



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
INSTITUTO DE GEOLOGIA**

**“Levantamiento de un censo poblacional actual de la especie en peligro *Bletia urbana* y otras orquídeas en la Reserva Ecológica el Pedregal de San Ángel, México, D. F.”**

**TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BIOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA:  
Mario Sinaí Tinoco Juárez.**

**Tutora principal de Tesis:  
Dra. Ma. Del Pilar Ortega-Larrocea  
Instituto de Geología, UNAM**

**COMITÉ TUTOR**

**Dra. María Teresa Valverde Valdés  
Facultad de Ciencias, UNAM**

**Dr. Víctor Manuel Chávez Ávila  
Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM**

**México, D.F.**

**FEBRERO, 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
INSTITUTO DE GEOLOGIA**

**“Levantamiento de un censo poblacional actual de la especie en peligro *Bletia urbana* y otras orquídeas en la Reserva Ecológica el Pedregal de San Ángel, México, D. F.”**

**TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BIOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA:  
Mario Sinaí Tinoco Juárez.**

**Tutora principal de Tesis:  
Dra. Ma. Del Pilar Ortega-Larrocea  
Instituto de Geología, UNAM**

**COMITÉ TUTOR**

**Dra. María Teresa Valverde Valdés  
Facultad de Ciencias, UNAM**

**Dr. Víctor Manuel Chávez Ávila  
Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM**

**México, D.F.**

**FEBRERO, 2014**



Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión de subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 28 de octubre de 2013, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **Maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental)** del alumno **Tinoco Juárez Mario Sinai** con número de cuenta **94145858** con la tesis titulada **"Levantamiento de un censo poblacional actual de la especie en peligro *Bletia urbana* y otras orquídeas en la reserva ecológica el Pedregal de San Angel, México, D.F."**, realizada bajo la dirección de la **Dra. María del Pilar Ortega Larrocea**:

**Presidente:** Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia  
**Vocal:** Dr. José Raventós Bonvehí  
**Secretario:** Dr. Víctor Manuel Chávez Ávila  
**Suplente:** Dr. Eloy Solano Camacho  
**Suplente:** Dra. María Teresa Valverde Valdés

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 27 de enero de 2014.

**DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA**  
**COORDINADORA DEL PROGRAMA**

c.c.p. Expediente del interesado

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por haberme brindado las facilidades necesarias para el desarrollo de esta maestría como parte de mi formación académica.

Al Consejo Nacional de ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado la beca No. 290541.

Este proyecto fue financiado por PAPIIT-IT101-8012 DGAPA-UNAM.

Al Instituto de Geología por la beca que me facilitó como tesista para poder concluir el manuscrito, también por todas las facilidades de acceso a las instalaciones y los recursos que otorgó para la realización del trabajo de campo así como el de laboratorio.

A la Dra. María del Pilar Ortega Larrocea por todo el apoyo, la paciencia y también la confianza que me tuvo en que concluiría esta tesis a pesar de los altibajos que tuve durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

A los integrantes de mi Comité Tutorial, la Dra. Ma. Teresa Valverde Valdés, y el Dr. Víctor Manuel Chávez Ávila, quienes a su vez integraron el jurado para la revisión de mi tesis junto con la Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia, el Dr. José Raventós Bonvehi y el Dr. Eloy Solano Camacho, gracias por haberme apoyado, aconsejado y guiado en este proceso.

A la CONABIO por otorgar las imágenes tipo LANDSAT ETM que coadyuvaron a la delimitación de las áreas de muestreo.

Al Dr. Antonio Lot Helgueras, secretario ejecutivo de la REPSA y quien otorgó los permisos necesarios para poder acceder a la reserva y realizar el trabajo de campo.

Al Dr. Gerardo A. Salazar, Jefe del Herbario Nacional del Instituto de Biología de la UNAM, por el apoyo brindado en la determinación de algunas de las orquídeas registradas.

A la M. en C. Kumiko Shimada así como a los laboratoristas Lucero y don Roberto, les agradezco todo el apoyo que me brindaron para realizar los análisis de suelo.

A la M. en C. Iris Suárez Quijada y M. en C. Mónica Rangel Villafranco por su apoyo técnico en el transcurso de este trabajo.

A Andrés Gilberto Mondragón Riverón por el invaluable apoyo que me brindaste durante la fase de exploración en campo, en verdad te agradezco el haber contado con tu compañía y consejos. Eu.

Al Fís. Nicolás Delgado Medina quien me acompañó en los recorridos de exploración en la reserva en las últimas etapas del muestreo.

A mis compañeras y amigas del laboratorio: Mónica Rangel, Frédérique Reverchon, Iris Suárez, Lorena Segura, por esos momentos felices que pasamos en el laboratorio de microcosmos, por la amistad y cariño que se dio entre todos y que nos hizo conformar un buen equipo de trabajo.

A mis compañeros y hermanos de lucha quienes siempre me apoyaron durante la realización de este proyecto.

A mis compañeros y amigos de la facultad, de la maestría, de los diferentes trabajos que he tenido y de las redes sociales que estuvieron siempre pendientes y animándome a que terminara este manuscrito, sus palabras y apoyo fueron muy importantes para mí, muchas gracias.

## DEDICATORIAS

A Dios, ese ser supremo que rige y le da un orden a este universo, esa fuerza misteriosa y poderosa que siempre ha estado presente a lo largo de mi vida.

A mis padres Alma y Francisco por todo el apoyo y amor incondicional que me han brindado durante toda mi vida, gracias por haberme ayudado e impulsado en toda mi formación académica. Hoy puedo decirles: misión cumplida.

A mi hermano Carlos con cariño y admiración por lo que has podido lograr en tu vida, seguiremos caminando juntos y hacia adelante.

A toda mi familia que siempre me estuvo apoyando y animando a continuar con este proyecto hasta su conclusión.

A mí mismo, porque a pesar de todos los pormenores tuve la convicción, la fuerza y la capacidad de llevar adelante este trabajo hasta el final. He cumplido

***NUESTRA RECOMPENSA SE ENCUENTRA  
EN EL ESFUERZO.***

***UN ESFUERZO TOTAL ES UNA VICTORIA  
COMPLETA***

*Mahatma Gandhi*

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN-----	i
ABSTRACT-----	ii
I. INTRODUCCION-----	1
II. ANTECEDENTES-----	3
2.1. La familia <i>Orchidaceae</i> en la Reserva Ecológica el Pedregal de San Ángel (REPSA).	
2.2. Estudios poblacionales en orquídeas.-----	8
2.3. Importancia para la conservación in situ.-----	11
2.4. <i>Bletia urbana</i> Dressler.-----	13
III. JUSTIFICACIÓN-----	16
IV. OBJETIVOS-----	18
4.1. Objetivo general.	
4.2. Objetivos particulares.	
V. METODOLOGIA-----	19
5.1. Selección de líneas de Canfield para el muestreo.	
5.2. Registro de las poblaciones de orquídeas.	
5.3. Registro de datos para determinar la estructura poblacional de <i>Bletia urbana</i> .--	23
5.4. Registro de datos ambientales (vegetación asociada, suelo, temperatura, precipitación, radiación fotosintéticamente activa).-----	25
5.5. Análisis de laboratorio de las muestras de suelo.	
VI. RESULTADOS-----	26
6.1. Riqueza y composición de la comunidad de orquídeas.	
6.2. La población de <i>Bletia urbana</i> en la REPSA.-----	29
6.3. Variables edáficas y ambientales.-----	35
6.4. Análisis demográfico.-----	39
6.5. Análisis de las matrices de transición de Leslie.-----	41
VII. DISCUSION-----	50
7.1. La comunidad de orquídeas en la REPSA.	
7.2. La población de <i>Bletia urbana</i> .-----	53
VIII. CONCLUSIONES-----	59
IX. LITERATURA CITADA-----	60

## RESUMEN

Se realizó un censo demográfico de orquídeas en las tres zonas núcleo de la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel, considerada un refugio de la orquideoflora del Valle de México. El muestreo permitió explorar representativamente la superficie de cada zona a través de líneas de Canfield trazadas equidistantemente. Por la inaccesibilidad de muchos sitios, se exploraron zonas entre las líneas de Canfield registrando parches muy diversos con orquídeas.

El muestreo de abundancia se realizó en la época de lluvias de junio a septiembre del año 2009, registrando un total de 18 especies en las tres zonas. Las tres orquídeas más abundantes fueron *Habenaria novemfida*, seguida de *Bletia campanulata* y en tercer lugar *Bletia urbana*, con poblaciones de más de dos mil individuos. En la zona entre las líneas de Canfield recorridas, se encontró una población de *Bletia coccinea*, orquídea que no se había registrado en los listados de la Reserva. Se calculó la diversidad de las especies encontradas en las tres zonas núcleo siendo el Jardín Botánico el más diverso y grande en extensión, seguido por la zona núcleo sur-oriente que es la más pequeña. A través del índice de similitud de Sørensen, se registró que la zona sur-oriente y el espacio escultórico comparten un mayor número de especies, debido a que geográficamente formaron parte de una misma área que quedó posteriormente fragmentada por la urbanización. Si bien la riqueza de especies fue mayor en el Jardín Botánico, la abundancia para varias de las orquídeas fue mayor en el espacio escultórico.

El estudio de la población de *Bletia urbana* se realizó durante dos años en seis colonias donde se registraron datos sobre su estructura y dinámica de floración. Se encontró que la mayor parte de las colonias estuvieron formadas por ramets de nueve individuos, registrando algunas colonias muy esporádicas de hasta 189 plantas.

Mediante un análisis de regresión se pudo observar una correlación entre el tamaño de las hojas y la formación de escapos florales, habiendo individuos con hojas de 10 cm y escapo floral, la mayoría presentaron hojas en un rango de 40 a 60 cm en el evento reproductivo. Se exploró el número de cormos encontrando ramets de hasta 12 cormos y un promedio de 10 años de edad, lo que establece que gran parte de las colonias actualmente observadas en la Reserva se establecieron hace menos de veinte años. Con ello y el número de semillas generadas en promedio por las cápsulas, se calculó la lambda poblacional en donde se mantuvieron constantes algunas de las variables como número de semillas, sus probabilidades de germinación y de supervivencia. Estas dos últimas fueron las que pudieran contribuir a que a que la población pudiera incrementarse en el tiempo.

Por último, se realizaron análisis de microclima para estos sitios al igual que análisis de suelo para varias de las colonias localizadas en las zonas núcleo. Se observó que las zonas topográficamente más bajas correspondientes al espacio escultórico y la zona suroriente presentaron temperaturas máximas y mínimas de mayores intervalos, siendo sitios más extremos, así como con una mayor intensidad lumínica. El análisis de los suelos indicó que el contenido de P y C por ejemplo, varió ligeramente entre sitios, siendo también más ricos en el Jardín Botánico.

## ABSTRACT

A demographic study in the Ecological Reserve El Pedregal de San Angel was performed, one of the richest places of orchid flora of the Valley of Mexico. By sampling representatively the surface of each one of the three zones of the site through lines of Canfield drawn equidistantly. At the inaccessibility of many sites, areas between the lines of Canfield were explored, recording diverse patches of orchids.

Sampling was conducted in the rainy season from June to September of 2009, recording a total of 18 species in all three areas. The three most abundant species were *Habenaria novemfida*, followed by *Bletia campanulata* and *Bletia urbana* with populations of more than two thousand individuals. In the area between the lines of Canfield, a population of *Bletia coccinea* was discovered being the first record for this species in the place. The diversity of species found in the three core areas was calculated, being the most diverse and largest botanical garden extension, followed by the south- eastern nucleus like the smallest. Through Sørensen index, the similarity of the zones was high between South Eastern Area and Sculptural Space sharing a greater number of species. This could be because geographically where part of the same area that was subsequently fragmented by urbanization. Although species richness was higher in the Botanical Garden, the abundance for several of the orchids was higher in the Sculptural Space.

The study of *Bletia urbana* took place over two years in six colonies where the structure and population dynamics were recorded. It was found that most of the colonies were formed by Ramets formed by nine individuals and some very sporadic colonies of 189 plants.

Using regression analysis a correlation was found between the size of the leaves and formation of floral structures: individuals having leaves of 10 cm long start to develop floral structure, most of them presented leaves in a range of 40 to 60 cm in the reproductive event. The number of subterranean corms reveals ramets up to 12 corms and an average of 10 years after germination, which provides that much of the colonies observed currently in the Reserve were established less than twenty years ago. With this and the number of seeds generated on average per capsules, was calculated population lambda where some variables as seed number, germination probability and survival were explored. The two latter were the events that could contribute to an increase of population over time.

Finally, an analysis of microclimate conditions for the three zones, as well as soil properties where several *Bletia urbana* colonies were found was performed. It was found that the topographically lower areas for the Sculptural Space and the South Eastern Area had the maximum and minimum temperatures for longer intervals, as well as a greater light intensity being areas more xeric than the Botanical Garden where more trees are established. The soil analysis indicated that the content of P and C for example, varied slightly between sites, being also rich in the Botanic Garden.

## I. INTRODUCCIÓN

El relieve mexicano se ha originado en su mayor parte por la actividad de origen volcánico que revela un intenso dinamismo de su superficie y que explica en parte una gran diversidad de condiciones ambientales (Guevara, 1999). Esto permite la manifestación de endemismos más frecuentes en los matorrales xerófilos y los pastizales (Rzedowski, 1991). La flora de la cuenca de México presenta afinidades tropicales y templadas en los innumerables hábitats que por su aislamiento entre sí, favorecen el mantenimiento y aumento de la diversidad biológica (Guevara, 1999). Tal es el caso de la vegetación de la Faja Volcánica Transmexicana que cubre varios de los conos de reciente erupción en el campo volcánico del Chichinautzin dando lugar al Corredor Biológico del mismo nombre que alberga el 2% de la biodiversidad de México. La conservación de la biodiversidad en esta zona volcánica es prioritaria, debido a que gran parte de los derrames volcánicos de este campo, son zonas que colindan con la Ciudad de México, una de las metrópolis más grandes y de mayor urbanización en el mundo. Una de las estrategias para la conservación de la biodiversidad en esta área ha sido establecer parques nacionales, refugios de fauna, reservas forestales, sitios de patrimonio mundial, jardines botánicos, zoológicos y reservas urbanas (Gómez-Pompa, 1998).

La importancia del establecimiento de áreas naturales protegidas radica en que la mayoría de las especies endémicas están amenazadas y dentro de éstas, las orquídeas son las plantas más vulnerables. Esto a pesar de que la familia *Orchidaceae* es la más diversa entre las angiospermas, pues su riqueza se estima en 800 géneros y alrededor de 25 000 especies en el mundo (Dressler, 1993; Espejo *et al.*, 2002; Dixon *et al.*, 2003). México alberga 6% de la diversidad total de orquídeas del planeta, con 60% de endemismos (Hágsater *et al.*, 2005; Soto-Arenas *et al.*, 2007). La extinción de una o varias especies de orquídeas en un ecosistema afecta a otros organismos, entre ellos a los polinizadores específicos de estas plantas, los animales que depredan a éstos, los hongos micorrízicos orquideoides sin los cuales las semillas no pueden germinar y el papel de estos hongos en los ciclos biogeoquímicos (Ortega-Larrocea y González, 2008). Alrededor del 70% de las

orquídeas han desarrollado hábito epífita y el resto son terrestres, entre ellas los géneros *Bletia* y *Dichromanthus*, cuyo centro de diversidad de varias especies es México (Salazar, 2009). Las orquídeas de la cuenca de México crecen a una altitud de 2200 a 2800 m principalmente, algunas se desarrollan a 3500 m. Las orquídeas dentro de esta cuenca se asocian a climas con lluvias en verano, invierno frío; verano con promedio anual de temperatura entre 12 y 18 °C; con pocas variaciones del promedio mensual (entre 5 y 7 °C). Se han descrito géneros polimorfos por ejemplo: *Habenaria*, a cuyo polimorfismo se agrega el alto índice de hibridación natural (Peña, 1989). El género *Malaxis* se encuentra bien representado dentro de la cuenca, especialmente es afín a bosques húmedos en suelos ácidos ricos en materia orgánica (Peña, 1989). Un estudio reciente de la biodiversidad de orquídeas en el Distrito Federal (Salazar *et al.*, en prensa) mencionó que tres especies nativas del Distrito Federal están incluidas en alguna categoría de riesgo y que dada la tasa de crecimiento del área urbana, al menos 19 especies de orquídeas están en riesgo de desaparecer y otras ocho podrían ya estar extintas localmente. Uno de los hábitats considerado como un refugio para la orquideoflora del Valle de México es la Reserva Ecológica el Pedregal de San Ángel (REPSA) (Téllez-Velazco y Flores-Villanueva, 2007). La información generada sobre las orquídeas en la REPSA incluye casi exclusivamente listados florísticos y los estudios biológicos son pocos. Una de las problemáticas principales para conservar este grupo de plantas es la falta de estudios sobre la dinámica de sus poblaciones o contribuciones sobre su abundancia relativa.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. La familia Orchidaceae en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA)

La reserva urbana el Pedregal de San Ángel, localizada dentro de los terrenos de la Universidad Nacional Autónoma de México presenta como tipo de vegetación un matorral xerófilo de alta riqueza florística considerado ya como relictual por la urbanización y fragmentación (Valiente-Banuet y De Luna, 1994; Lot y Cano-Santana, 2009). El Pedregal de San Ángel o Pedregal del Xitle es un ecosistema que originalmente tenía una extensión aproximada de 80 km<sup>2</sup> (Castillo *et al.*, 2004), cubierto con un sustrato basáltico producto de una de las erupciones volcánicas más recientes que ha habido en el Valle de México, al cual se le ha calculado una edad de 1670 ± 35 años (Siebe, 2009). El pedregal presenta una geomorfología muy variada que se ha clasificado en siete tipos diferentes: sitios planos, promontorios, hondonadas, grietas, oquedades, paredes y cuevas (Castillo, 2007). Esta condición ecológica favoreció el establecimiento de un ambiente natural seco, en donde la vegetación que se estableció es similar a la de las zonas áridas, a pesar de ubicarse en una zona templada y a una altitud de 2 240 m (Mera *et al.*, 2002).

En el Pedregal se da un clima templado con régimen de lluvias de verano en donde la vegetación está constituida principalmente por el matorral denominado *Senecionetum praecocis*, también conocido como matorral de palo loco o malpaís de palo loco, porque la especie que fue más abundante cuando se describió era *Senecio praecox* (actualmente *Phytocaulum praecox*) (REPSA, 2013). Entre las plantas más comunes del Pedregal deben citarse dentro de la vegetación autóctona a *Quercus rugosa*, *Pinus* spp., *Eysenhardtia polystachya*, *Prosopis juliflora*, *Acacia* spp., *Mimosa* spp. y *Muhlenbergia robusta*. También son abundantes algunas especies introducidas como *Ligustrum lucidum*, *Jacaranda mimosifolia*, *Fraxinus udhei*, *Casuarina equisetifolia*, *Araucaria excelsa* y *Eucalyptus globulus* (Castillo-Argüero *et al.*, 2009). Debido a que el grosor de la lava no permite establecer contacto entre la capa superficial y el suelo anteriormente establecido, las

plantas se tienen que adaptar a las condiciones adversas de la superficie rocosa. Cuando la cubierta basáltica es delgada, de manera que cualquier grieta o hendidura permite el paso de las raíces hacia el suelo situado por debajo, se establece el estrato arbóreo formado por *Quercus rugosa*, que en general, es escaso y ya casi inexistente en las zonas núcleo. Los límites altitudinales de la REPSA se establecen entre los 2200 a 2277 m, con una precipitación anual de 700 a 900 mm y una temperatura promedio anual de 14 a 15 °C (REPSA, 2013).

