





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

**MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**Distribución potencial y caracterización física y fisiológica de semillas de  
*Govenia superba* (Lex.) Lindl. (Orchidaceae) como estrategias para su  
conservación.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA**

**MARTIN ZAMORA GARCÍA**

**El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Marzo de 2022.**





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

**MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**Distribución potencial y caracterización física y fisiológica de semillas de  
*Govenia superba* (Lex.) Lindl. (Orchidaceae) como estrategias para su  
conservación.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA**

**MARTIN ZAMORA GARCÍA**

**COMITÉ DE TUTORES**

**DR. ANTONIO LAGUNA CERDA**

**DR. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SANDOVAL**

**DRA. HILDA EULALIA LEE ESPINOSA**

**El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Marzo de 2022**

# RESUMEN

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue modelar la distribución potencial de seis especies del género *Govenia*, incluyendo *Govenia superba*, y realizar un análisis de semilla (físico y fisiológico) de esta orquídea. En México se cuenta con una gran diversidad de especies de la familia Orchidaceae. Sin embargo, son especies muy vulnerables debido al tráfico ilegal, pérdida de hábitat y cambio climático, además de sus dependencias bióticas y abióticas. Desafortunadamente no existen estrategias de conservación para muchas especies de orquídeas, entre ellas las del género *Govenia*. Surgiendo la obligación de preservar estos materiales para futuras generación lo que hace necesario generar medidas de conservación. *Govenia superba* es una orquídea terrestre que crece en los bosques templados México y se ha observado la reducción de sus poblaciones. En el presente trabajo se muestran dos estrategias para la conservación de esta orquídea, que puede servir como modelo para otras especies de orquídeas terrestres. Primeramente, se modeló la distribución potencial de las seis especies del grupo *superba* del género *Govenia* presentes en México con coordenadas geográficas de cuatro herbarios en los softwares MaxEnt y Qgis, de donde se obtuvieron mapas de distribución potencial. Para el análisis físico y fisiológico, se realizó la prueba de tetrazolio al 1% para evaluar la viabilidad de la semilla y se realizaron pruebas de germinación *in vitro* con diferentes medios de cultivo. Con el modelado se obtuvieron mapas de la distribución potencial de seis especies de *Govenia* en México, así como las variables que determinan su presencia. Se encontró una viabilidad de la semilla de 60.95 % en la prueba de TTC. Se alcanzó la etapa de protocormo con el Medio de Multiplicación (MM), MS al 50% más 10% de agua de coco (MS 50% + 10% ACT), MS al 100% más 10% de agua de coco (MS 100% + 10% ACT), a las 16 semanas en el medio MM y 8

semanas en ambos medios MS; la etapa de formación de cormo solo se alcanzó en MS 50% + 10% ACT y MS 100% + 10% ACT a las 36 y 35 semanas respectivamente; la aparición de raíces también solo se presentó en MS 50% + 10% ACT a las 42 semanas y en MS 100% + 10% ACT a las 44 semanas. En el tratamiento MS 50 + 10% ACT+ CA la aparición de hojas se dio a la semana 80. Como conclusiones se tiene que las especies del grupo *superba* del género *Govenia* en México se encuentran distribuidas principalmente en el centro y sur del país, su presencia está determinada por la altitud, la estacionalidad de la temperatura, y la temperatura máxima del mes más cálido, habiendo regiones donde se pueden encontrar tres especies juntas del grupo *superba*. La semilla de *Govenia superba* es viable en un 60.95 % de acuerdo a la prueba de TTC, su desarrollo *in vitro* se ve beneficiado con complementos naturales como el agua de coco, en general conocer la calidad de semilla permite su conservación *ex situ*.

La presente información es un precedente para la toma de decisiones sobre las estrategias básicas que se pueden tomar para generar información sobre el género *Govenia*, y sobre otras especies de orquídeas de hábito terrestre.

## ABSTRACT

The objective of this work was to model the potential distribution of six species of the genus *Govenia*, including *Govenia superba*, and to perform a seed analysis (physical and physiological) of this orchid. In Mexico there is a great diversity of species of the Orchidaceae family. However, they are very vulnerable species due to illegal trafficking, loss of habitat and climate change, in addition to their biotic and abiotic dependencies. Unfortunately, there are no conservation strategies for many species of orchids, including those of the genus *Govenia*. The obligation to preserve these materials for future generations arises, which makes it necessary to generate conservation measures. *Govenia superba* is a terrestrial orchid that grows in the temperate forests of Mexico and the reduction of its populations has been observed. In the present work, two strategies for the conservation of this orchid are shown, which could serve as a model for other species of terrestrial orchids. First, the potential distribution of the six species of the *superba* group of the genus *Govenia* present in Mexico was modeled with geographic coordinates of four herbaria in the MaxEnt and Qgis software, from which potential distribution maps were obtained. For the physical and physiological analysis, the 1% tetrazolium test was performed to evaluate the viability of the seed and in vitro germination tests were performed with different culture media. With the modeling, maps of the potential distribution of six species of *Govenia* in Mexico were obtained, as well as the variables that determine their presence. A seed viability of 60.95% was found in the TTC test. The protocorm stage was reached with the Multiplication Medium (MM), 50% DM plus 10% coconut

