilário et al., 2000). En el presente estudio la temperatura y la humedad son las dos variables predictivas más asociadas a la tasa de visitas, siendo la temperatura de las variables más estudiadas ya que los insectos son vulnerables a la desecación y las altas temperaturas afectan de manera directa a los insectos voladores debido a que son organismos pequeños y su relación superficie/volumen es alta y hay un intercambio de calor intenso con el medio ambiente (Pereboom y Biesmeijer, 2003; Hilário et al., 2000).

La humedad también es un factor determinante el cual se ha relacionado con la diversidad de abejas, pero al parecer es la interacción de ambas variables la que delimita la actividad de visitas de los insectos, sobre todo en insectos sociales, como avispa y abejas, los cuales fueron los visitantes más frecuentes en el *G. floribundum* (Pérez-Balam et al., 2011; Kasper et al., 2008; Rodrigues et al., 2007).

La única variable del néctar que se relacionó significativamente con la tasa de visitas en las especies nativas fue la concentración en grados brix ($R=0.31; F_{1,117}=53.78, P<0.0001$), esta relación ha sido documentada en Meliponinos por Bruijn y Sommeijer (1997) encontrando que las visitas de las abejas aumenta significativamente conforme aumentó la concentración de néctar disponible. La concentración del néctar es una de las características más importantes y relevantes ya que se relaciona directamente con los requerimientos energéticos de los visitantes florales junto con otras características como la viscosidad y volumen.

Finalmente la tasa de visitas únicamente de *A. mellifera*, no tuvo un patrón de visitas a lo largo del día, se observó que sus visitas fueron constantes a lo largo del día, igualmente

tuvo una baja relación con las variables ambientales ($R=0.016$), estos datos nos indican que esta especie se comportó de manera generalista respecto a la fuente de alimento disponible, lo cual concuerda con lo observado por Goulson, (2003) y Joshi y Joshi, (2010) al considerar a *A. mellifera* como una especie oportunista y generalista.

Entre las principales características que permiten a *A. mellifera* visitar las flores durante amplios periodos del día destaca la capacidad de regular su temperatura interna aun en climas extremos. Por ejemplo Cooper y Schaffer, (1985) encontraron que *A. mellifera* regula su temperatura en climas extremos como el del desierto de Sonora regurgitando parte del néctar colectado sobre de su tórax y su cabeza. Pereboom y Biesmeijer (2003) al estudiar los aspectos biofísicos de 24 abejas sin aguijón, encontraron que el color y tamaño son determinantes respecto a la tolerancia de las abejas a las condiciones climáticas, teniendo ventaja las abejas de mayor tamaño y color claro como *A. mellifera* sobre otras abejas de color oscuro y pequeñas debido a que absorben calor más lentamente permitiéndoles pecorear durante más tiempo y en zonas donde la radiación solar y temperatura es una limitante para otras abejas e insectos en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Biesmeijer J. C., J. A. P. Richter. M.J.A.P. Smeets and M.J. Sommeijer (1999). Niche differentiation in nectar-collecting stingless bees: the influence of morphology, floral choice and interference competition. *Ecology Entomology*, 24, 380-388.
- Bruijn, L.L.M., and M.J. Sommeijer (1997). Colony foraging in different species of stingless bees (Apidae, Meliponinae) and the regulation of individual nectar foraging *Insectes Sociaux*, 44, 35-47.
- Cooper, P. D. and W, M. Schaffer (1985). Temperature regulation of honey bees (*Apis mellifera*) foraging in the sonoran desert. *The Journal of Experimental Biology*, 114, 1-15.
- Diaz-Forestier, J., M. Gómez and G. Montenegro (2009). Nectar volume and floral entomofauna as a tool for the implementation of sustainable apicultural management plans in *Quillaja saponaria* Mol. *Agroforestry System*, 76, 149-162.