La creación de la REPSA en el año de 1983 dentro del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM, respondió principalmente a la amenaza de la desaparición de este ecosistema, asimismo se concretó debido a la acción conjunta de diversas instituciones que han establecido diversos acuerdos para delimitar la misma (Lot y Camarena, 2009).

En el último acuerdo que se celebró el 2 de junio de 2005, se rezoneificó e incrementó la superficie para quedar conformada por 237 ha, 3 323 m<sup>2</sup> de acuerdo a colindancias elaboradas a partir de técnicas aerofotogramétricas y GPS diferencial de alta precisión (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009). En ella, se reconocen tres zonas núcleo constituidas por 171 ha, 1 409 m<sup>2</sup> y 13 zonas de amortiguamiento por 66 ha, 1 914 m<sup>2</sup> (figura 1). Recientemente la REPSA fue incorporada al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, en la categoría de Reserva Natural Urbana (ReNU) (REPSA, 2013).



**Figura 1.** Zonas núcleo actualmente delimitadas en la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel (Fuente: Portal de la REPSA, 2013).

Las zonas núcleo se encuentran delimitadas en color rojo y cubren una superficie de 171 hectáreas, mientras que las zonas de amortiguamiento son delimitadas en azul claro y representan un área de 66 hectáreas.

Dentro del Pedregal, las orquídeas se asociaron al matorral de senecio, al *Quercetum* y al zacatón (*Muhlenbergia robusta*), entre otras especies vegetales. Diversos estudios han documentado la diversidad de especies de orquídeas en la REPSA (Figura 2) y la mayor parte coincide con un número aproximado entre 17 y 24 especies. Las inconsistencias en los números son debidas a las sinonimias o a un solo registro que no ha sido posteriormente confirmado o al cambio en la taxonomía de las especies (Salazar, 2009). Cinco especies ya se consideran extintas (Hágsater *et al.*, 2005) y varias en un alto grado de amenaza como el caso de *Bletia urbana* (NOM-059- ECOL-2001), cuya amenaza es posible que no deba ser considerada a nivel nacional, pues es abundante en la Mixteca Oaxaqueña (Salazar *et al.*, en prensa). Como se mencionó en la Introducción, no existe

para ninguna de las orquídeas de la REPSA algún estudio demográfico que permita conocer la abundancia de las especies.

A través de comunicaciones personales con los estudiosos de este grupo de plantas, se sabe si las poblaciones son abundantes o raras, lo que pone en serias dificultades protocolos de rescate y acciones que permitan considerar a alguna de ellas en peligro de extinción con base en estimaciones actuales.

Para la única especie que está sujeta a protección dentro de la legislación mexicana, *B. urbana*, recorridos de varios años han permitido registrarla frecuentemente a diferencia de otras especies del mismo género difíciles de hallar (P. Ortega-Larrocea, O. Téllez, comunicaciones personales).

Dada la gran vulnerabilidad del grupo por varias condiciones de impacto ambiental y depredación humana, urge comenzar a generar estudios sistemáticos que nos permitan tener datos para un plan de conservación para las que se encuentren más vulnerables ya sea por su biología o por su baja resistencia al impacto ambiental.

**Figura 2. Listados de la orquideoflora registrada en la REPSA en la Ciudad Universitaria de la UNAM\***

Rzedowski, 1954	Diego, 1970	Álvarez et al., 1982	Panti, 1984	Valiente-Banuet y de Luna, 1990	Rojo, 1994
<i>Bletia reflexa</i>	<b>Bletia urbana</b>	<i>Bletia campanulata</i>	<b>B. urbana</b>	<i>Bletia campanulata</i>	<i>Bletia reflexa</i>
<i>Cranichis schaffneri</i>	<i>Habenaria clypeata</i>	<i>B. punctata</i>	<i>Govenia superba</i>	<i>B. punctata</i>	<i>Cranichis schaffneri</i>
<i>Govenia liliacea</i>	<i>H. entomantha</i>	<i>B. purpurata</i>	<i>Habenaria novemfida</i>	<i>B. purpurata</i>	<i>Govenia liliacea</i>
<i>Habenaria clypeata</i>	<i>Malaxis carnosa</i>	<b>B. urbana</b>	<i>Malaxis carnosa</i>	<i>B. reflexa</i>	<i>Habenaria clypeata</i>
<i>H. entomantha</i>	<i>Spiranthes aurantiaca</i>	<i>Cranichis schaffneri</i>	<i>M. myurus</i>	<b>B. urbana</b>	<i>H. entomantha</i>
<i>H. novemfida</i>	<i>S. cinnabarina</i>	<i>Cyrtopodium punctatum</i>	<i>Spiranthes aurantiaca</i>	<i>Cranichis schaffneri</i>	<i>H. novemfida</i>
<i>Liparis vexillifera</i>	<i>S. llaveana var. violacea</i>	<i>Epidendrum anisatum</i>	<i>S. cinnabarina</i>	<i>Cyrtopodium punctatum</i>	<i>Liparis vexillifera</i>
<i>Malaxis carnosa</i>	<i>S. polyantha</i>	<i>Govenia superba</i>	<i>S. llaveana var. violacea</i>	<i>Epidendrum anisatum</i>	<i>Malaxis carnosa</i>
<i>M. corymbosa</i>	<i>S. pyramidalis</i>	<i>Habenaria clypeata</i>	<i>S. polyantha</i>	<i>Govenia superba</i>	<i>M. corymbosa</i>
<i>M. fastigiata</i>	<i>S. schaffneri</i>	<i>H. entomatha</i>	<i>S. schaffneri</i>	<i>Habenaria clypeata</i>	<i>M. fastigiata</i>
<i>M. myurus</i>		<i>Malaxis carnosa</i>	<i>Triphora trianthophora</i>	<i>H. entomatha</i>	<i>M. myurus</i>
<i>Spiranthes aurantiaca</i>		<i>M. fastigiata</i>		<i>Malaxis carnosa</i>	<i>Spiranthes aurantiaca</i>
<i>S. cinnabarina</i>		<i>M. myurus</i>		<i>M. fastigiata</i>	<i>S. cinnabarina</i>
<i>S. llaveana</i>		<i>Schiedella hyemalis</i>		<i>M. myurus</i>	<i>S. llaveana</i>
<i>S. llaveana var. violacea</i>		<i>Sch. pyramidalis</i>		<i>Schiedella hyemalis</i>	<i>S. llaveana var. violacea</i>
<i>S. polyantha</i>		<i>Spiranthes polyantha</i>		<i>Sch. llaveana</i>	<i>S. polyantha</i>
<i>S. pyramidalis</i>				<i>Sch. pyramidalis</i>	<i>S. sarcoglissa</i>
<i>S. sarcoglissa</i>				<i>Spiranthes polyantha</i>	<i>S. schaffneri</i>
<i>S. schaffneri</i>				<i>S. schaffneri</i>	
				<i>Stenorhynchus aurantiacum</i>	
				<i>St. cinnabarinum</i>	
				<i>Triphora mexicana</i>	
<b>7 géneros</b> <b>19 especies</b>	<b>4 géneros</b> <b>10 especies</b>	<b>9 géneros</b> <b>16 especies</b>	<b>6 géneros</b> <b>11 especies</b>	<b>11 géneros</b> <b>22 especies</b>	<b>7 géneros</b> <b>18 especies</b>

Sarmiento, 1995	Castillo et al., 2004	Hågsater et al., 2005	Flores, 2006	Salazar, 2009
<i>Govenia superba</i>	<b>B. urbana</b>	<i>Aulosepalum pyramidale</i>	<i>Bletia campanulata</i>	<i>Aulosepalum pyramidale</i>
<i>Malaxis carnosa</i>	<i>Govenia superba</i>	<i>Bletia campanulata</i>	<i>B. reflexa</i>	<i>Bletia campanulata</i>
<i>M. myurus</i>	<i>Habenaria novemfida</i>	<i>Bletia macristhmochila</i>	<i>B. macristhmochila</i>	<i>B. macristhmochila</i>
<i>Spiranthes aurantiaca</i>	<i>Malaxis carnosa</i>	<i>Bletia punctata</i>	<b>B. urbana</b>	<i>B. neglecta</i>
<i>S. cinnabarina</i>	<i>M. fastigiata</i>	<i>Bletia purpurata</i>	<i>Brachystele polyantha</i>	<i>B. punctata</i>
<i>S. polyantha</i>	<i>M. myurus</i>	<b>B. urbana</b>	<i>Galettia sarcoglissa</i>	<i>B. purpurata</i>
<i>S. pyramidalis</i>	<i>Ponthieva schaffneri</i>	<i>Cyrtopodium macrobulbon</i>	<i>Deiregyne pyramidalis</i>	<b>B. urbana</b>
<i>S. schaffneri</i>	<i>Spiranthes aurantiaca</i>	<i>Deiregyne confusa</i>	<i>Dichromanthus aurantiacus</i>	<i>Cyrtopodium macrobulbon</i>
	<i>S. cinnabarina</i>	<i>Deiregyne albavaginata</i>	<i>D. cinnabarinus</i>	<i>Deiregyne albavaginata</i>
	<i>S. llaveana</i>	<i>Dichromanthus aurantiacus</i>	<i>Govenia superba</i>	<i>D. confusa</i>
	<i>S. polyantha</i>	<i>Dichromanthus cinnabarinus</i>	<i>G. lagenophora</i>	<i>Dichromanthus aurantiacus</i>
		<i>Epidendrum anisatum</i>	<i>Habenaria guadalajarana</i>	<i>D. cinnabarinus</i>
		<i>Govenia lagenophora</i>	<i>H. novemfida</i>	<i>Epidendrum anisatum</i>
		<i>Habenaria filifera</i>	<i>Malaxis carnosa</i>	<i>Govenia lagenophora</i>
		<i>Habenaria novemfida</i>	<i>M. ehrenbergii</i>	<i>Habenaria clypeata</i>
		<i>Habenaria strictissima</i>	<i>M. fastigiata</i>	<i>H. novemfida</i>
		<i>Liparis greenwoodiana</i>	<i>M. myurus</i>	<i>H. strictissima</i>
		<i>Malaxis carnosa</i>	<i>Sarcoglottis schaffneri</i>	<i>H. aff. filifera</i>
		<i>Malaxis myurus</i>	<i>Schiedeella albavaginata</i>	<i>Liparis greenwoodiana</i>
		<i>Malaxis xerophylla</i>	<i>Sch. confusa</i>	<i>Malaxis carnosa</i>
		<i>Mesadenus polyanthus</i>	<i>Sch. llaveana</i>	<i>M. myurus</i>
		<i>Ponthieva schaffneri</i>	<i>Triphora trianthophora</i>	<i>M. rodriguezana</i>
		<i>Sarcoglottis schaffneri</i>		<i>Mesadenus polyanthus</i>
		<i>Schiedeella llaveana</i>		<i>Microthelys minutiflora</i>
		<i>Triphora trianthophora</i>		<i>Ponthieva schaffneri</i>
				<i>Sarcoglottis schaffneri</i>
				<i>Schiedeella crenulata</i>
				<i>S. llaveana</i>
				<i>Triphora trianthophora</i>
<b>3 géneros</b> <b>8 especies</b>	<b>6 géneros</b> <b>11 especies</b>	<b>15 géneros</b> <b>25 especies</b>	<b>11 géneros</b> <b>22 especies</b>	<b>16 géneros</b> <b>29 especies</b>

\* Modificado de Flores (2006).

## 2.2. Estudios poblacionales en orquídea.

La distribución de las orquídeas terrestres ha sido poco entendida dada la dificultad de observar el reclutamiento natural de sus individuos. Han sido consideradas biológicamente como plantas raras (Swartz y Dixon, 2009), cuya distribución y estructura poblacional está mediada por asociaciones simbióticas (Waterman y Bidartondo, 2007). El tamaño de las semillas de las orquídeas es diminuto y es el más pequeño de todas las plantas. La ausencia de endospermo ha sido resultado de una estrategia adaptativa que favorece la formación de miles de semillas en un solo fruto, dispersándose a grandes distancias aunque con una bajísima supervivencia (Batty *et al.*, 2001). Se postula que la germinación ocurre solamente cuando se encuentra un hongo micorrízico favorable, lo que permite el desarrollo de los protocormos, que aun cuando hayan germinado, forman plántulas diminutas con alta susceptibilidad a desecarse. La formación de un cormo o rizoma de almacenamiento, garantiza la supervivencia a largo plazo de las plantas, aunque dificulta su localización en época de secas cuando las estructuras foliares han desaparecido. Algunos rizomas producen crecimientos simpodiales que se extienden en el suelo a razón de un pseudobulbo por año, lo que permite contar la edad aproximada de las plantas desde la germinación. En algunas se pueden generar hojas de varios pseudobulbos conectados por debajo del suelo, dando la impresión al emerger que proceden de individuos diferentes. Estas dificultades han propiciado que la mayor parte de los estudios poblacionales en orquídeas, se hayan desarrollado para especies epifitas, donde el reclutamiento de las plántulas alrededor de las raíces en los troncos de los forofitos, tanto como el número de brotes de las plantas adultas, son fácilmente reconocidos, marcados y con la posibilidad de ser monitoreados a largo plazo (Trembley y Ackerman, 2003; Gawenda *et al.*, 2012). La distribución tridimensional de las epifitas a lo largo de un gradiente vertical en los forofitos, ha traído también como consecuencia que se puedan estudiar a las familias de plantas a lo largo de este gradiente y poder determinar con mayor precisión la estructura poblacional a fina escala (Trapnell *et al.*, 2004). Chung *et al.* (2004) estudiaron la genética poblacional en una orquídea terrestre

argumentando que aun cuando la dispersión de las semillas podría reclutar plantas a distancias considerables, la mayoría de los individuos tenían la misma estructura genética en un diámetro menor a 10 m. Sin embargo, en colonias de orquídeas epifitas, la variabilidad genética intercolonia fue considerable debido al efecto nicho originado por la germinación de las semillas en las raíces de individuos ya establecidos (Trapnell *et al.*, 2004). Los ramets que constituyen a estas colonias pueden presentar discontinuidad y ser separados físicamente por el crecimiento intercolonia de otros individuos con una estructura genética diferente, o por el del crecimiento de semillas de diversos orígenes en un microambiente al establecerse la colonia, y no saber que lo que se considera como un ramet pueda en realidad incluir varios genets. En la mayoría de las orquídeas terrestres, la colonia o ramet es considerada como el individuo o planta (Kéry y Gregg, 2003).

En las orquídeas terrestres, la acumulación de carbohidratos almacenados en estructuras subterráneas como resultado de la fotosíntesis, se traslocan para mantener el crecimiento y reproducción. La floración depende del desarrollo que hayan alcanzado las plantas y también se ha relacionado con un umbral de área foliar concerniente con la capacidad fotosintética de las plantas ya sea en la época de floración o a la siguiente (Willems y Dorland, 2000). Sin embargo, no en todas las orquídeas se debe alcanzar un umbral en talla para que inicie la floración, lo que sugiere que la inducción de la misma puede ocurrir antes de que las plantas lleguen a esta transición de juveniles a un estado reproductivo (Willems y Dorland, 2000). Una vez que las plantas alcanzaron su madurez, pueden florecer todos los años hasta que declinen fisiológicamente o envejecan, en este tipo de orquídeas, la floración puede variar mucho año con año, posiblemente en parte como respuesta a los factores ambientales (luz y temperatura), ocasionando que su floración sea discontinua (Willems y Dorland, 2000).

Aunada a la extrema variabilidad que producen los efectos del clima en la floración, las historias de vida en las orquídeas terrestres varían mucho entre géneros (Willems y Dorland, 2000). Los estudios demográficos permiten entender cómo las poblaciones naturales de orquídeas cambian en su tamaño y estructura a lo largo del tiempo, a pesar de que requieren de muchos años para poder completarse (Hutchings,

2010). La demografía es la clave para analizar la variación temporal y espacial en la abundancia de una especie y es realizada a través del censo en parcelas que son representativas de la población y permiten el conteo de individuos una o varias veces a lo largo de su crecimiento poblacional. Esto permite generar modelos de matrices poblacionales en donde se observa la supervivencia, el reclutamiento y los estados transicionales entre varias categorías para proyectar su dinámica (Kéry y Gregg, 2003). Con esto, se pueden establecer categorías en las colonias formadas por categorías principales de juveniles, o poblaciones maduras con estadios intermedios entre seniles, juveniles y poblaciones senescentes. Willems y Dorland (2000) estudiaron por 18 años consecutivos la dinámica poblacional de la orquídea terrestre *Spiranthes spiralis*, concluyendo que posiblemente para esta especie, este número de años fue insuficiente para poder concluir varios aspectos de su historia de vida, ya que en este periodo no observaron ninguna mortalidad por causas naturales o atribuibles a la senescencia de las plantas. Kull (2002) enlistó la demografía que se ha realizado para varias especies de orquídeas de climas templados. Derivados de estos estudios, para algunas surgieron estudios posteriores en los que se levantaron censos poblacionales de varias especies, en los que la mayoría de éstos cubrieron poblaciones muy pequeñas y periodos muy cortos (Shefferson *et al.*, 2003). Existen dos formas de estudiar las tendencias poblacionales en este grupo basadas en modelos de matrices (*Matrix Models*) para estudios a corto plazo y de conteo (*Counted Based Models*) para estudiar tendencias generales y la magnitud de fluctuaciones en estudios a largo plazo (García *et al.*, 2010). Estos últimos estudios permiten integrar más factores que influyen el crecimiento, floración, producción de semillas, dispersión, reclutamiento y formación de nuevas colonias en las orquídeas (Hutchings, 2010). Los estudios demográficos son necesarios para poder generar herramientas de conservación (Whigham y Willems, 2003), sobre todo de aquellas orquídeas que se encuentran bajo una seria amenaza de extinción (Swarts y Dixon, 2009).

### 2.3. Importancia para la conservación *in situ*

La conservación de las orquídeas así como la de otras plantas amenazadas, requiere del uso de varias técnicas de propagación y estrategias de manejo de las poblaciones. Las estrategias a menudo involucran el cuidado del ecosistema donde se encuentran (conservación *in situ*) y pueden ser reforzadas mediante prácticas de almacenamiento de germoplasma en bancos, jardines botánicos u otros hábitats (conservación *ex situ*) (Seaton *et al.*, 2010). La reintroducción de especies mediante la propagación a partir de semillas en el laboratorio es una alternativa prometedora que permite realizar ambas estrategias. Sin embargo, además de las dificultades técnicas que puede tener la propagación y que varían dependiendo de la especie de orquídea, los factores que inciden en la supervivencia de las plantas al ser reintroducidas, tanto como el número de plantas que se necesita reintroducir para estabilizar las poblaciones, son aspectos que requieren investigación para lograr propuestas de manejo adecuadas para una especie (Yam *et al.*, 2010, Zettler *et al.*, 2011). Un gran número de plántulas se puede obtener de la germinación asimbiótica de las semillas *in vitro* y podría permitir cierto grado de variabilidad genética en especies con entrecruzamientos; sin embargo, la supervivencia de las plantas a largo plazo tiende a disminuir drásticamente a lo largo del tiempo. Zettler (2008) sostuvo que la propagación asistida con hongos micorrízicos o simbiótica, permite aumentar de manera significativa la supervivencia de las plantas, lo que favorece la conservación de las especies a largo plazo. Sin embargo, cualquiera de las estrategias de cultivo simbiótica o asimbiótica, requerirá de estudios demográficos previos en donde se pueda determinar el número de individuos requeridos con base en datos de supervivencia y demografía, para rescatar a las poblaciones amenazadas. Establecer modelos poblacionales que permitan predecir si una población de orquídeas está en peligro de desaparecer en un corto periodo y si las orquídeas que se reintroducen estabilizarán su población a largo plazo, son fundamentales para realizar prácticas de manejo y conservación que puedan garantizar preservar a las especies en los ecosistemas vulnerables (García *et al.*, 2010). Estudios de caso han demostrado que en ocasiones se

estima que queda solamente una sola población de una especie particular en el ecosistema sin que exista la posibilidad de realizar más que una recuperación inmediata por cualquier mecanismo de propagación del germoplasma. El estudio mejor conocido es el que permitió el rescate a partir de una sola población de la orquídea más emblemática de Inglaterra considerada extinta regionalmente, *Cypripedium calceolus* (Ramsey y Stewart, 1998). El seguimiento que se le ha dado a la dinámica poblacional de los individuos reintroducidos de esta orquídea y de los factores involucrados en la conservación de su hábitat, si hubieran sido implementados con tiempo, hubieran permitido el rescate de la variabilidad genética necesaria al menos en un banco de germoplasma local (JNCC, 2007). García *et al.* (2010) realizaron estudios de dinámica poblacional en los rangos de distribución geográfica en Europa de esta especie a lo largo de trece años, encontrando que el esfuerzo de muestreo ha permitido revalorar su estatus al encontrar nuevas poblaciones. El estudio se hizo a través de dos diseños de muestreo estocásticos por conteos directos que permitieron cubrir una mayor área con un menor esfuerzo y con modelos matriciales en los que los juveniles y plántulas pudieron ser cuantificados para complementar el conteo directo, generando información complementaria sobre la estructura y dinámica poblacional de esta orquídea. Este trabajo demostró que a través de muestreos sucesivos se puede reconsiderar el estatus categórico de las poblaciones.

#### 2.4. *Bletia urbana* Dressler.

Planta herbácea, terrestre, perenne 40- 50 cm de altura. Cormo globoso 3 cm largo, 2.5 cm ancho, con raíces fibrosas. Hojas 1- 3 envainantes linear-lanceoladas, plegadas de 10- 30 cm largo. 1.2 1 2.3 cm ancho. Inflorescencia un racimo, 20 - 33 cm largo, en algunos casos se observan dos en la misma planta, bráctea 9 mm largo, 5 mm ancho. Flores 3- 8 por escapo, rosadas a amarillentas, pediceladas; sépalo dorsal 3.2- 4.2 cm largo, 8 mm ancho, porción dorsal de color rosado y la ventral amarillo-rosada; sépalos laterales de color semejante al dorsal, elípticos, 3- 4 cm largo, 1 cm ancho; los dos pétalos laterales elípticos, salmón-rosados, más coloridos hacia el ápices, 3- 4 cm largo, 1 cm ancho; labelo trilobado, risado en el ápice, rosado, amarillo por dentro, la lámina salmón oscuro, en el centro 5 lamellas (3 rosadas en el centro y 2 amarillas, una a cada lado), 2.8- 4 cm largo, 2.1- 3.1 cm ancho; columna color verde, alada, de 1.8 cm largo; antera con ocho polinias de consistencia cerosa; ovario pedicelado, 2.2 cm largo, 2 mm ancho. Fruto una cápsula, 2.6-3.6 cm largo, 5 a 7 cm ancho (Dressler, 1968) (figura 3).

*Bletia urbana* fue la primera orquídea de la REPSA en ser micropropagada asimbióticamente, por Chávez en 1980. Rubluo *et al.* (1989; 1993) reintrodujeron plántulas propagadas asimbióticamente logrando después de cuatro años, una supervivencia del 15%. En 1998 se estableció su cultivo simbiótico por Ortega-Larrocea *et al.* (2000) y años más tarde su reintroducción (Castillo, 2002). A partir de este trabajo, se han generado datos a largo plazo que permitirán evaluar la efectividad de la reintroducción simbiótica y su eficacia en la supervivencia de esta especie por un periodo de 13 años (Ortega-Larrocea y colaboradores, en proceso).

Estudios documentados de estas poblaciones en los primeros años indicaron que la supervivencia tiende a estabilizarse alrededor de un 50% y las plantas han logrado florecer y fructificar consecutivamente después de cuatro años (Ortega-Larrocea y Rangel-Villafranco, 2007).

Esta es una de las dos únicas especies que se ha catalogado en la Norma Oficial Mexicana (2002) para el este ecosistema. Su vulnerabilidad posiblemente se basó en una sola estimación poblacional durante los años cercanos a su descripción realizada por Dressler en 1968. Se describieron cuatro poblaciones relictuales con un promedio menor a 27 individuos, situación que colocaba a esta especie en la categoría de amenazada. De acuerdo con el listado florístico de Rzedowski (1954), el primero generado para la REPSA, esta especie no se registró quizá porque todavía no había sido descrita (figura 2). Diego (1970) analizó una zona de la REPSA aún no considerada como una reserva, e incluye en su listado a *B. urbana*; a partir de este estudio ya se encuentra registrada en siete de los nueve listados florísticos de orquídeas realizados.

En estudios de campo recientes (Ortega-Larrocea, *com. pers.*) se ha observado que es una especie común, por lo tanto, es posible que sea resistente al disturbio que presenta la REPSA como los incendios, contaminación, acumulación de desechos y el robo de germoplasma. Otra posibilidad es que las condiciones climáticas o biológicas hayan hecho que sus poblaciones se hayan incrementado, o bien, que la categorización inicial que hizo que se incluyera en la Norma Mexicana haya sido el resultado de una estimación inadecuada. Es muy difícil argumentar con base en los listados generados la abundancia relativa de ésta y otras especies de orquídeas en la REPSA. A la fecha no existe ningún estudio sistemático sobre su abundancia. Además, es necesario generar un censo demográfico e información sobre su fenología, que permitan contar con datos relacionados con su floración y fructificación, para garantizar la conservación de bancos de germoplasma (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009).

Se sabe que las orquídeas son sensibles a las condiciones climatológicas anuales como la cantidad y espacialidad de los periodos de lluvia que las hace vulnerables, además del ataque de diversos patógenos como hongos y larvas de insectos que devoran sus hojas, flores o frutos. Es posible que los requerimientos para que se establezcan las plantas producto de la germinación sean muy específicos ya sea por los hongos asociados (Ortega-Larrocea *et al.*, 2000; Rangel, 2004), o por condiciones del micrositio (profundidad del suelo y propiedades de la materia orgánica, cantidad de luz, condiciones de humedad y temperatura) que prevalecen en la REPSA y que han sido solo parcialmente caracterizadas para esta especie en particular (Flores, 2006).



**Figura 3.** *Bletia urbana* Dressler (Tinoco, 2006).

### III. JUSTIFICACIÓN

Durante mucho tiempo la vegetación del Pedregal se mantuvo en un estado de conservación estable hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando el desarrollo urbano de la ciudad de México alcanzó esta zona dejándola completamente fragmentada y aislada, siendo ahora un relictos del matorral xerófilo del sur de la Ciudad de México (Flores, 2006). Localidades que recientemente eran “jardines” de angiospermas han sido eliminadas; sitios donde se desarrollaban orquídeas cuyo hábitat era semiacuático y epifito han sido transformados o desaparecidos completamente; localidades con especies endémicas con una posible variación genética nunca estimada corresponden actualmente a centros recreativos; en áreas donde anteriormente se habían registrado comunidades vegetales se asientan ahora establecimientos comerciales o instalaciones de la UNAM (Lot *et al.*, 2012).

Esta amenaza no sólo impacta e impactará a las poblaciones de orquídeas, consideradas como indicadoras de estabilidad de un ecosistema, también repercutirá en sus simbiontes como los insectos polinizadores que han sido presionados a vivir en un área cada vez más reducida y también a los simbiontes micorrízicos cuya diversidad genética tampoco ha sido analizada del todo (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009).

Estos factores aunados a las presiones del cambio climático que influyen considerablemente en la biología reproductiva de las orquídeas conllevarán a una desaparición masiva de especies en este y otros ecosistemas del país (Soto-Arenas *et al.*, 2007) aun cuando hayan sido protegidos en alguna Reserva ecológica de cualquier tipo.

Sletvold *et al.* (2013) destacaron que los efectos directos e indirectos del cambio climático y el manejo en un ecosistema pueden favorecer la permanencia de ciertas especies en condiciones y sitios muy específicos, motivo por el cual las acciones de conservación sobre las especies amenazadas deben adaptarse a las condiciones locales.

En el caso de la REPSA, se ha destacado que cualquier estrategia de conservación debe incluir la estimación de la abundancia de la o las especies que se requieren rescatar aunado a otras estrategias de conservación. Si bien se hace necesario de manera urgente comenzar a realizar censos poblacionales para todas las especies de orquídeas de la REPSA, el presente estudio inicio con la única orquídea que actualmente tiene un estatus reconocido por la legislación mexicana, *Bletia urbana*.

Se plantea realizar un estudio sobre su abundancia que cubra de manera al menos parcial las principales zonas en las que se delimita actualmente a la RESPA, lo cual contribuirá de manera importante para poder estimar un número de individuos que pudieran ser reintroducidos a futuro; se consideró recorrer las zonas más vulnerables, analizar las características de asociación ambiental para esta especie y estimar la abundancia relativa de otras orquídeas encontradas paralelamente.

#### IV. OBJETIVOS.

##### 4.1. Objetivo general

Realizar un levantamiento demográfico de *Bletia urbana* y otras especies de orquídeas terrestres de la REPSA con el objeto de conocer su abundancia relativa.

##### 4.2. Objetivos particulares

- Registrar la abundancia y diversidad de *Bletia urbana* y otras orquídeas en las tres zonas núcleo de la REPSA.
- Analizar la relación de *Bletia urbana* con respecto a las condiciones edáficas, microambientales y de las especies con las que se asocia.
- Determinar cuáles son los cambios que presenta la estructura poblacional de *Bletia urbana*.

## V. METODOLOGÍA

### 5.1. Selección de líneas de Canfield para el muestreo.

La delimitación de las áreas de muestreo se llevó a cabo con la revisión de imágenes tipo LANDSAT ETM, 2002 obtenidas en la CONABIO y el programa Google Earth Pro 2008©, en donde se identificaron los polígonos de las tres zonas núcleos en las que se divide la REPSA. En cada uno de los polígonos se trazaron líneas paralelas con una distancia de 30 m entre sí que los atravesaron de extremo a extremo: de norte a sur en el caso del Espacio Escultórico (denominada zona A) y de este a oeste para las zona suroriente y Jardín Botánico (zonas B y C, respectivamente). El número total de líneas resultantes para las tres zonas núcleo fue de 137 (figura 4).

Para que el muestreo abarcara la mayor superficie posible dentro de cada zona núcleo, en cada línea paralela sobre el mapa se trazaron de 2 a 4 líneas de Canfield de 30 m de largo dependiendo de la extensión de la zona núcleo. Se delimitaron un total de 170 líneas de Canfield (1941) de los que se obtuvieron las coordenadas en UTM para ser localizados en campo con un geoposicionador (GPS) Explorist 600 Magellan® y realizar con ello un muestreo estratificado al azar.

### 5.2. Registro de las poblaciones de orquídeas.

Se realizaron visitas de prospección previas al muestreo para analizar el número de líneas de Canfield que era posible recorrer por día. Dado que los accesos están restringidos, cercados y la topografía es muy irregular e inaccesible en algunos sitios, se recorrieron tres líneas de Canfield por día (dada la distancia que había que recorrer entre los mismos y por lo accidentado del terreno) durante los tres meses que correspondían al periodo de floración de *Bletia urbana*. Se hizo un mapa para cada zona núcleo con todas

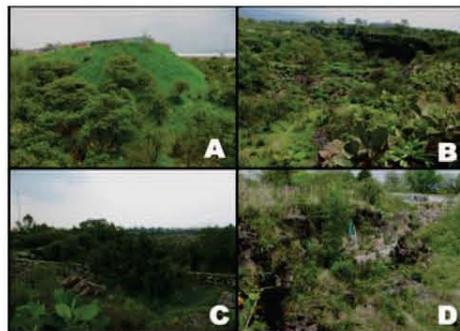
las líneas de Canfield delimitadas con las coordenadas proyectadas en el GPS. Los recorridos se realizaron del mes de junio al mes de agosto del año 2009. Muchas de las líneas de Canfield delimitadas en el mapa correspondieron a lugares inaccesibles, por lo que se recorrió la siguiente línea de Canfield para la toma de los registros. En la zona núcleo B Sur Oriente se decidió muestrear únicamente la zona conservada, dado que en visitas prospectivas el año previo al muestreo se observó que en gran parte de esta zona no había orquídeas (figura 5).

En el punto de inicio de cada línea de Canfield se colocó una cuerda de 30 m hacia el punto final y sobre la misma en un margen de 1.5 m de cada lado se hizo el levantamiento y ubicación por GPS de todos los individuos o colonias de las orquídeas encontradas; ocasional y adicionalmente se registraron las orquídeas encontradas entre los recorridos que se tenían que realizar para llegar a las líneas de Canfield delimitadas (esto se hizo dado que se registraron especies que enriquecieron el listado florístico el cual se presenta en los resultados de este trabajo).

Se hizo un registro fotográfico y fueron recolectados algunos ejemplares que no pudieron ser determinados taxonómicamente *in situ*, para ser determinados por un especialista (G. Salazar, Instituto de Biología). Dado que el muestreo abarcó un periodo de tres meses, los levantamientos se realizaron alternando día con día las visitas de cada zona núcleo con el objeto de tener las mismas posibilidades de encontrar a todos los grupos en periodos de tiempo similares.



**Figura 4.** Líneas paralelas separadas entre sí por una distancia de 30 m. en cada una de las zonas núcleo en que se divide a la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel (líneas de colores) y líneas de Canfield (líneas blancas) que indican los sitios de muestro. Imagen modificada de GoogleEarth®. Las estrellas en la Zona B abarcan un área que no fue considerada para el levantamiento por estar severamente perturbada con caminos de terracería, canteras y vegetación secundaria (ver Figura 5).



**Figura 5.** Perturbación en parte de la zona núcleo B sur-oriente de la Reserva Ecológica el Pedregal de San Ángel, su ubicación se localiza en la Figura 4. A. Promontorio invadido con pastizal. B. Extensa zona cubierta con relleno y completamente perturbada por vegetación secundaria. C. Zona de cantera con barda y con camino de terracería. D. Zona bardeada por dentro donde se aprecia una pared destruida.

La riqueza de especies registrada como resultado del análisis de las líneas de Canfield en cada zona se cuantificó con el índice de Shannon:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i (\log_2 p_i) \quad \text{donde}$$

S= número de especies

$p_i$ = abundancia relativa o proporción de individuos de la especie i

$n_i$ = número de individuos de la especie i

N= número total de individuos de todas las especies

La composición de especies entre las tres zonas núcleo se comparó mediante el índice de similitud de Sørensen donde el valor de 1 corresponde a comunidades idénticas. Éste se calculó a partir de la fórmula  $2C/A+B$ , donde:

A= número de especies en la comunidad A

B= número de especies en la comunidad B

C= número de especies compartidas en la comunidad A y B

### 5.3. Registro de datos para determinar la estructura poblacional de *Bletia urbana*.

En el año 2008 previo al muestreo en la temporada de lluvias, se seleccionaron de las dos zonas núcleo más grandes, dos sitios en la zona A (Espacio Escultórico) y un sitio en la zona C (Jardín Botánico) para analizar la estructura poblacional de *Bletia urbana*. Los sitios que se escogieron tuvieron colonias con una densidad de al menos 30 individuos, en donde se realizó una caracterización micro ambiental y análisis de suelo (ver adelante).

En cada uno de los 3 sitios elegidos, todas las plantas fueron etiquetadas con una clave numerada; a cada una se le midió el largo y ancho de cada hoja y de la bráctea; si tenían escapo floral éste se midió en el largo, número de botones florales o flores y presencia de cápsula(s) que se numeraron de la base hacia el ápice midiendo el largo y diámetro de cada una.

Para reforzar los datos de la estructura poblacional, se adicionaron tres sitios más para continuar el muestreo en el año 2009, uno en la zona A (Espacio Escultórico) y dos en la zona C (Jardín Botánico). Se recorrieron semanalmente los seis sitios desde el inicio de la temporada de lluvias en el mes de mayo del año 2009, registrando todas las plantas que iban emergiendo y dándoles un seguimiento semanal durante tres meses hasta la formación de cápsulas.

Dado el crecimiento semicrítico de esta especie es posible obtener la edad de las plantas cuantificando el número de cormos ya que son generados cada año por crecimiento simpodial para formar ramets. Se hizo el análisis en por lo menos cinco colonias por sitio. Se identificó el corno más reciente formado el año de registro por la presencia del brote foliar. A partir del mismo, se fueron registrando los cormos adheridos hasta llegar al corno inicial que originó el ramet. A cada corno se le midió el largo y el ancho con un vernier digital. Se registró la mortalidad de los cormos más antiguos al observar que se encontraban secos, con una coloración café y en ocasiones huecos presentando un estado avanzado de degradación. Una vez obtenidos estos datos de cada ramet, se hizo un promedio para tener un estimado de vida de esta especie.

Para conocer la probabilidad de muerte de un cormo ( $qx$ ), se dividió 1 entre el promedio obtenido de los cormos contabilizados de cada ramet, al mismo tiempo dicho cálculo nos permitió obtener la probabilidad de supervivencia. Así, a los tres sitios seleccionados en 2008 se les dio seguimiento el año siguiente y los tres adicionales en el 2009 (en total 6) se completó su registro en 2010.

Las categorías de crecimiento para realizar el análisis de estructura poblacional se basaron en el número de hojas, categorizando las plantas en cuatro tipos: plantas sólo con yemas foliares (pl), plantas con una hoja (1), plantas con dos hojas y bráctea (2 o más) y plantas sin hojas (lat). Para calcular el número de semillas producidas por cápsula, se hizo un promedio a partir de una cápsula de tamaño intermedio que se recolectó en el año 2008 a la que se le extrajeron todas las semillas obteniendo su peso neto. Se tomó una muestra de 2 mg de semillas que se colocaron y dispersaron en un portaobjetos con alcohol polivinílico para realizar el conteo total en un microscopio óptico a 100 aumentos e inferir con ello el número de semillas por cápsula.