- Edge, .A.A., B.N. Van-Nest, J.N. Johnson, S. N. Miller, N. Naeger, S. D. Boyd and D. Moore (2013). Diel nectar secretion rhythm in squash (*Cucurbita pepo*) and its relation with pollinator activity. *Apidologie*, 43, 1-16.
- Gauld, I. D. and B. Bolton (1988). *The Hymenoptera*. Oxford University Press and British Museum (Natural History), Oxford. 332 p.
- Gaumer R. (2012). Contribución al conocimiento sobre la biología floral y reproductiva de *Opuntia stricta* (haw.) haw. (cactaceae) en la duna costera de la reserva estatal "el palmar", Yucatán, México. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán. Yucatán, México. 106 p.
- Godínez-Álvarez, H. (2004). Pollination and seed dispersal by lizards: a review. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77, 569-577.
- Goulson, D. (2003). Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34, 1–26
- Hegland, S. J., A. Nielsen, A. Lázaro, A. Bjerknes and O. Totland (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology Letters*, 12, 184-195.
- Heithaus, E. R. (1974). The role of plant-pollinator interactions in determining community structure. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 61, 675-691.
- Hilário, S.D., V.L. Imperatriz-Fonseca and A. Kleinert (2000). Flight activity and colony strength in the stingless bee *Melipona bicolor* (Apidae, Meliponinae). *Revista Brasileira de Biologia*, 60, 299-306.
- Joshi, N.C. and P.C. Joshi (2010). Foraging Behaviour of *Apis spp* on Apple Flowers in a Subtropical Environment. *New York Science Journal*, 3, 71-76.
- Kasper, M. L., A.F. Reeson, D.A. Mackay. and A.D. Austin (2008). Environmental factors influencing daily foraging activity of *Vespula germanica* (Hymenoptera, Vespidae) in Mediterranean Australia. *Insectes Sociaux*, 55, 288-295.
- Keasar, T and A. Shmida (2009). An evaluation of Israeli forestry trees and shrubs as potential forage plants for bees. *Israel Journal of Plant Sciences*, 57, 2-16.
- Lundgren, J.G (2009). *Progres in Biological Control: Relationships of Natural Enemies and Non-Prey Foods*. Springer Dordrecht, Netherlands. 453 p.
- Meléndez-Ramírez, V., S. Magaña-Rueda, V. Parra-Tabla, R. Ayala and J. Navarro (2003). Diversity of native bee visitors of cucurbit crops (Cucurbitaceae) in Yucatán, México. *Journal of Insect Conservation*, 6,135–147.

- Nicolson, S. W. (2007). Nectar Consumers, in: *Nectaries and Nectar*, Nicolson, S. W., M. Nepi, y E. Pacini (eds). Springer Dordrecht, Netherlands. pp. 289-342.
- Nicolson, S.W. y R.W. Thornburg (2007). Nectar Chemistry, in: *Nectaries and Nectar*, Nicolson, S. W, M. Nepi, y E. Pacini (eds) Springer, Dordrecht. pp. 215-249
- Ollerton, J., R. Winfree and S. Tarrant (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120, 321-326.
- Pacini, E. and Nepi, M (2007). Nectar Production in Presentation in: *Nectaries and Nectar*, Nicolson, S. W., M. Nepi, y E. Pacini (eds). Springer Dordrecht, Netherlands. pp.167-214.
- Pereboom, M. and J. C. Biesmeijer (2003). Thermal constraints for stingless bee foragers: the importance of body size and coloration. *Oecologia*, 137, 42-50.
- Pérez-Balam J., J.J.G. Quezada-Euan, R.J. Paxton and R. Ayala (2011). Diversidad de abejas nativas asociadas a cultivos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Yucatán, México. VII Seminario Mesoamericano sobre Abejas Nativas. Cuetzalan, México. pp. 212-216.
- Potts, S.G., B. Vulliamy, S. Roberts, C. O'Toole, A. Dafni, G. Néman and P.G Willmer, (2004). Nectar resource diversity organises flower-visitor community structure. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 113, 103–107.
- Real, L. A. (1981). Nectar Availability and Bee-Foraging on *Ipomoea* (Convolvulaceae) *Biotropica*, 13, 64-69.
- Rodrigues, M., W.C. Santana, G.S. Freitas and A.E.E Soares (2007). Flight activity of *tetragona clavipes* (fabricius, 1804) (himenóptera, Apidae, meliponini) at the são paulo university campus in Ribeirão preto. *Revista Biosci Juberlândia*, 23, 118-124.

DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

DISCUSIÓN GENERAL

De las características del *G. floribundum* analizadas el número de flores producidas por árbol fue la que tuvo mayor dificultad debido a la gran cantidad de flores que presentó cada árbol. Sin embargo mediante el conteo de flores a nivel de rama y la estimación de la variabilidad se pudo obtener una metodología que permite el recurso floral por árbol en un menor tiempo contando únicamente una rama por árbol y contando el número de ramas en flor por árbol., Además este sistema es viable debido a que en los resultados la variabilidad fue mínima en todos los niveles de ramificación, excepto en el nivel de rama terciaria (b3), por lo cual para que las estimaciones sean confiables se tendrían que realizar al menos contando las flores provenientes de las ramas secundarias (b2).

Esta metodología podría usarse para estimar la producción nectarífera en otras especies melíferas de la región como *Piscidia piscipula*, *Lonchocarpus longistylus* y *Neomillspaugia emarginata*, entre otras. Inclusive se podría realizar estimaciones con una metodología similar pero estimando la cantidad de polen producida en especies poliníferas como *Bursera simaruba* y *Mimosa bahamaensis*. Esta información es útil y puede usarse para realizar un índice de especies de importancia melífera similar al realizado por Keasara y Shmida, 2009 con la finalidad de saber que plantas tienen prioridad para ser usadas por ejemplo para la reforestación en zonas apícolas o con fines de mantenimiento de los polinizadores nativos (Pontin *et al.*, 2006).

Respecto al resto de las características la concentración del néctar es uno de los primeros parámetros usados para clasificar la flora con potencial melíferos ya que las abejas utilizan principalmente las fuentes de néctar concentradas (cerca al 60%) debido a su eficiencia energética (Canto, 2011; Roubik y Buchmann, 1989; Winston, 1987). Por lo tanto en futuros trabajos de evaluación de la flora melífera esta una de las variables que primero se deben de tomar en cuenta. El *G. floribundum* en promedio registro un 60 % de concentración de azúcares en el néctar inclusive llegando al 80% debido a la concentración por efectos de la evaporización. Finalmente es la alta densidad de

individuos en la que se encontró en ambas áreas de estudio y el hecho que esté presente en casi todos los tipos de vegetación en el estado es de los principales motivos por los cuales esta planta es una de las plantas melíferas más importantes en la región.

Los recursos nectaríferos en Yucatán son abundantes como se indica en el capítulo I, pero la poca información acerca de la producción nectarífera de estas plantas es un obstáculo para comparar y evaluar cuales son las más importantes en base a sus. Únicamente la información generada por López (1994), permite realizar comparaciones respecto al potencial melífero con otras plantas de la región. Estudiar más afondo el resto de las plantas melíferas, como *V. dentata* permitiría entender mejor el potencial de la flora melífera en conjunto y permitiría por ejemplo recomendar que plantas propagar con el fin de aumentar el valor de zonas destinadas a la apicultura.

Las condiciones ambientales fueron correlacionadas con las características del néctar en el capítulo III para observar las variables que afectan las características del néctar, siendo la humedad y la temperatura las variables importantes y que afectaron el volumen y la concentración del néctar. La única variable ambiental que no demostró afectar las características del néctar fue la intensidad de la luz medida en luxes. En la literatura se señala que los cambios en la cantidad de luz que perciben durante el día (fotoperiodo) funcionan como uno de los principales estímulos para el inicio de la floración en muchas especies. Por ejemplo en *Arabidopsis* la floración se acelera cuando los días son más largos (McClung, 2006; Van Doorn y Van Meeteren, 2003). Inclusive la luz puede tener un impacto directo en el número de flores producido por árbol, ya que se observó que los arboles que crecían aislados y que le daba mayor cantidad de luz, producían mas flores, por lo tanto en estudios posteriores sería pertinente medir la asociación entre la cantidad de luz que reciben los arboles y el número de flores.