A partir de datos calculados y obtenidos de campo, en laboratorio y de algunos trabajos de investigación que se indicarán más adelante, se generaron índices de mortalidad, probabilidad de germinación, probabilidad de supervivencia de plántulas al cabo de un año, con los cuales se construyó una matriz de transición de Leslie para calcular las tasas de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) y con ello proyectar la estabilidad de las seis colonias censadas en la REPSA. Se proyectaron los valores de  $\lambda$  manteniendo constante dos de las tres variables que contribuyen en su trayectoria como número de semillas producidas, probabilidad de germinación y probabilidad de supervivencia, para observar cuál de ellas tiene un mayor aporte para que la población de *Bletia urbana* pueda mantenerse estable o en crecimiento en el futuro.

#### **5.4. Registro de datos ambientales (vegetación asociada, suelo, temperatura, precipitación, radiación fotosintéticamente activa).**

En todos los sitios donde fue encontrada *Bletia urbana* se realizó una recolecta de muestras de suelo rizosférico (200 g aprox.) para caracterizar las propiedades del suelo en el micrositio. Se describieron las principales especies de plantas a las que se encontraban asociadas las colonias o individuos en los micrositios. Se colocaron en las zonas A y C sensores ambientales digitales para registrar la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Para algunos sitios, el tiempo de registro fue de un año completo (2008-2009), bajando los datos de cada sensor una vez cada quince días.

#### **5.5. Análisis de laboratorio de las muestras de suelo.**

Del total de muestras de suelo recolectadas (198), se seleccionaron 30 muestras por zona núcleo para los análisis fisicoquímicos. En el laboratorio, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, tamizadas a 2 mm y una submuestra molida en mortero de ágata para realizar algunos de los análisis descritos en la figura 6.

<b>Figura 6. Análisis de suelos</b>
<b>Determinación de carbono y nitrógeno Total (TOC)</b>
<b>Determinación de pH potenciométrico real (H<sub>2</sub>O 1:1) y potencial (KCl 1:1)</b>
<b>Determinación de fósforo disponible (Bray-Kurtz)</b>
<b>Determinación de cationes intercambiables por extracción con acetato de amonio 1N pH=7</b>

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Riqueza y composición de la comunidad de orquídeas.

Del total de líneas de Canfield analizadas y recorridos de desplazamiento realizados en las tres zonas núcleo de la REPSA, se registraron 875 puntos donde se encontraron orquídeas (figura 7).

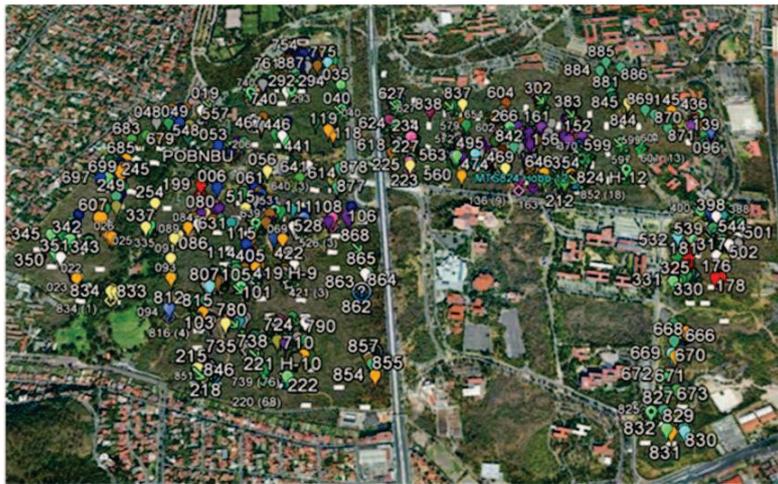
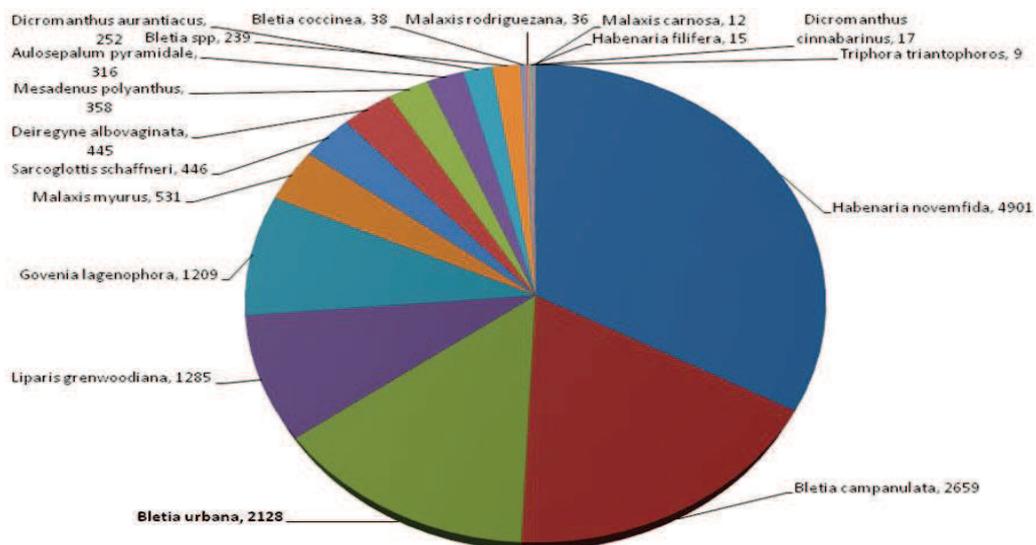


Figura 7. Sitios donde se registraron orquídeas en las tres zonas núcleo de la REPSA.

Se determinaron 18 especies enlistadas en la figura 8. La figura 9 muestra la proporción y abundancia de las especies encontradas en toda la REPSA. Las más abundantes por el número de individuos en las colonias fueron *Habenaria novemfida*, seguida de *Bletia campanulata* y *B. urbana* ocupando el tercer lugar. Las especies de distribución más restringida fueron *Malaxis carnososa* y *Triphora triantophoros*. Se encontró un solo registro nuevo de la especie *Bletia coccinea* con una colonia constituida por 38 individuos fuera de las líneas de Canfield.

**Figura 8. Especies de orquídeas registradas en las tres zonas núcleo de la REPSA en el año 2009.**

1	<i>Aulosepalum pyramidale</i> (Lindl.) M.A. Dix & M.W. Dix
2	<i>Bletia campanulata</i> La Llave & Lex.
3	<i>B. coccinea</i> La Llave & Lex.
4	<i>B. spp.</i>
5	<i>B. urbana</i> Dressler
6	<i>Deiregyne albovaginata</i> (C. Schweinf.) Garay
7	<i>Dichromanthus aurantiacus</i> (La Llave & Lex.) Salazar & Soto Arenas
8	<i>D. cinnabarinus</i> (La Llave & Lex.) Garay
9	<i>Govenia lagenophora</i> Lindl.
10	<i>Habenaria filifera</i> S. Watson
11	<i>H. novemfida</i> Lindl.
12	<i>Liparis greenwoodiana</i> Espejo
13	<i>M. carnosa</i> (Kunth) C. Schweinf.
14	<i>M. myurus</i> (Rchb. f.) Kuntze
15	<i>M. rodriguezana</i>
16	<i>Mesadenus polyanthus</i> (Rchb. f.) Schltr.
17	<i>Sarcoglottis schaffneri</i> (Rchb. f.) Ames
18	<i>Triphora trianthophoros</i> (Sw.) Rydb



**Figura 9. Proporción y abundancia de individuos de las especies de orquídeas terrestres registradas en las tres zonas núcleo de la REPSA durante el año 2009.**

La figura 10 muestra la proporción de las especies de orquídeas terrestres registradas solo en las líneas de Canfield en las tres zonas núcleo. En ella es posible observar que *Bletia campanulata*, *Habenaria novemfida* y *Bletia urbana* tienen una mayor proporción en el Jardín Botánico así como en el Espacio Escultórico respecto de las demás especies.

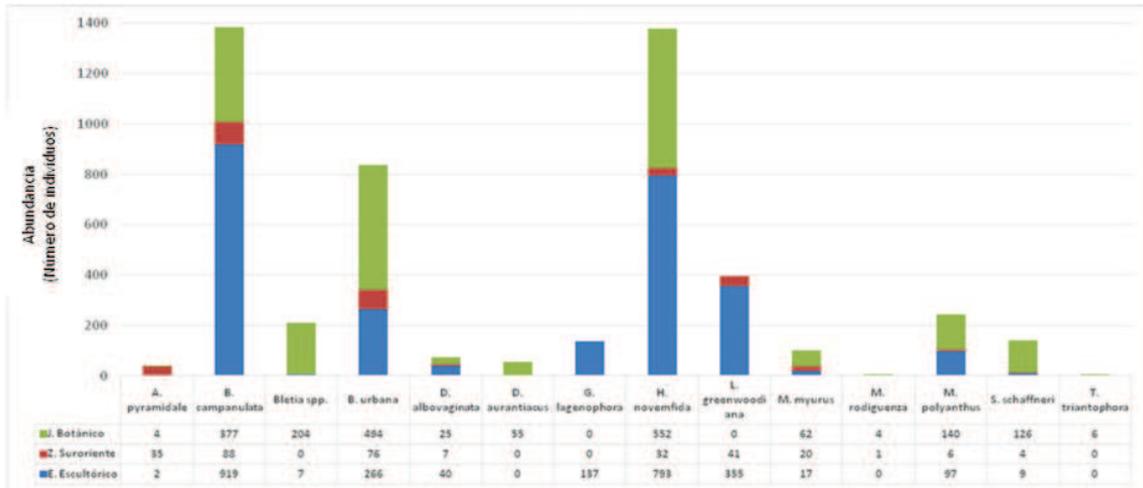


Figura 10. Proporción de las especies de orquídeas terrestres registradas en las líneas de Canfield en las tres zonas núcleo de la REPSA durante el año 2009.

La riqueza de orquídeas terrestres en cada zona se puede considerar como baja de acuerdo con los datos obtenidos mediante el cálculo del índice de Shannon; en la figura 11 se puede observar que las zonas que presentan una mayor diversidad son el Jardín Botánico seguido del Espacio Escultórico. Sin embargo, el índice de Sorensen nos indicó que existe una mayor similitud entre especies del Espacio Escultórico y la Zona Suroriente.

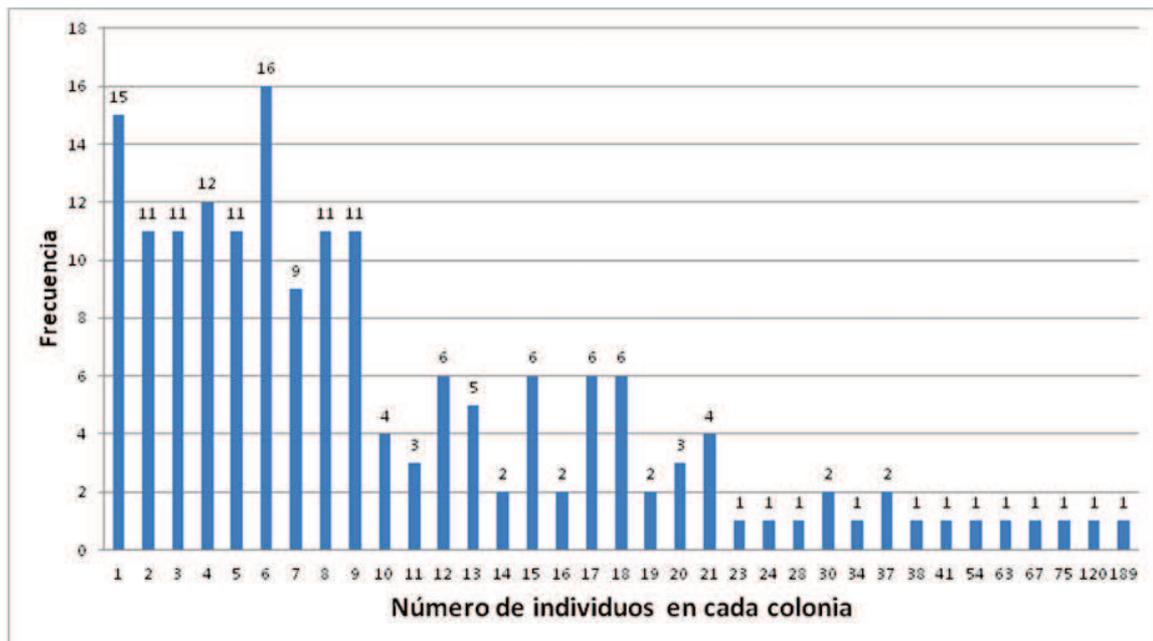
Figura 11. Índices de riqueza (Shannon) y similitud (Sorensen) entre las orquídeas terrestres registradas en las tres zonas núcleo de la REPSA en 2009.

Zona	Índice de Shannon	Zonas	Índice de Sorensen
Espacio Escultórico (EE)	1.64	EE-ZSO	0.95
Zona Suroriente (ZSO)	1.86	EE-JB	0.78
Jardín Botánico (JB)	1.89	ZSO-JB	0.82

## 6.2. La población de *Bletia urbana* en la REPSA.

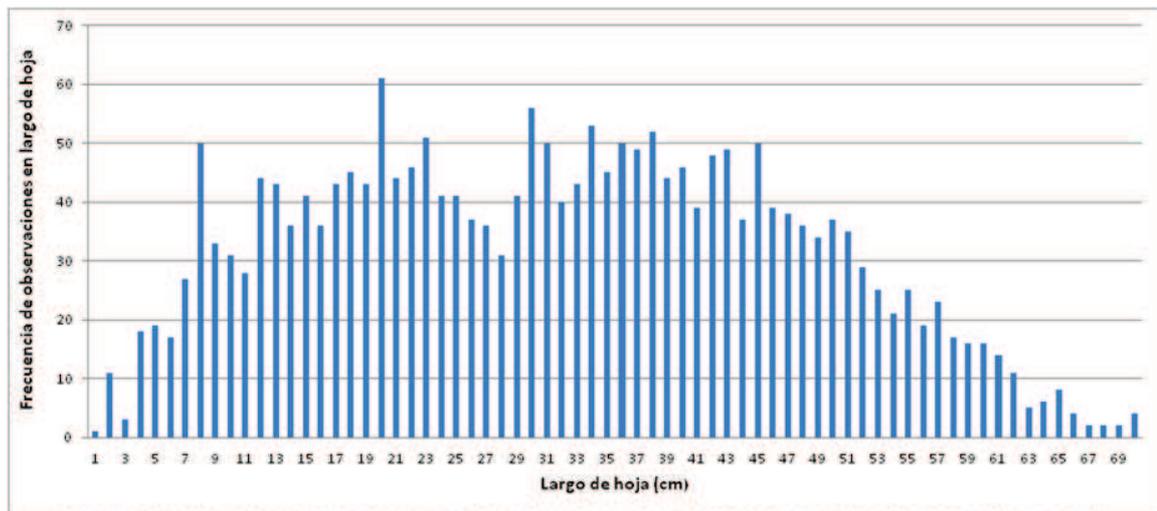
*Bletia urbana* se registró en las tres zonas núcleo de la REPSA y lo que reveló el muestreo es que fue más abundante en el Jardín Botánico. Las especies asociadas a *B. urbana* principalmente fueron maguey (*Agave* spp.), helechos, zacatón (*Mulhembergia robusta*), nopales (*Opuntia* spp.) y tepozán (*Buddleja cordata*). La mayoría de las colonias se encontraron sobre suelo y ocasionalmente sobre roca con muy poco sustrato el cual cubría parcialmente los cormos (litofíticas).

En la figura 12, se presenta la frecuencia de los individuos que conformaron los ramets registrados en las poblaciones de las dos zonas núcleo con mayor superficie, el Jardín Botánico y el Espacio Escultórico.



**Figura 12.** Frecuencia de individuos que conforman las colonias de la orquídea *Bletia urbana* en las dos zonas núcleo con mayor superficie de la REPSA.

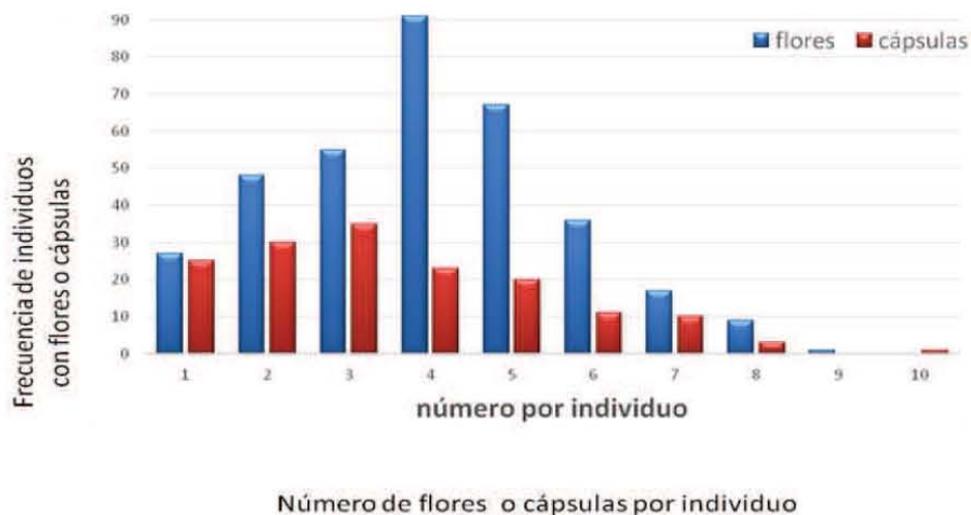
Los datos merísticos que contribuyeron para tener unen mejor conocimiento de la fenología y biología de esta especie se presentan a continuación. Se cuantificó el largo o talla promedio de las plantas por la medida de las hojas que presentaron (figura 13) con el objetivo de estudiar la posibilidad de separar a los individuos en distintas clases de tamaño que pudieran corresponder a categorías de edad de acuerdo con las tallas registradas (figura 14). Asimismo se registró el número de flores y frutos que desarrollaron diversas colonias con el objetivo de conocer la capacidad reproductiva de esta especie (figura 15) así como la longitud de los escapos florales (figura 16).



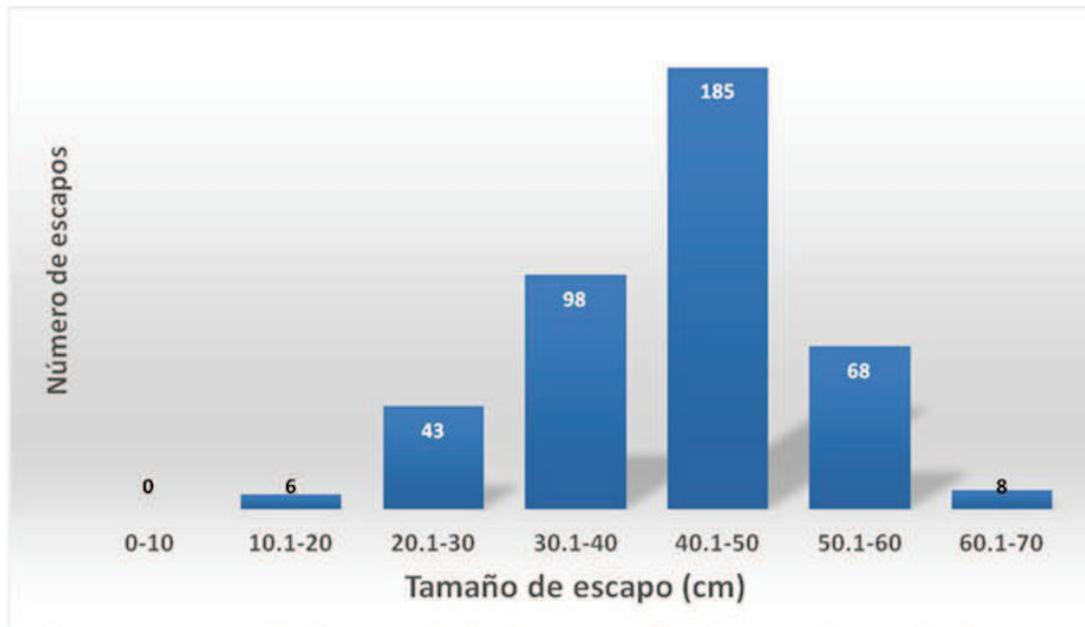
**Figura 13.** Tamaños de las hojas registrados en colonias de la orquídea *Bletia urbana* en la REPSA.