Uno de los resultados más interesantes respecto a la variabilidad en el néctar fue el referente al sesgo en la producción del mismo de acuerdo a la fase sexual de la flor, reportado ya con anterioridad en otras especies por Carlson y Harms, (2006). Estos resultados tienen importancia para la apicultura en Yucatán, ya que la denominación de mieles uniflorales es un problema que se presenta en la península. Según Alfaro (2010)

hasta el 50% de las mieles peninsulares pueden ser reconocidas como uniflorales con exámenes palinológicos. Pero este método no es completamente eficiente para ciertas especies de gran importancia melífera como, *G. floribundum* incluso en estudios como los de Villanueva-Gutiérrez, (2009) no se aprecia claramente la contribución nectarífera del *G. floribundum* en la producción de miel, a pesar de que la mayor cosecha de miel se da durante la floración de esta especie (Echazarreta *et al.*, 1997). En el *G. floribundum* la mayor producción de néctar fue en las flores durante la fase femenina, cuando el polen ya no se encontraba disponible en las anteras, lo cual podría reducir el número de polen en el néctar que colectan para la elaboración de la miel y de esta manera reducir que la probabilidad de la presencia de granos de polen en el néctar y posteriormente en la miel extraída al determinarse su origen a través estudios palinológicos. Para corregir estos sesgos en los análisis palinológicos de miel, actualmente se ha usado métodos alternativos como el usado por Cuevas-Glory *et al.*, (2012) en el cual caracteriza y analizan por medio análisis multivariados las mieles de acuerdo a parámetros como los compuestos volátiles. Este nuevo método permitió discriminar tres tipos de mieles monoflorales en Yucatán *V. dentata*, *G. floribundum* y *P. piscipula*, siendo un método efectivo pero que ha sido poco usado debido a que su aplicación depende de equipo altamente especializado. Por lo cual actualmente los métodos palinológicos siguen siendo los más usados aun con el sesgo que produce en plantas que producen poco polen y abundante néctar como el *G. floribundum*.

El estudio de la riqueza de especies realizado en el capítulo III fue importante ya que permite realzar e integrar la importancia del *G. floribundum* en función de las especies de insectos que lo visitan como una fuente de alimento. Un claro ejemplo son las siete especies de abejas sin aguijón que son de importancia ecológica y cultural en Yucatán, incluyendo a *M. beecheii* especie reportada en peligro de extinción según Villanueva-Gutiérrez *et al.*, (2005).

Igualmente es interesante comparar las especies presentes en ambas áreas de estudio, por ejemplo podemos ver que el área de la UADY presentó el mayor número de especies (25) en contra de las 9 localizadas en el área del CICY y únicamente compartieron 7 especies. Como menciona González 2011, el hecho de que el jardín botánico se

encuentre dentro de una zona urbana puede afectar el número de especies que se encuentren aprovechando los recursos melíferos de esta zona. El hecho de que el área se encuentre dentro de la ciudad permite que las especies usen aledaños a esta zona lo usen como un hábitat, lo cual indica la importancia que tiene el área del CICY (jardín botánico).