**Figura 14.** Estructura del tamaño de las plantas por distintas categorías registradas en subpoblaciones de la orquídea *Bletia urbana* en la REPSA.

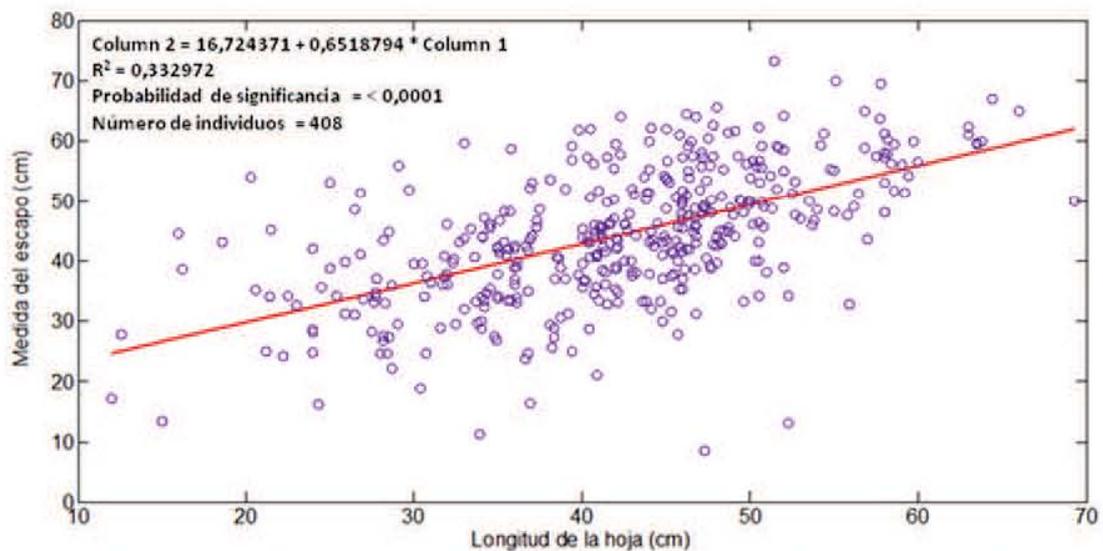
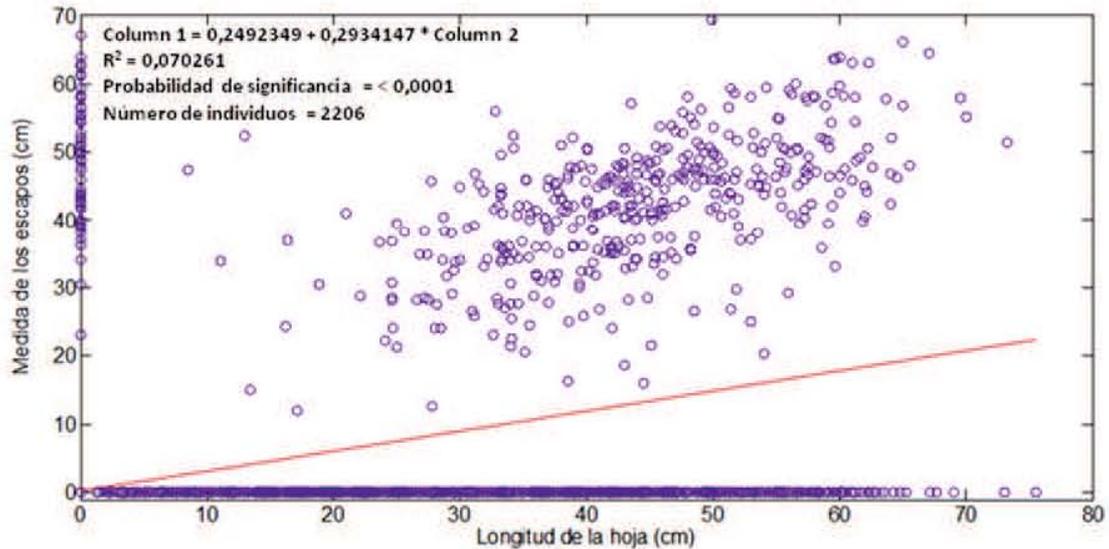


**Figura 15.** Frecuencia del número de flores y cápsulas registrados en colonias de la orquídea *Bletia urbana* en la REPSA.



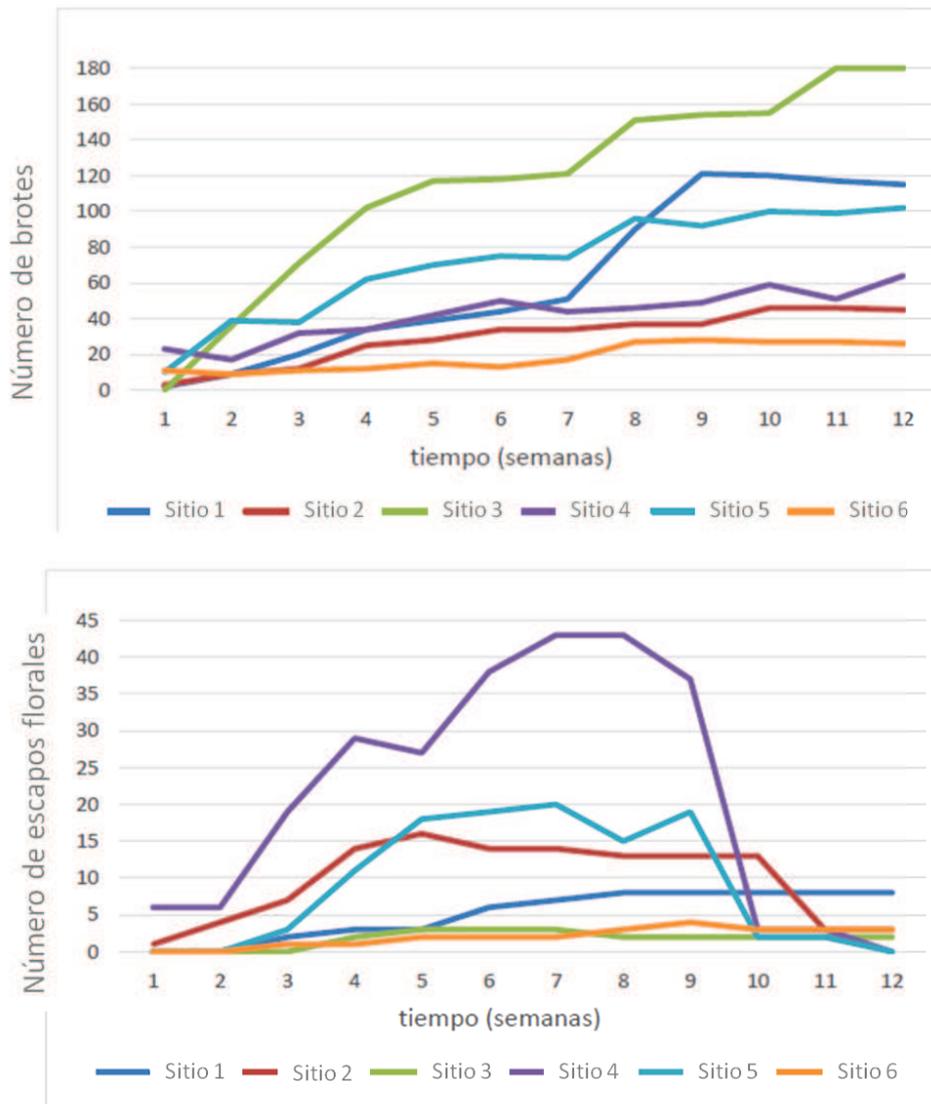
**Figura 16.** Categorías de tamaño de los escapos florales en colonias de la orquídea *Bletia urbana* en la REPSA.

De los datos obtenidos de ejemplares de *Bletia urbana* registrados durante el muestreo, se realizó un análisis de regresión para observar si hay relación entre el largo de la hoja y la medida del escapo que pudiesen influir en la capacidad reproductiva de las plantas. Las figuras 17 y 18 muestran que de acuerdo con el valor de probabilidad de 0.0001, es altamente significativa la relación entre la medida del escapo y la longitud de la hoja, aun cuando en la figura 17 se tomaron en cuenta todos los individuos registrados de *Bletia urbana* con o sin escapo (2206), mientras que en la figura 18 sólo se tomaron en cuenta aquellos individuos que presentaron escapo floral (408).



**Figuras 17 y 18.** Correspondencia entre el tamaño de las plantas considerando la longitud de las hojas y el tamaño de sus escapos florales en colonias de la orquídea *Bletia urbana* en la REPSA. En la figura 17 se realiza una regresión tomando en cuenta individuos que tuvieron ausencia y presencia de escapo floral, mientras que en la 18 se tomaron los individuos que desarrollaron escapo floral, obteniendo una relación entre el tamaño de las hojas con la formación de las estructuras reproductivas.

Por otra parte, de los sitios elegidos para registrar la fenología de *Bletia urbana* durante el año 2009, se graficó la emergencia de las plantas y la formación de escapos florales cuantificados semanalmente a partir de la mitad del mes de mayo durante tres meses consecutivos (figuras 19 y 20).



**Figuras 19 y 20.** Emergencia (número de brotes) a partir de cormos (19) y número de escapos florales (20) a lo largo de tres meses de registro en seis colonias de la orquídea *Bletia urbana* en la REPSA durante el año 2009.

### 6.3. Variables edáficas y ambientales.

El resultado promedio de los análisis de suelo realizados en muestras rizosféricas de *Bletia urbana* tomadas en las tres zonas de estudio se presenta en la figura 21. El pH promedio del suelo fue ligeramente ácido en las tres zonas núcleo. Se registró una mayor disponibilidad de fósforo (P), así como los más altos porcentajes de carbono (C) y nitrógeno (N) total en el Jardín Botánico con respecto a las demás zonas núcleo. La presencia de calcio (Ca) y magnesio (Mg) fue más elevada en la Zona Suroriente mientras que las cantidades de sodio (Na) fueron mayores en el Espacio Escultórico. El Jardín Botánico fue más rico en potasio (K).

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO, JARDIN BOTANICO									
	pH Agua 1:2,5	pH KCl 1:2,5	P Bray mg/Kg	% C total	% N total	Cationes intercambiables cmol/kg			
						Ca	Mg	Na	K
MEDIA	5.26	4.73	22.47	20.01	1.54	25.54	4.43	0.33	1.30
DESV EST	0.59	0.57	25.45	8.97	0.56	15.10	3.07	0.36	1.03
MÍNIMA	4.08	3.88	2.50	3.07	0.26	5.61	1.11	0.01	0.08
MÁXIMA	6.57	6.56	164.95	37.158	2.699	64.50	14.79	1.47	4.47

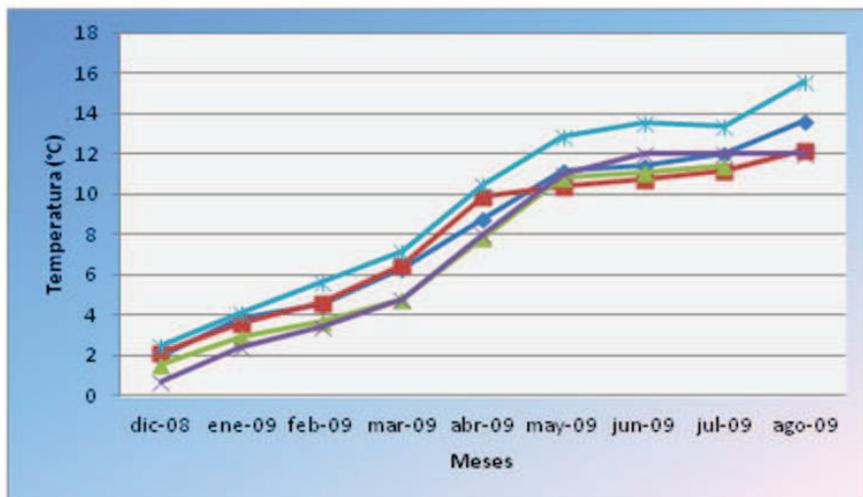
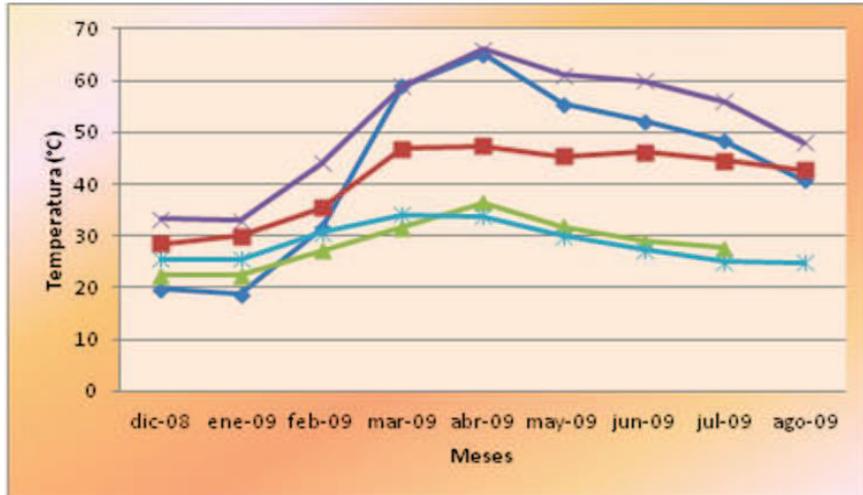
ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO, ESPACIO ESCULTORICO									
	pH Agua 1:2,5	pH KCl 1:2,5	P Bray mg/Kg	% C total	% N total	Cationes intercambiables cmol/kg			
						Ca	Mg	Na	K
MEDIA	5.32	4.90	14.73	16.10	1.31	22.69	3.79	0.34	1.12
DESV EST	0.71	0.68	11.71	6.03	0.40	12.02	1.64	0.63	0.84
MÍNIMA	3.96	3.89	1.43	7.01	0.60	2.43	1.12	0.04	0.08
MÁXIMA	7.40	7.14	47.50	33.038	2.129	60.57	7.84	3.52	4.78

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO, ZONA SUR ORIENTE									
	pH Agua 1:2,5	pH KCl 1:2,5	P Bray mg/Kg	% C total	% N total	Cationes intercambiables cmol/kg			
						Ca	Mg	Na	K
MEDIA	5.53	5.16	15.90	17.45	1.49	28.20	4.79	0.25	1.18
DESV EST	0.46	0.47	14.44	6.91	0.47	10.52	1.63	0.38	0.73
MÍNIMA	5.02	4.50	3.20	11.31	1.00	9.36	2.51	0.08	0.04
MÁXIMA	6.23	5.83	51.18	33.737	2.415	44.60	7.27	1.32	2.52

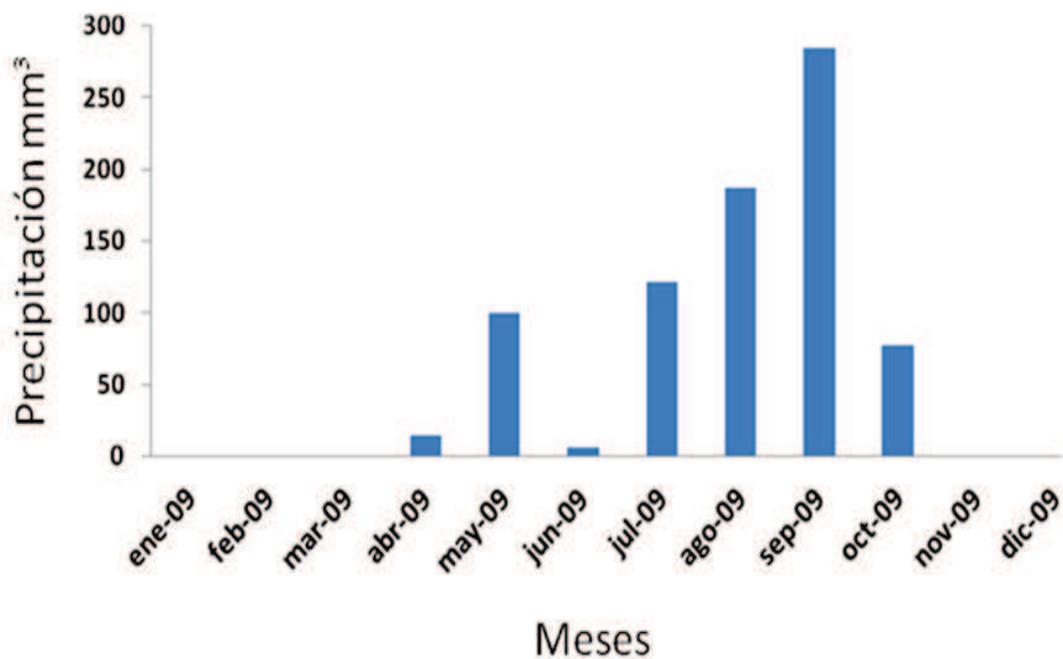
Figura 21. Variables edáficas de los suelos rizosféricos que se cuantificaron en las tres zonas núcleo de la REPSA.

Los registros climáticos en cada una de las zonas se presentan en las figuras 22 y 23. Las diferencias de temperatura no fueron significativas en lo que se refiere a las temperaturas mínimas, mientras que las temperaturas máximas tienen variaciones debido a que algunos sensores se encontraban en un sitio cerca de roca desnuda expuestos a los rayos directos del sol y la temperatura que se reflejaba de dichas rocas.



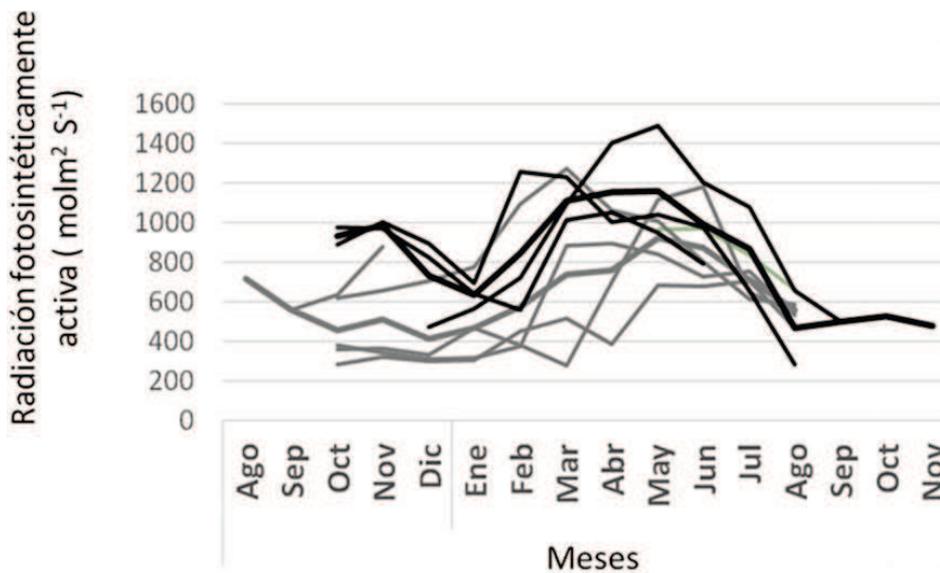
**Figuras 22 y 23.** Promedios de temperaturas mensuales máximas (superior) y mínimas (inferior) registradas en dos zonas núcleo en sitios donde se monitorearon las colonias de *Bletia urbana* en la REPSA

En la figura 24 se muestran los datos de precipitación registrados para el año de estudio de la estación meteorológica más cercana. Puede observarse que durante el mes de junio se registró una baja precipitación la cual afectó el desarrollo de las primeras estructuras reproductivas de *Bletia urbana* (escapos florales) que terminaron secándose. Al reanudarse el periodo de lluvias tuvieron una nueva emergencia de nuevos escapos florales, de los cuales varios culminaron en la formación de cápsulas con semillas al término de la temporada de lluvias.



**Figura 24.** Precipitación en las inmediaciones de la zona núcleo C (Jardín Botánico) de acuerdo con el Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario durante el año 2009. .

La figura 25 muestra que la radiación fotosintéticamente activa fue mayor entre los meses de febrero y agosto presentando la máxima radiación solar durante el mes de mayo para 2009, lo cual se refleja en la capacidad fotosintética y el desarrollo de brotes y escapos florales en el caso de *Bletia urbana*; lo anterior sugiere una fuerte relación entre el periodo de mayor radiación lumínica con la temporada de lluvias, los cuales permiten la activación del proceso reproductivo de estas plantas durante el verano.



**Figura 25.** Promedios de iluminación PAR mensuales máximas (superior) y mínimas (inferior) registradas en dos zonas núcleo en sitios donde se monitorearon las colonias de *Bletia urbana* en la REPSA. Líneas negras Espacio escultórico, grises, Jardín Botánico.

#### 6.4. Análisis demográfico.

Para calcular la longevidad y mortalidad de *Bletia urbana*, se procedió a escarbar solamente en cinco de ellas para no maltratar a las colonias localizadas en los sitios en los que se tomaron los datos fenológicos. Se encontró una vida promedio de diez años y sólo una observación de un cormo sin reservas (figura 26).

Colonia	Edad (número de cormos) años
1	8
2	9
3	11
4	12
5	9
Vida promedio de las colonias: 9.8 años	
Desviación estándar = 1.643167673	

**Figura 26.** registro de cormos contabilizados en 5 colonias, obtención del promedio de vida y su desviación estándar mediante el número de cormos obtenido en cada colonia.

Con estos datos, se calculó que la probabilidad de muerte de un cormo es de  $1/9.8$ , teniendo como resultado:

$$q_x = 1/9.8 = 0.102$$

Luego entonces  $1 - q_x = 1 - 0.102 = 0.898$ ; es la probabilidad de que un cormo sobreviva, mientras que el 0.001 indica que puede sobrevivir al siguiente año.

La probabilidad de supervivencia se obtuvo con base en datos estimados del estudio sobre viabilidad, germinación *in situ* y producción de semillas de la orquídea terrestre *Platanthera praeclara* realizado por Warner en 2006; considerando que la tasa de reclutamiento en esta especie es muy baja por datos de observación en campo, pronosticando que el 0.999 de las semillas liberadas muere y sólo logra germinar *in situ* el 0.001 del total producido por cápsula. Se tiene una probabilidad de 0.1% de llegar al estadio adulto o iniciar una nueva colonia. Para cada año, la probabilidad de que las plántulas lleguen a sobrevivir y alcanzar la categoría de tamaño 2 y 3 es de 0.0005 para cada caso.

En el caso de *Bletia urbana*, el cálculo del número de semillas promedio generadas por individuo se obtuvo de las cápsulas analizadas en el laboratorio, en ellas se contó el número de semillas contenidas en 2 mg, para inferir un total de 796 semillas en un peso total promedio de 1.822 g, mediante la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{2 \text{ mg} - 796 \text{ semillas}}{1822 \text{ mg} - x \text{ semillas}} = 725\,156 \text{ semillas en una cápsula}$$

Asimismo, se tomaron otros valores calculados para esta especie (Chávez, 1980) para generar un promedio sobre la producción de semillas por cápsula (figura 27).

	semillas por cápsula
cápsula 1	725 156
cápsula 2	117 200
cápsula 3	92 625
Promedio	311 660

**Figura 27.** Promedio de semillas por cápsula obtenidos de los datos reportados por Chávez (2006) y el obtenido en este trabajo

## 6.5. Análisis de las matrices de transición de Leslie.

Con los datos obtenidos del registro de número de hojas y de cápsulas de *Bletia urbana* para el muestro de 2008 y de 2009, se realizó una categorización entre plántulas (pl) (categoría que quedó en ceros al no observar reclutamiento), individuos con una hoja (1H), con 2 hojas o más (2H), y en estado de latencia (lat). Se construyó una matriz inicial con dichos datos (figura 28).

Se calculó el número de cápsulas por individuo producidas en 2008 y 2009 para las siguientes categorías:

Categoría 1: Plantas con una hoja (6 cápsulas/51individuos= 0.1176 cápsulas/individuo)

Categoría 2: Plantas con dos hojas o más (38 capsula/100individuos= 0.38 cápsulas/individuo).

En el caso de latencia el resultado fue cero.

Se utilizó el dato proporcionado por Warner (2006) quien contempló un promedio de 9 825 semillas por cápsula para *Platanthera praeclara* las cuales presentaron una viabilidad de 80 % para germinación. También se calculó la probabilidad de germinación de *Goodyera pubescens* (0.107) que presenta 10.7% de germinación *in situ* (Diez, 2007).

	pl	1H	2H	lat
pl	x	x	x	x
1H	x	9	13	24
2H	x	39	83	48
lat	x	3	4	0
total	x	51	100	72

**Figura 28.** Datos obtenidos y relacionados entre si del muestreo de 2008 y de 2009 para *Bletia urbana*. En esta matriz se registran los datos de individuos que presentaron estadio de plántula (pl), individuos con una sola hoja (1H), individuos con 2 hojas o más (2H) e individuos en estado de latencia. Los espacios marcados con una x indica que no hubo datos disponibles para estas categorías.

Con los datos calculados y obtenidos de trabajos realizados sobre orquídeas terrestres, se construyeron matrices de transición en las cuales se introdujeron los valores calculados y estimados para cada año de registro:

En la construcción de la primera matriz de transición correspondiente a 2008-2009 y que se muestra en la figura 29, en la primera columna se toma el valor de 0.0005 como probabilidad de que las plántulas puedan llegar a pasar a 1H, o incluso a 2H.

En la segunda columna, la transición de una planta 1H que pueda reclutar plántulas al año siguiente (pl) se calculó multiplicando el número de cápsulas por individuo de la categoría 1 por el promedio de semillas en cápsula de *Platanthera praeclara* y la probabilidad de germinación de *Goodyera pubescens* ( $0.1176 \cdot 9825 \cdot 0.107 = 123.6$ ). En la transición de 1H a 1H se dividió el dato registrado de individuos de 1H de la primera matriz por el total y la probabilidad de supervivencia de un cormo ( $(9/51) \cdot 0.898 = 0.158$ ). Para el estadio 1H al 2H se tomó en cuenta el número de individuos registrados en esta categoría, dividiéndolo entre el total y multiplicándolo por la probabilidad de supervivencia de un cormo ( $(39/51) \cdot 0.898 = 0.687$ ). Para analizar la transición de 1H a lat, se tomó el dato de la matriz de la figura 29, se dividió entre el total y fue multiplicado por la probabilidad de supervivencia del cormo ( $(3/51) \cdot 0.898$ ).

En la tercera columna, la transición de plantas 2H que puedan presentar reclutamiento al año siguiente (pl) se calculó multiplicando el número de cápsulas por individuo de la categoría 2 por el promedio de semillas en cápsula de *Platanthera praeclara* y la probabilidad de germinación de *Goodyera pubescens* ( $0.38 \cdot 9825 \cdot 0.107 = 339.485$ ). La transición de 2H A 1H se registró dividiendo el número de individuos registrados en esta categoría en la matriz anterior entre el total registrado y multiplicado por la probabilidad de supervivencia de un cormo ( $(13/100) \cdot 0.898 = 0.117$ ). El valor de transición de 2H a 2H, se tomó el dato de la primera matriz se dividió entre el total y se multiplicó por la probabilidad de supervivencia ( $(83/100) \cdot 0.898 = 0.745$ ). La transición de 2H a lat se calculó utilizando el dato de la primera matriz el cual se dividió por el total y se multiplicó por la probabilidad de supervivencia ( $(4/100) \cdot 0.898 = 0.036$ ).

En la cuarta columna, la probabilidad de que un cormo en estado de latencia pase a tener reclutamiento es cero. La transición de lat a 1H se calculó tomando el dato de plantas registradas en la matriz anterior el cual se dividió entre el total y multiplicado por la probabilidad de supervivencia  $((24/72)*0.898=0.299)$ . El dato de lat a 2H se obtuvo dividiendo el dato de plantas en estadio lat entre el total de plantas registradas y multiplicado por la probabilidad de supervivencia. Y el valor de transición de lat a lat el próximo año se obtuvo dividiendo el dato de la matriz anterior entre el total registrado y multiplicado por la probabilidad de supervivencia  $((0/72)*0.898=0)$ .

		2008			
		pl	1H	2 H	lat
pl		0.0000	123.630	399.485	0.000
1H		0.0005	0.158	0.117	0.299
2009	2H	0.0005	0.687	0.745	0.599
lat		0.0000	0.053	0.036	0.000
qx		0.999	0.102	0.102	0.102
total		1.000	1.00	1.00	1.00

**Figura 29.** Matriz de transición 2008-2009 para *Bletia urbana*, donde (pl) indica el estadio de plántula, (1H) indica plantas con una sola hoja, (2H) indica plantas con 2 o más hojas, (lat) significa latencia. (qx) es la probabilidad de muerte .

Con los datos obtenidos del registro de número de hojas y número de cápsulas de *Bletia urbana* para el muestro de 2009 y de 2010, se construyó una matriz con dichos datos (figura 30).

	pl	1H	2H	lat
pl	x	x	x	0
1H	x	10	21	0
2H	x	17	93	0
lat	x	19	47	8
total	x	46	161	8

**Figura 30.** Matriz de transición 2009-2010 para *Bletia urbana*, donde (pl) indica el estadio de plántula, (1H) indica plantas con una sola hoja, (2H) indica plantas con 2 o más hojas, (lat) significa latencia. (qx) es la probabilidad de muerte .

En la construcción de la segunda matriz de transición correspondiente a 2009-2010 y que se muestra en la figura 31, en la primera columna se toma nuevamente el valor de 0.0005 como probabilidad de que las plántulas puedan llegar a pasar a un estadio 1H, o incluso a 2H.

En la segunda columna, la transición de un individuo 1H que pueda reclutar plántulas al año siguiente tuvo un valor de cero. La transición del estadio 1H a 1H en el siguiente año se calculó dividiendo el valor de la matriz de la figura 30 entre el total y multiplicado por la probabilidad de supervivencia del cormo ( $(10/46) \cdot 0.898 = 0.195$ ). En la transición de 1H a 2H se tomó en cuenta el número de individuos registrados en esa categoría en la matriz anterior dividiéndolo entre el total y multiplicándolo por la probabilidad de supervivencia ( $(17/46) \cdot 0.898 = 0.332$ ). Para analizar la transición de 1H a lat se tomó el dato de la matriz anterior, se dividió entre el total y fue multiplicado por la probabilidad de supervivencia ( $(19/46) \cdot 0.898 = 0.371$ ).

En la tercera columna, no se pudo determinar la transición de plantas 2H que presenten reclutamiento al año siguiente y se marcó el espacio con una x. La transición del estadio 2H a 1H al año siguiente se obtuvo mediante la división del número de individuos

registrados en la matriz anterior entre el total y multiplicado por la probabilidad de supervivencia  $((21/161)*0.898=0.117)$ . Para obtener el valor de transición de 2H a 2H, se tomó el dato de la primera matriz se dividió entre el total y se multiplicó por la probabilidad de supervivencia  $((93/161)*0.898=0.519)$ . La transición del estadio 2H a lat se calculó utilizando el dato de la primera matriz el cual se dividió por el total registrado y se multiplicó por la probabilidad de supervivencia  $((47/161)*0.898=0.898)$ .

En la cuarta columna los valores fueron de cero en todos los casos, los individuos en lat que pudieran generar reclutamiento tienen un valor de cero. La transición de lat a 1H se calculó dividiendo el número de individuos registrados en la matriz anterior entre el total y multiplicado por la probabilidad de muerte  $((0/8)*0.898= 0.000)$ . Igualmente del estado de lat a 2H, la transición fue calculada dividiendo el número de individuos registrados entre el total y multiplicado por la probabilidad de muerte  $((0/8)*0.898=0.000)$ . Del estadio lat a lat se obtuvo su valor dividiendo el número de individuos registrados para este estadio en la matriz anterior entre el total y multiplicándolo por la probabilidad de supervivencia  $((8/8)*0.898=0.898)$

		2009			
		pl	1H	2H	lat
	pl	0.000	0.000	x	0.000
	1H	0.0005	0.195	0.117	0.000
2010	2H	0.0005	0.332	0.519	0.000
	lat	0.000	0.371	0.262	0.898
	qx	0.999	0.102	0.102	0.102
	total	1.000	1.000	1.000	1.000

**Figura 31.** Matriz de transición 2009-2010 para *Bletia urbana*, donde (pl) indica el estadio de plántula, (1H) indica plantas con una sola hoja, (2H) indica plantas con 2 o más hojas, (lat) significa latencia. (qx) es la probabilidad de muerte. Al no tener datos disponibles para la siguiente transición, se decidió marcar con una x el punto de transición de plantas con 2 o más hojas que presenten reclutamiento al año siguiente.

Finalmente se construyó una matriz promedio (figura 32) utilizando los siguientes valores:

Promedio de semillas por cápsula	300000
Probabilidad de germinación	0.0001
Número de cápsulas por individuo de la categoría 1	0.1176
Número de cápsulas por individuo de la categoría 2	0.38
Probabilidad de supervivencia de las plántulas	0.015

Los valores para los estados de plántula a 1H y a 2H, fueron calculados dividiendo entre 2 la probabilidad de supervivencia de las plántulas (0.015). La transición de plántula a estado de latencia es cero.

En la segunda columna, la transición de una planta con 1H que tenga reclutamiento al año siguiente se calculó multiplicando el número de cápsulas por individuo de la categoría 1 y el promedio de semillas por cápsula así como por la probabilidad de germinación ( $0.1176 \times 300000 \times 0.0001 = 3.528$ ). Para tener el dato de una planta 1H que genere 1H al año siguiente se promediaron los valores obtenidos en las matrices de las figuras 29 y 31 ( $(0.195 + 0.158) / 2 = 0.18$ ); se obtuvo el promedio de 1H para 2H ( $(0.332 + 0.687) / 2 = 0.51$ ) e igualmente para 1H que entran en estado de latencia ( $(0.371 + 0.053) / 2 = 0.21$ ).

En la tercera columna, el valor promedio para individuos con dos hojas que presenten reclutamiento al año siguiente se obtuvo multiplicando el número de cápsulas por individuo de la categoría 2 por el promedio de semillas por cápsula y la probabilidad de germinación ( $0.38 \times 300000 \times 0.0001 = 11.4$ ). Para obtener el promedio de transición de plantas 2H a 1H se tomaron los valores de las matrices ya mencionadas ( $(0.117 + 0.117) / 2 = 0.12$ ). Para la transición de una planta 2H a 2H para el año siguiente se

calculó el promedio de los valores obtenidos en la matriz anterior  $((0.519+0.745)/2=0.63)$ , y lo mismo cuando pasan de 2H a lat  $((0.262+0.036)/2=0.15)$ .

En la cuarta y última columna, el valor promedio de transición del estado de latencia (lat) a plántula (pl) es cero. La transición del estado de latencia a planta con una hoja (1H) se promedió  $((0+0.299)/2=0.15)$ , también se tomaron los valores de las matrices anteriormente mencionadas para calcular el valor de la transición de latencia a planta con dos hojas o más (2H)  $((0+0.599)/2=0.30)$  y de latencia a mantenerse latente el siguiente año  $((0.898+0)/2=0.45)$ .

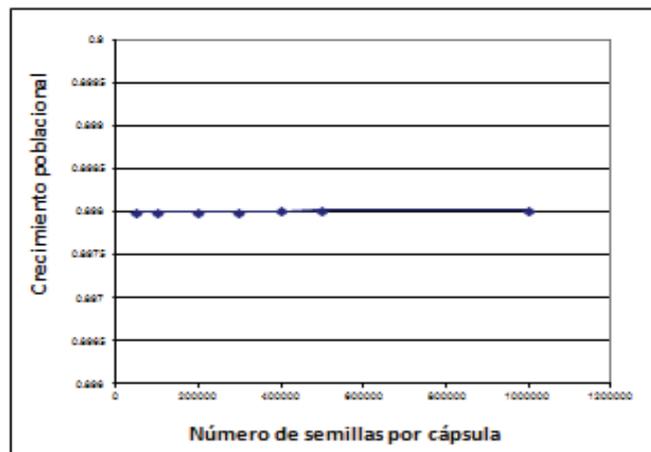
	pl	1	2	lat
pl	0	3.528	11.4	0
1	0.0075	0.18	0.12	0.15
2	0.0075	0.51	0.63	0.30
lat	0	0.21	0.15	0.45
qx	0.985	0.102	0.102	0.102
N		51	100	72

**Figura 32.** Matriz promedio para *Bletia urbana*, donde los valores de la primera fila se calcularon basándose en la probabilidad de germinación, el promedio obtenido de semillas por cápsula, el número de cápsulas por individuo de las categorías 1 y 2, así como la probabilidad de supervivencia de las plántulas.

(pl) indica el estadio de plántula, (1) indica plantas con una sola hoja, (2 o más) indica plantas con 2 o más hojas, (lat) significa latencia. (qx) es la probabilidad de muerte.

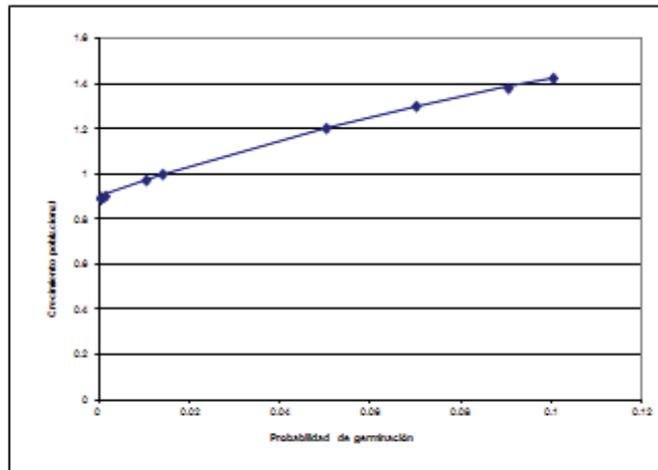
Se realizaron diferentes proyecciones poblacionales utilizando el valor de la tasa finita de crecimiento ( $\lambda$ ) como referente y manteniendo determinados valores poblacionales constantes en cada caso.