CONCLUSIONES

- El presente estudio es un esfuerzo de conocer y estimar uno de los más abundantes e importantes recursos melíferos en Yucatán, mediante el análisis integral de características específicas del néctar, el árbol y sus visitantes florales, con el fin de aportar información que pueda ser utilizado en la apicultura y en la administración de recursos forestales así como en la contribución para la conservación de los polinizadores nativos de la región.
- La estimación de la producción melífera del *G. floribundum* por área e individuo es una herramienta útil para la estimación del aporte nectarífero de esta especie, siempre y cuando se realicen las recomendaciones señaladas respecto al conteo de flores y el nivel de ramificación.
- La alta densidad de individuos fue una de las principales características del *G. floribundum* en conjunto con la alta concentración de azúcares y número de flores.
- La variabilidad en el néctar fue nula a nivel inter individual. A nivel intra individual la única fuente de variabilidad registrada fue respecto a la sexualidad de la flor.
- El *G. floribundum* es un recurso nectarífero usado por diferentes grupos de insectos. Los himenópteros, específicamente las abejas sociales fueron los que lo aprovecharon de manera más frecuente.
- La humedad relativa fue la variable ambiental más significativa en el presente estudio ya que se asoció con la tasa de visitas y con ambos los atributos del néctar (volumen y concentración).

PERSPECTIVAS

- Este trabajo permitió evaluar el valor melífero del *G. floribundum*, sentando las bases para el estudio a profundidad de otras especies de importancia melífera en la península de Yucatán.
- Las estimaciones realizadas en el presente estudio pueden aplicarse a otras zonas y pueden ser usadas como un método para ayudar a determinar sitios con mayor potencial para la apicultura en el estado de Yucatán.
- Es importante en estudios futuros incluir las variables climáticas ya que estos factores influyen directamente sobre los recursos florales y es importante estudiar sus interacciones e implicaciones. En el *G. floribundum* específicamente correlacionar la precipitación pluvial del año anterior de la floración con la producción de flores y néctar por árbol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, B.R.G., J.A. González, D.J. Ortiz, C.F.A. Viera, P.A.I. Burgos, E. Martínez-Hernández y E. Ramírez-Arriaga (2010). *Caracterización Palinológica de las Mieles de la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 156 p.
- Canto, M. A. (2011). El Néctar, la Esencia de la Miel, en: *La Miel y las Abejas el Dulce Convenio del Mayab*, C. Echazarreta (Ed). Biblioteca Básica de Yucatán. México, Yucatán .pp. 61-72
- Carlson, J. E. and K. E. Harms (2006). The Evolution of Gender-Biased nectar Production in Hermaphroditic Plants. *The Botanical Review*, 72,179-205.
- Cuevas-Glory, L., E. Ortiz-Vázquez, J. A. Pino and E. Sauri-Duch (2012). Floral classification of Yucatan Peninsula honeys by PCA and HS-SPME/GC-MS of volatile compounds *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 1378-1383.

- Echazarreta, C. M., J.J. G. Quezada-Euan, L. M. Medina and K. L. Pasteur (1997). Bee-keeping in the Yucatan Peninsula: Development and Current Status. *Bee World*, 78, 115-27.
- González, R. R. (2011). Distribución y diversidad de las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en el Jardín Botánico Regional Xiitbal Neek. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yucatán. 65 p.
- López, N.Y. (1994). Cantidad y calidad el néctar producido por tres especies de plantas de la familia Polygonaceae. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. p. 50.
- McClung, C. R. (2006). Plant Circadian Rhythms. *Plant Cell* ,18, 792-803.
- Pontin, D.R., M.R. Wade. P. Kehrli and S.D. Wratten (2006). Attractiveness of single and multiple species flower patches to beneficial insects in agroecosystems. *Annals of Applied Biology*, 148, 39-47.
- Roubik, D.W and S.L. Buchmann (1984). Nectar selection by *Melipona* and *Apis mellifera* (Himenóptera: Apidae) and the ecology of nectar intake by bee colonies in a tropical forest. *Oecologia*, 61, 1-10.
- Van Doorn, W.G. and U. Van Meeteren (2003). Flower opening and closure: a review. *Journal of Experimental Botany*, 54, 1801-1812.
- Villanueva-Gutiérrez, R., B. Moguel-Ordóñez, C. M. Echazarreta-González and G. Arana-López (2009). Monofloral honeys in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Grana*, 48, 214-223.
- Winston, M.L. (1987) *The Biology of the Honey Bee*. Harvard University Press. 294 p.