El número de semillas por cápsula no afecta significativamente el valor de  $\lambda$  (figura 33), si se mantienen constantes las variables de probabilidad de germinación (0.000001) y de supervivencia de plántulas al año (0.0001), por lo cual la tasa de crecimiento se mantiene por debajo de 1. Se requeriría un número muy alto de semillas para que exista reclutamiento y las poblaciones se incrementen:



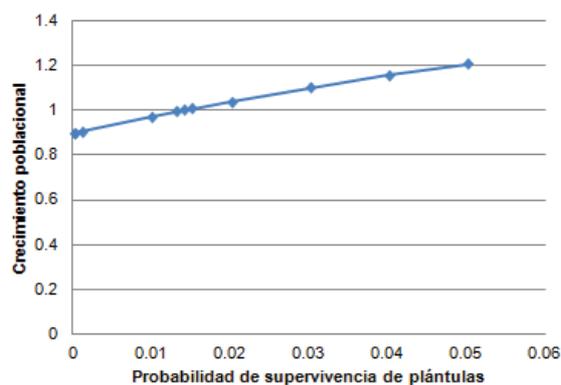
**Figura 33.** Crecimiento poblacional basado en los valores obtenidos de  $\lambda$  vs el número de semillas por cápsula.

Si se mantienen constantes el número de semillas por cápsula (300 000) y la probabilidad de supervivencia de las plántulas (0.0001), la tasa de crecimiento de las poblaciones de *Bletia urbana* tenderían a un incremento constante si aumenta la probabilidad de germinación *in situ* (figura 34):



**Figura 34.** Crecimiento poblacional basado en los valores obtenidos de  $\lambda$  vs la probabilidad de germinación

Si se calcula  $\lambda$  manteniendo constante la probabilidad de germinación (0.000001) así como el promedio de cápsulas generadas por individuo de la categoría 1 (0.1176) y el promedio de cápsulas por individuo de la categoría 2 (0.38) y aumentando la probabilidad de supervivencia de las plántulas al año siguiente (figura 35), se presenta también un aumento significativo de los individuos que pueden mantener creciendo a la poblaciones de *Bletia urbana*.



**Figura 35.** Crecimiento poblacional basado en los valores obtenidos de  $\lambda$  vs la probabilidad de supervivencia de plántulas.

## VII. DISCUSIÓN

### 7.1. La comunidad de orquídeas en la REPSA.

Una gran parte de las orquídeas descritas en el listado más reciente proporcionado por Salazar (2009) se encontró en la REPSA durante el muestreo realizado en la época de lluvias. Las especies que florecen en otoño-invierno pudieron ser identificadas por sus estructuras vegetativas, tales como *Aulosepalum pyramidale* y *Sarcoglottis schaffneri*. Dentro del grupo de las bletias, se pudo reconocer a las poblaciones de *Bletia urbana* y *B. campanulata* por el aspecto de sus hojas y tallos basales, además de que en muchas colonias se confirmó la floración de algunos individuos. Sin embargo, se prefirió dejar en la categoría de varias especies a aquellas bletias cuyas características en estado vegetativo no permitieron su identificación. Se encontró una única población de *B. macrithmochila* fuera de la zona de muestreo.

Algunas especies poco comunes para la zona del Espacio Escultórico, no fueron observadas tampoco dentro de los transectos como *Dichromanthus cinnabarinus* y su registro ocurrió entre los recorridos fuera de las líneas de Canfield. Por el contrario, *D. aurantiacus* se encontró poco frecuente, siendo registrada solamente para la zona del Jardín Botánico. Observaciones personales tampoco han notado la presencia de esta especie del lado oriente que divide a la REPSA por la Avenida Insurgentes, en donde se encuentra comúnmente en los pedregales fuera de las zonas núcleo. Esta distribución de especies en una u otra zona núcleo es muy marcada para las orquídeas de este género, lo que implica posiblemente una relación con las condiciones microclimáticas o efectos de la fragmentación.

Especies conspicuas como *Govenia lagenophora* presentaron una gran cantidad de individuos debido a que se las encontró en parches fuera de las líneas de Canfield igual que las bletias, el crecimiento de las colonias es abundante. Sin embargo, este crecimiento prolífero no siempre obedeció a que las colonias tuvieran cormos que las conectaran, pudiendo proyectar varias hojas pertenecientes a un mismo individuo y dando la

aparición de varias plantas distintas. Tal es el caso de *Habenaria novemfida*, la orquídea más abundante con cerca de 5000 plantas contadas dentro y fuera de las líneas. Esta especie crece en manchones de individuos abundantes que no están conectados entre sí, indicando un elevado reclutamiento de semillas en microambientes específicos. *Habenaria strictissima* ha sido observada con muy poca frecuencia en la REPSA (Salazar, com. pers.). Es posible que estas diferencias en la abundancia se deban a especificidad con sus simbiontes micorrízicos debido a que las cápsulas de *H. strictissima* son grandes, con muchas semillas, mientras que las de *H. novemfida* son más pequeñas y son muy susceptibles de ser depredadas por áfidos (Salazar, 2009).

Las especies que en su desarrollo no forman cormos anuales y que son menos abundantes pertenecen al género *Malaxis*, son poco comunes, además de que son plantas más pequeñas y frágiles (Téllez-Velasco y Flores-Villanueva, 2007). Algunas especies de tamaños también pequeños, son aún más difíciles de encontrar y crecen en microambientes con mucha humedad asociadas a camas de helechos y musgos en hondonadas, entre ellas *Triphora triantophoros*. *Liparis greenwoodiana* tiene distribución más amplia.

Los índices de riqueza y similitud permitieron observar que la zona más pequeña y de más aparente perturbación de las tres zonas núcleo, el sector Sur-Oriente, presentó una riqueza similar a la encontrada en el área más grande correspondiente al Jardín Botánico. Esta apreciación se constató desde el momento de los recorridos, lo que corrobora que la distribución de esta familia es altamente aleatoria y puede presentarse en zonas pequeñas (Kull, 2002; Antonio-Garcés, 2008), no observaron ninguna especie de orquídea en una zona de amortiguamiento, motivo por el cual se hace prioritario seguir estudiando las plantas de esta familia y proponer protocolos de propagación y conservación de las orquídeas de la REPSA.

Las dos zonas que compartieron más especies fueron el Espacio Escultórico y la zona Sur-Oriente, dado que anteriormente formaban parte de una sola área y se ubican ambas en zonas menos elevadas y con mayores niveles de temperatura. Pocos estudios en la REPSA han generado listados que permitan hacer este tipo de comparaciones debido a

que la mayor parte de las determinaciones se realizan en recorridos cercanos a los caminos, o bien, en líneas de Canfield que no están distribuídas para cubrir el área completa (Sarmiento, 1995; Flores, 2006). El muestreo proyectado en este trabajo, permitió que se recorrieran muchos sitios de poca accesibilidad e incrementara la posibilidad de encontrar especies como *Bletia coccinea*. El único registro de esta especie, anterior a este trabajo, fue cuestionado por Salazar (2009), argumentando que es una especie cuya distribución corresponde a una zona con clima más cálido. Es posible que esta sea la única población que existente en la REPSA, por lo tanto, el muestreo estratificado permitió aportar descubrimientos muy valiosos para la orquideoflora del lugar.

La falta de registros metódicos y censos, también provocan que no se puedan realizar inferencias sobre si la abundancia de las orquídeas está cambiando de manera notoria en las últimas décadas, a consecuencia de la perturbación y el cambio climático. Existe la posibilidad de que las diferencias en los listados se deban a que no se tenga un conocimiento taxonómico adecuado de las especies que se recolectan y describen (Salazar, 2009), lo que dificulta su seguimiento.

Otra posibilidad es el desconocimiento de las estructuras vegetativas de las orquídeas que son difíciles de identificar cuando no han presentado escapos florales, lo que sucede para la mayoría de las especies en el momento de muestrear sus poblaciones, pudiendo pasar desapercibidas las orquídeas pequeñas o inconspicuas. Kéry y Gregg (2003) realizaron un estudio de la probabilidad de hacer estimaciones incorrectas de las dinámicas poblacionales en este grupo de plantas, dada la dificultad del conteo de individuos en parcelas experimentales.

## 7.2. La población de *Bletia urbana*.

Un resultado directo de lo anteriormente descrito es la particular situación de *Bletia urbana* en la REPSA. Es necesario destacar que la categoría de amenazada en la que está clasificada, no se basó en ningún estudio que permitiera continuar categorizándola como tal. Dadas las abundancias presentadas en este estudio para el resto de las orquídeas, es evidente que las demás especies del género, exceptuando a *B. campanulata*, estén tendiendo a disminuir sus poblaciones, debido a que pequeñas variaciones climáticas afectan la formación de estructuras reproductivas. Esto se debe a que es muy poco frecuente encontrarlas en floración y por tanto deberán tener un reclutamiento muchísimo más bajo que el calculado en este trabajo para *B. urbana*. Por lo que se refiere a *B. macristmochila*, esta especie tiene la peculiaridad de asociarse con el *Quercetum*, éste ya casi no existe en la REPSA.

Sletvold *et al.* (2013) argumentaron que las decisiones del manejo sobre las poblaciones están basadas en estudios de predicción de matrices calculadas con datos de periodos muy cortos de un solo sitio y esto no permite ponderar con mayor precisión los riesgos que conlleva el cambio climático, por lo que para poder identificar apropiadamente las acciones de conservación, se deben hacer estudios a largo plazo en muchos sitios. Ellos realizaron un estudio demográfico de 30 años en la orquídea terrestre *Dactylorhiza lapponica* y demostraron que los cambios en la germinación, la floración y las probabilidades de supervivencia, cuantificados en escalas de tiempo mayores impactaron en el cálculo de las tasas de vida, teniendo efectos opuestos a lo que tenían proyectado. Estos cambios pueden tener repercusiones a escalas geográficas muy pequeñas. Por esto, analizando estos cambios en la estructura de las comunidades con el tiempo, el conocimiento y manejo de dichas comunidades puede permitir favorecer algunas etapas de mayor susceptibilidad en la especie, por lo que es necesario conocer los ciclos de vida completos.

Las colonias o subpoblaciones de *Bletia urbana* están regularmente formadas hasta por 20 individuos, siendo común encontrar a esta orquídea creciendo individual

(posiblemente un mismo genet) o modularmente (en ramets). Este hecho no pudo ser confirmado debido a que sólo se realizó la documentación de algunas colonias con crecimiento simpodial y edades promedio de 10 años. Con estudios genéticos a través de aloenzimas multilocus, se podría saber si las colonias están formadas por varios genets (Chung *et al.*, 2004). *Bletia urbana*, tiene una estrategia reproductiva k, la cual le favorecería en el proceso de selección debido a que puede presentar un desarrollo lento, una madurez retrasada, reproducción cíclica, capacidad competitiva y eficacia, así como mayor tamaño y descendencia poco numerosa (Tremblay *et al.*, 2003, 2005). Esto lo confirman las poblaciones reintroducidas de manera simbiótica en las que después de 12 años se mantienen de manera constante y estable. Otras especies comunes como *Habenaria novemfida* probablemente tengan una estrategia reproductiva r, presentando un desarrollo rápido, madurez precoz, reproducción única, un elevado potencial biótico, tamaño pequeño y descendencia numerosa, pero carecen de poblaciones variables en el tiempo, además de tener un tiempo de vida corto. Tales implicaciones se pudieron observar en los registros fenológicos que se hicieron en donde, tanto la estructura de tamaños, como la formación del número de flores, cápsulas y escapos, sigue una distribución normal en *Bletia urbana*.

Si bien los datos merísticos soportan adecuadamente la descripción proporcionada para la especie, se observa que la mayor frecuencia en la formación de flores es de cuatro por escapo, de las cuales comúnmente forman cápsula las tres primeras. Se registró una relación entre el tamaño de los individuos y la formación de escapos florales, hecho que pudo deberse a que en el momento de registrar estas variable, la formación del escapo precediera al desarrollo de las hojas como se observó en algunos individuos, o bien que la formación de las estructuras reproductivas fueran producidas con el uso del recursos almacenados previamente en los cormos, sin ninguna relación con el tamaño o superficie foliar (García *et al.*, 2010).

Todos estos aspectos fenológicos son importantes de considerar en el momento de proponer cualquier plan de manejo, ya que nos permite tener más elementos para el establecimiento de sitios adecuados para la conservación y restauración, a saber el tiempo

en que una planta puede tardar en florecer y si este evento está relacionado con las características ambientales. Es importante resaltar por ejemplo, el hecho de que en 2009 a lo largo de los cuatro meses de registro, se observó que las poblaciones emergieron en su punto máximo a partir de la cuarta semana en que se establecieron las lluvias y que la mayor probabilidad de encontrar a la población desarrollando escapos se da a partir de la quinta semana al segundo mes de inicio del periodo de lluvias. Si bien esto ha sido determinado previamente por Flores (2006), se observó que en particular el año 2009 fue un año muy favorable climatológicamente, dado que el inicio de las lluvias no se adelantó, de tal manera que el periodo de receso entre los primeros eventos y la época de lluvias bien establecida, se prolonga de manera considerable. El mes de mayo tuvo una precipitación similar a la de julio, con un periodo de receso en junio, lo que permitió que se promoviera el desarrollo de brotes y que los mayores eventos de floración sucedieran cuando ya las lluvias se habían establecido. La duración de la temporada de lluvias limita la disponibilidad de agua en este ecosistema, así como una intensidad constante produce efectos de saturación indeseables, produciendo pudrición de las cápsulas que afecta directamente las tasas de crecimiento poblacional (Ortega-Larrocea, *com. pers.*). Sin embargo, El efecto de la temperatura y la precipitación, deben relacionarse con los eventos ocurridos el año inmediato anterior ya que una prolongada estacionalidad cálida puede repercutir en el año subsecuente al proporcionar más acumulación de fotosintatos y en consecuencia de reservas que producirá una mayor supervivencia, crecimiento y floración al año siguiente (Sletvold *et al.*, 2013).

Willems y Dorland (2000) observaron que en *Spiranthes spiralis*, disminuía el número de hojas que generaban las plantas un año posterior a la floración, asumiendo que los costos reproductivos permitirían tener un impacto positivo en la población a largo plazo como en el reclutamiento de nuevos individuos. Este efecto se debe a que las plantas retrasan la acumulación de fotosintatos en las estructuras subterráneas durante el periodo de floración, esto ocasiona que en que el siguiente ciclo no produzcan flores, ni la misma cantidad de hojas. Sin embargo, en algunas orquídeas se ha visto que la duración de la época de floración, no está relacionada con el envejecimiento de las plantas como en

*S. spiralis*, en donde posiblemente los individuos lleguen a vivir más de 60 años. Por lo tanto, individuos con 20 años se consideran juveniles. En esta especie se observó que se requería un cierto número de hojas formadas en la roseta antes de que las plantas florecieran por primera vez.

*Bletia urbana* se distribuye en todas las zonas núcleo de la REPSA, es resistente a variaciones en intensidad luminosa, temperatura y calidad de suelo. En general, el Espacio Escultórico es un sitio más iluminado y con variaciones de temperatura más bruscas que el Jardín Botánico. Esto posiblemente se deba a que el último sitio está mucho menos perturbado, presentándose una mayor cobertura vegetal en el Jardín Botánico que tiene un estrato arbóreo mejor desarrollado, en donde existen muchas especies no nativas como eucaliptos. El contenido de nutrimentos varió ligeramente entre los sitios, siendo ligeramente mayor el contenido de P y C en la zona del Jardín Botánico. Suárez-Quijada (2010) observó un enriquecimiento en P en varios de los sitios perturbados de la zona del Jardín Botánico por la adición de cascajo y la quema recurrente, así como profundidades de suelo mayores con un contenido elevado de materia orgánica y en consecuencia de carbono. Flores (2006) incluyó análisis de suelos para las zonas de manejo especial en la REPSA, encontrando valores similares en las variables cuantificadas a los que se documentan aquí para las zonas núcleo. Otras caracterizaciones del suelo para la REPSA (Valladares-Samperio, en proceso) muestran que, aun cuando la profundidad de los suelos varía mucho en todos los microambientes, las propiedades fisicoquímicas se mantienen casi constantes en suelos que no han sido perturbados. Debido a que no se encontró un patrón de asociación vegetal particular para esta especie, registrándose en sitios con buena intensidad lumínica (no en grietas, ni en pozos), es posible que influya más en su distribución la presencia favorable de su simbionte micorrízico y por ende en la germinación y reclutamiento de individuos, más que las características ambientales (Castillo, 2002).

El estudio de la estructura poblacional y demografía, realizado por primera vez para una orquídea de la reserva, pone de manifiesto varios aspectos importantes. El primero de ellos es la dificultad de manejar matrices donde las historias de vida para otro

tipo de especies vegetales distintas a las orquídeas, permitan establecer con mayor precisión los componentes de transición entre estadios de desarrollo, mortalidad y reclutamiento (Larson *et al.*, 1994; Valverde *et al.*, 2004). Por otro lado, el reclutamiento tiende a ser extremadamente bajo o casi insignificante en este grupo de plantas (Batty *et al.*, 2001), haciendo que la  $\lambda$  poblacional sea casi insignificante. Estudios de germinación *in situ* podrían permitir calibrar mejor estos modelos, sin embargo, aunque han sido realizados en repetidas ocasiones sin éxito (Ortega-Larrocea, *com. pers.*), no se han logrado obtener resultados positivos como los encontrados para *Dichromanthus aurantiacus* en el mismo ecosistema (Rangel-Villafranco, 2006). Es posible que esto se deba a que las bletias forman parte de las orquídeas epidendroides que son todas epifitas, lo que dificulta la germinación en el suelo y favorece la fotoblastia (Chávez, 1980; Salazar, *com. pers.*). Los datos analizados en donde el aporte de más de un millón de semillas no aumentan la  $\lambda$  de manera significativa, es consistente con lo observado en campo en donde el número de escapos y cápsulas formadas al menos para un año de monitoreo, no hizo posible que al año siguiente se observaran individuos que hubieran germinado en las cercanías. Ortega-Larrocea (datos no publicados), observó un reclutamiento de un individuo después de 10 años de observaciones en campo en una población de aproximadamente 80 plantas reintroducidas. Si la probabilidad de germinación se viera favorecida por las condiciones de micronicho y aumentando la posibilidad de que encuentre a sus simbiontes micorrízicos, esto sí podría aportar a la población un balance positivo, lo que parece que ocurre ocasionalmente ya que todas las poblaciones analizadas tenían al menos una edad de 10 años promedio. Otro factor es la posibilidad de que las semillas depositadas en un año germinen en años posteriores, pues se ha probado que estas semillas permanecen viables por más de 10 años en condiciones de almacenamiento (Castillo, 2002).

Los estudios de reintroducción simbiótica manifiestan que cuando las plantas micorrizadas se establecen, tienen una gran posibilidad de mantenerse en un estadio de desarrollo constante y por ende supervivencia al menos pasados los primeros tres años (Ortega-Larrocea y González, 2008). Por otro lado, la mortalidad también es difícil de ser

evaluada en este tipo de orquídeas, la cual se calcula después de tres años de observación de no emergencia de las plantas, considerado el valor en la matriz al primer año de no emergencia (Sletvold *et al.*, 2013). Sin embargo, la reaparición del individuo muchos más años después, es común en varias orquídeas (dormancia) y ha sido observado para *Dicromanthus aurantiacus* en orquídeas reintroducidas y monitoreadas durante periodos largos, siendo esto poco común en *Bletia urbana* (Ortega-Larrocea, *com. pers.*). Este tipo de comportamiento se presenta en la REPSA en las orquídeas de los géneros *Deiregyne*, *Sarcoglottis* y *Schiedella*.

Todos los componentes anteriormente mencionados de las historias de vida de *Bletia urbana* deben ser mejor estudiados y entendidos para generar una proyección poblacional con mayor certeza aunque constituyen una primera aproximación que permite junto con los datos de reintroducción, tener más herramientas para el manejo y conservación de ésta y otras especies de orquídeas en este ecosistema. En *B. urbana* se demuestra la necesidad de revalorar los criterios en los que se basa la legislación ambiental para que con estudios como éstos, las especies de orquídeas mexicanas puedan ser protegidas con criterios objetivos. Los estudios demográficos que relacionen las variaciones en las tasas de crecimiento y las condiciones ambientales que prevalecen a lo largo del tiempo, constituyen herramientas poderosas para poder diseñar métodos de conservación, aunque se sabe que estos modelos son producto de investigaciones intensivas y exhaustivas además de laboriosas. Sin embargo, pueden realizarse en un hábitat para aquellas especies que se encuentra en mayor riesgo (Sletvold *et al.*, 2013). Esto permitiría revalorar adecuadamente el estatus de riesgo de nuestras orquídeas mexicanas, al desarrollar estudios demográficos y protocolos de conservación adecuados para ciertos grupos que se pudieran aplicar a otros ecosistemas con sus variantes adecuadas (Soto y Hågsater, 1990). Particularmente en el caso de las bletias ya que México es considerado el centro de diversificación para este género.

## VIII. CONCLUSIONES

Se realizó el primer estudio demográfico de *Bletia urbana*, especie considerada como amenazada por la NOM-059- ECOL-2001, en un ecosistema protegido. Se demostró que los criterios utilizados para catalogarla en la categoría señalada por la normatividad mexicana, probablemente no sean válidos actualmente, debido a que no se tenía una correcta evaluación de la abundancia de sus poblaciones en este ecosistema. Los datos obtenidos demuestran que las poblaciones de esta especie, están conformadas por abundantes individuos, a pesar de las distintas presiones que amenazan este ecosistema. Los estudios fenológicos y demográficos son necesarios para proporcionar herramientas de manejo que nos permitan diagnosticar los factores ambientales que ponen en riesgo las poblaciones y que deben ser establecidos para cada especie de orquídea, en función de su biología intrínseca e historia de vida.

La distribución al azar de las especies de orquídeas en la REPSA provocó que muchas de ellas fueran registradas fuera de las líneas de muestreo. Por lo tanto, el muestreo por cuadrantes puede resultar más efectivo. Las tres zonas núcleo comparten muchas especies de orquídeas, sin embargo, cada zona núcleo tiene sus peculiaridades, el Jardín Botánico por tener la mayor superficie, contiene más especies, pero menor abundancia, el Espacio Escultórico tienen una mayor abundancia, pero menor riqueza y la zona núcleo, con menor área y además muy perturbada, tiene en relación con su superficie, una riqueza casi igual a la del Jardín Botánico. Algunas especies se encuentran casi exclusivamente en una de las zonas núcleo; esto aunado a lo anterior, establece la necesidad de establecer urgentemente programas que permitan proteger la biodiversidad de este grupo de plantas, dado que es indicador del grado de equilibrio de los ecosistemas, resguardando relaciones simbióticas importantes.

Se contribuyó con un registro nuevo de una orquídea para la REPSA, que no había sido mencionado en ninguno de los listados anteriores, lo que también demuestra que un muestreo sistemático incrementa la posibilidad de tener un listado florístico más completo.

## IX. LITERATURA CITADA

- Álvarez, J., Carabias, J., Moreno, P., Nava, D., Rodríguez, F., Tovar, C. y Valiente, A. 1982. Proyecto para la creación de una reserva en el Pedregal de San Ángel. Laboratorio de Ecología. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. 54 p.
- Antonio-Garcés, J. 2008. Restauración ecológica de la zona de amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F. (México). Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 61 p.
- Batty, A. L., Dixon, K. W., Brundrett, M. y Sivasithamparam, K. 2001. Constraints to symbiotic germination of terrestrial orchid seed in a mediterranean bushland. *New Phytol.* 152: 511–520.
- Canfield, R. 1941. Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. *Forestry* 39: 388-349.
- Castillo, M. 2002. Micorrización *in vitro* de *Bletia urbana* (Orchidaceae) como una estrategia para su reintroducción. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 52 p.
- Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., Meave, J. A., Hernández-Apolinar, M., Núñez-Castillo, O., Santibañez-Andrade G. y Guadarrama-Chávez, P. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. En: A. Lot, y Z. Cano (eds.). Pp. 106-133. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, México, D. F.
- Castillo, S., Montes, G., Romero, M., Martínez, Y., Guadarrama, Y., Guadarrama, P., Sánchez, I., y Núñez, O. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (México D. F.). *Bol. Soc. Bot. Méx.* 74: 51-75.
- Castillo, S., Martínez, Y., Romero, M., Guadarrama, Y., Núñez, O., Sánchez, I., y Meave, J. 2007. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Aspectos florísticos y ecológicos. UNAM, México, D. F. 294 p.

- Chávez, A. V. M. 1980. Cultivo asimbiótico de *Bletia urbana* Dressler (Orchidaceae) especie endémica del Pedregal de San Ángel. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 81 p.
- Chung, M. Y., Nason, J. D., y Chung, M. G. 2004. Spatial genetic structure in populations of the terrestrial orchid *Cephalanthera longibracteata* (Orchidaceae). *Am. J. Bot.* 91(1): 52-7.
- Diego, P. N. 1970. Contribución a la flora silvestre de los alrededores del Jardín Botánico de la UNAM. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 186 p.
- Diez, J. 2007. Hierarchical patterns of symbiotic orchid germination linked to adult proximity and environmental gradients. *J. of Ecol.* 95, 159-170.
- Dixon, K., Kell, S., Borret, R. y Cribb, P. 2003. Orchid conservation. Natural History Publications (Borneo). Kota Kinabalu, Sabal.
- Dressler, R. L. 1968. Notes on *Bletia* (Orchidaceae). *Brittonia* 20: 182-190.
- Dressler, R. L. 1993. Phylogeny and classification of the orchid family. Dioscorides Press, Australia. 314 p.
- Espejo, A., García, J., López, A., Jiménez, R. y Sánchez, L. 2002. Dos especies nuevas de orquídeas del estado de Morelos. *Orquídea (Néx.)* 16: 1-392.
- Flores, L. 2006. Contribución al estudio de la familia Ochidaceae en la Reserva del Pedregal de San Ángel y algunas zonas perturbadas por la urbanización de la Ciudad Universitaria UNAM, México, DF. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 131 p.
- García, M. B., Goñi, D., y Guzmán, D. 2010. Living at the Edge: Local versus Positional Factors in the Long-Term Population Dynamics of an endangered orchid. *Cons. Biol.* 24: 1219-1229.
- Gawenda, I., Schröder-Lorenz, A., y Debener, T. 2012. Markers for ornamental traits in *Phalaenopsis* orchids: population structure, linkage disequilibrium and association mapping. *Mol. Breeding* 30: 305-316.

- Gómez-Pompa, A. 1998. La conservación de la biodiversidad en México: Mitos y realidades. *Bol. Soc. Bot. Méx* 63: 33-41.
- Guevara, S. 1999. Aspectos medioambientales y de diversidad biológica en México. *Cuadernos de Biodiversidad* 2: 5-8.
- Hágsater, E., Soto-Arenas, M. A., Salazar-Chávez, G. A., Jiménez-Machorro, R., López-Rosas, M. A., y Dressler, R. L. 2005. Las Orquídeas de México. Instituto Chinoín. México, D. F. 304 p.
- Hutchings, M. J. 2010. The population biology of the early spider orchid *Ophrys sphegodes* Mill. III. Demography over three decades. *J. of Ecol.* 98: 867–878.
- JNCC (Joint Nature Conservation Committee). 2007. Second Report by the UK under Article 17 on the implementation of the Habitats Directive from January 2001 to December 2006. Peterborough: JNCC. [www.jncc.gov.uk/article17](http://www.jncc.gov.uk/article17), fecha de última actualización 18 de noviembre del 2013.
- Kéry, M. y Gregg, K. 2003. Effects of life-state on detectability in a demographic study of the terrestrial orchid *Cleistes bifaria*. *J. of Ecol.* 91: 265–273.
- Kull, T. 2002. Population dynamics of north temperate orchids. *Orchid Biology: Review and Perspectives*, Volume VIII. T. Kull & J. Arditti (eds.). pp. 139–165. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Larson, J., Eguiarte, L., y Cordero, C. 1994. Demografía de *Echeveria gibiflora* DC. (Crassulaceae) en dos ambientes contrastantes del Pedregal de San Ángel. Reserva Ecológica “El Pedregal de San Ángel: Ecología, historia natural y manejo”. Rojo, A., (compilador). UNAM, México D. F. 410 p.
- Lot, A., Pérez-Escobedo, M., Gil-Alarcón, G., Rodríguez-Palacios, S., y Camarena, P. 2012. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos. 30 aniversario 1983-2013. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, ICyT. México D. F. 52 pp.
- Lot, A. y Camarena, P. 2009. El Pedregal de San Ángel de la ciudad de México: reserva ecológica urbana de la Universidad Nacional. En: A. Lot y Z. Cano (eds.). Pp. 19-25. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, México, D. F.

- Lot, A. y Cano-Santana, Z. (eds.). 2009. Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM. México, D. F. 538 p.
- Mera, L., Zárate, M. y Sandoval, Y. 2002. El *herbarium* del Pedregal de San Ángel. *Ciencias* 67: 42-43.
- NOM-059- ECOL-2001. Norma Oficial Mexicana. 2002. Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión.
- Ortega-Larrocea, M. P. y González, D. 2008. Los hongos asociados a las orquídeas terrestres en la restauración. Pp. 219-227. En: Heredia A., G. (Ed.), Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos en Iberoamérica. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa.
- Ortega-Larrocea, M. P., Luna-Rosales, M. S. V., y Chávez-Ávila, V. M. 2000. Potencialidad de la micorrización masiva *in vitro* en la micropropagación de *Bletia urbana* (Orchidaceae). Pp. 28, *En: Resúmenes de la I Reunión Iberoamericana y III Simposio Nacional sobre Micorriza*, Guanajuato, México.
- Ortega-Larrocea, M. P., y Rangel-Villafranco, M. 2007. Fungus-assisted reintroduction and long-term survival of two Mexican terrestrial orchids in the natural habitat. *Lankesteriana* 7 (1-2): 320-325.
- Ortega-Larrocea, M. P., Martínez, A., y Chávez, V. M. 2009. Conservación y propagación de orquídeas. En: A. Lot, Z. Cano-Santana (eds.). Pp. 483-495. Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México, D. F.
- Panti, M. M. A. 1984. Contribución al conocimiento del Pedregal de San Ángel sobre el problema de su flora y su conservación. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 72 p.
- Peña, M. 1989. La familia Orchidaceae en el valle de México. *Ecología urbana*. R. Gio-Argáez, I. Hernández-Ruíz, y E. Sáinz-Hernández (eds.). Sociedad Mexicana de Historia Natural. México, D.F. 220 p.

- Peralta-Higuera, A. y Prado-Molina, J. 2009. Los límites y la cartografía. En: A. Lot, y Z. Cano, (eds.). Pp. 27-42. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, México, D. F.
- Ramsey, M. M., y Stewart, J. 1998. Re-establishment of the lady's slipper orchid *Cypripedium calceolus* L. in Britain. Bot. J, of Linnean Soc. 126: 173-181.
- Rangel, M. 2004. Aislamiento de hongos micorrízicos de orquídeas terrestres de la reserva "El Pedregal" de San Ángel, México, DF. Tesis de licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores, Iztacala, UNAM, México, D. F. 98 p.
- Rangel-Villafranco, M. 2006. Germinación simbiótica y reintroducción de orquídeas terrestres en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, México, D. F. Maestría en Ciencias Biológicas, UNAM, México D. F. 115 p.
- Rojo, A. (Compilador). 1994. Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel": Ecología, Historia Natural y Manejo. UNAM, México, D. F. 410 p.
- Rubluo, A., Chávez, V., y Martínez-Palacios, A. 1989. *In vitro* seed germination and reintroduction of *Bletia urbana* (Orchidaceae) in its natural habitat. *Lindleyana* 4(2): 68-73.
- Rubluo, A., Chávez, V., Martínez, A. P. y Martínez-Vázquez, O. 1993. Strategies for the recovery of endangered orchids and cacti through *in vitro* culture. *Biol. Cons.*63: 163-169.
- REPSA (Reserva Ecológica el Pedregal de San Ángel). 2013. Portal de la Reserva Ecológica Pedregal de San Ángel (en línea). <http://www.repsa.unam.mx>. Fecha de última consulta: 28 de enero del 2014.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel. (México, D. F.). A. de la ENCB. 8 (1-2): 59-129.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana* 14: 3-21.
- Salazar, G. 2009. Orquídeas. En: Lot, A. y Cano, Z (eds.). Pp. 153-169. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, México, D. F.

- Salazar, G. A., Jiménez-Machorro, R. y Ortega-Larrocea, P. Biodiversidad de orquídeas en el Distrito Federal. *En: Estudio sobre biodiversidad de los Estados*. CONABIO. *Aceptado en prensa*.
- Sarmiento, F. M. 1995. Consideraciones sobre aspectos reproductivos y ecología de especies de géneros de la familia Orchidaceae en el Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias. UNAM, México, D. F. 76 p.
- Seaton, P. T., Hu, H., Perner, H., y Pritchard, H. W. 2010. *Ex Situ Conservation of Orchids in a Warming World*. *The Botanical Review* 76: 193-203.
- Shefferson, R. P., Proper, J., Beissinger, S. R., y Simms, E. L. 2003. Life-history trade-offs in a rare orchid: the costs of flowering, dormancy and sprouting. *Ecology* 84: 1199–1206.
- Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 ± 35 años AP y sus implicaciones. *En: A. Lot y Z. Cano, (eds.)*. Pp. 43-49. Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, México, D. F.
- Sletvold, N., Dahlgren, J. P., Øien, D. I., Moen, A., y Ehrl-En, J. 2013. Climate warming alters effects of management on population viability of threatened species: results from a 30-year experimental study on a rare orchid. *G. Ch. Biol.* 19: 2729–2738.
- Soto, M., y Hågsater, E. 1990. Algunas ideas acerca de la conservación de las orquídeas mexicanas y un listado preliminar de los taxa amenazados. *En: J. L. Camarillo, y F. Rivera (eds.)*. Áreas naturales protegidas den México y especies en extinción. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp. 155-172.
- Soto-Arenas, M. A., Solano-Gómez, R., y Hågsater, E. 2007. Risk of extinction and patterns of diversity loss in Mexican orchids. *Lankesteriana* 7(1-2): 114-121.
- Suárez-Quijada, I. 2010. Alternativas simbióticas de conservación (micropagación y reintroducción) de *Dichomanthus aurantiacus* (Orchidaceae), como especie modelo en la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel. Maestría en Ciencias Biológicas, UNAM, México, D. F. 148 p.
- Swarts, N. D. y Dixon, K. W. 2009. Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *A. of Bot.* 104: 543-556.

- Téllez-Velasco, A., y Flores-Villanueva, L. 2007. Orquídeas terrestres del Pedregal de San Ángel. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F. 74 pp.
- Trapnell, D. W., Hamrick, J. L., y Nason, J. D. 2004. Three-dimensional fine-scale genetic structure of the neotropical epiphytic orchid, *Laelia rubescens*. *Mol. Ecol.* 13: 1111-1118.
- Tremblay, R., y Ackerman, J. D. 2003. The genetic structure of orchid populations and its evolutionary importance. *Lankesteriana* 7: 87-92.
- Tremblay, R. L., Ackerman, J. D., Zimmerman, J. K., y Calvo, R. N. 2005. Variation in sexual reproduction in orchids and its evolutionary consequences: a spasmodic journey to diversification. *Biol. J. of the Linnean Soc.* 84: 1–54.
- Valiente-Banuet, A. y De Luna, G. E. 1990. Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Ángel. México, D.F. *A. Bot. Mex.* 9: 13-30.
- Valiente-Banuet, A. y De Luna, E. 1994. Una lista florística para la reserva del Pedregal de San Ángel. Reserva ecológica “El Pedregal de San Ángel: Ecología, historia natural y manejo “. A. Rojo (compilador). UNAM, México, D., F. 410 p.
- Valverde, T., Quijas, S., López-Villavicencio, M. y Castillo, S. 2004. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in central Mexico. *P. Ecol.* 170: 167–184.
- Warner, B. 2006. An analysis of seed production, viability, germination in situ, and grazing impacts on the western prairie fringed orchid (*Platanthera praeclara*, sheviak and bowles. A dissertation submitted to the graduate Faculty of the North Dakota State University of Agriculture and Applied Science. Fargo, North Dakota. Sometido
- Waterman, R. J., y Bidartondo, M. I. 2007. Deception above, deception below: linking pollination and mycorrhizal biology in orchids. *J. Of Exp. Bot.* 59: 1085-1096.
- Whigham, D. F., y Willems, J. H. 2003. Demographic studies and life-history strategies of temperate terrestrial orchids as a basis for conservation. *Orchid Conservation* K.W. Dixon, S.P. Kell, R.L. Barrett y P.J. Cribb (eds.). Pp. 138–158. Natural History Publications (Borneo), Kota Kinabalu, Sabah.

- Willems, J. H., y Dorland, E. 2000. Flowering Frequency and Plant Performance and their Relation to Age in the Perennial Orchid *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. *Plant Biol.* 2: 344–349.
- Yam, T. W., Chua, J., Tay, F., y Peter, A. 2010. Conservation of the native orchids through seedling culture and reintroduction - A Singapore experience. The Free Library (June, 1), [http://www.thefreelibrary.com/Conservation of the native orchids through seedling culture and...-a0229227396](http://www.thefreelibrary.com/Conservation+of+the+native+orchids+through+seedling+culture+and...-a0229227396) (fecha de última consulta 28 de enero del 2013).
- Zettler, L. W., Wood, E.M., Johnson, L. J. A. N., Kirk, A., y Perlman, S. 2011. Seed propagation and re-introduction of the U.S. Federally endangered Hawaiian endemic, *Platanthera holochila* (Hbd.) Krz. (Orchidaceae). *E. J. Env. Sc.* 1(2): 80-94.
- Zettler, L. W. 2008. An overview of the orchid fungal association, and its application to orchid conservation in the Americas. Proceedings of the 19th World Orchid Conference, Miami, FL, p. 315-318.