water (MS 50% + 10% ACT), 100% DM plus 10% coconut water (MS 100 % + 10% ACT), at 16 weeks in the MM medium and 8 weeks in both MS media; the corm formation stage was only reached in MS 50% + 10% ACT and MS 100% + 10% ACT at 36 and 35 weeks respectively; the appearance of roots also only appeared in MS 50% + 10% ACT at 42 weeks and in MS 100% + 10% ACT at 44 weeks. In the MS 50 + 10% ACT+ CA treatment, the appearance of leaves occurred at week 80. As conclusions we have that the species of the *superba* group of the genus *Govenia* in Mexico are distributed mainly in the center and south of the country, their presence is determined by the altitude, the seasonality of the temperature, and the maximum temperature of the warmest month, there are regions where three species of the *superba* group can be found together. The *Govenia superba* seed is 60.95% viable according to the TTC test, its *in vitro* development is benefited with natural supplements such as coconut water, in general knowing the quality of the seed allows its ex situ conservation.

This information is a precedent for decision-making on the basic strategies that can be taken to generate information on the genus *Govenia*, and on other species of orchids of terrestrial habit.

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
I. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1 Generalidades de las orquídeas. ....	12
2.1.1 Biología y morfología de las orquídeas.....	13
2.2 Importancia y situación actual de las orquídeas en México .....	16
2.3 Estrategias de conservación de orquídeas .....	19
2.3.1 Conservación <i>in situ</i> .....	19
2.3.1.1 Áreas Naturales protegidas .....	20
2.3.2 Conservación <i>ex situ</i> .....	20
2.3.2.1 Bancos de germoplasma .....	21
2.3.2.2 Orquidearios y UMAs .....	22
2.3.2.3 Cultivo <i>in vitro</i> .....	22
2.3.2.4 Cultivo <i>in vitro</i> de orquídeas en México.....	25
2.4 Distribución potencial de especies.....	29
2.4.1 Modelo de distribución de especies .....	30
2.4.2 Programas para el modelado de la distribución potencial de especies.....	32
2.4.3 Variables determinantes de presencia de especies.....	32
2.4.4 Modelado de distribución potencial de orquídeas en el mundo y en México.....	33
2.5. Análisis y caracterización de semilla de orquídeas .....	36

2.5.1 Análisis físico de semillas de orquídeas .....	36
2.5.2 Análisis fisiológico: viabilidad de semillas. ....	36
2.5.2.1 Prueba de tetrazolio.....	37
2.5.2.2 Pruebas de germinación <i>in vitro</i> .....	38
2.6. Estudio de caso: <i>Govenia superba</i> (Lex.) Lindl. ....	39
2.6.1.1 Genero <i>Govenia</i> Lindl.....	39
2.6.1.2 <i>Govenia superba</i> (Lex.) Lindl.....	42
III. JUSTIFICACIÓN.....	47
IV. HIPOTESIS .....	49
V. OBJETIVOS .....	51
VI. MATERIALES Y METODOS .....	53
6.1 Modelado de distribución potencial del grupo <i>superba</i> .....	54
6.1.1 Revisión de ejemplares de herbario.....	54
6.1.2 Modelación de áreas de distribución potencial para cada una de las especies del grupo <i>superba</i> del Genero <i>Govenia</i> presentes en México.....	55
6.1.3 Modelación de áreas de distribución potencial del grupo <i>superba</i> del Genero <i>Govenia</i> en México. ....	57
6.1.4 Variables determinantes de la presencia de especies. ....	58
6.2. Análisis físico y fisiológico de semillas de <i>Govenia superba</i> . ....	58
6.2.1 Material vegetal para análisis de calidad de semilla y germinación <i>in vitro</i> . ....	58
6.2.2 Metodología para el análisis físico. ....	59
6.2.3 Metodología para el análisis fisiológico de semilla de <i>Govenia superba</i> .....	60
6.2.3.1 Prueba de tetrazolio .....	60
6.2.3.2 Prueba de germinación asimbiótica <i>in vitro</i> de semillas de <i>Govenia superba</i> . ....	61

VII. RESULTADOS .....	64
VIII. DISCUSIÓN GENERAL .....	100
IX. CONCLUSIÓN GENERAL .....	108
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111
XI. ANEXOS .....	119

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Algunos orquidiarios que se encuentran en México.....	22
Cuadro 2. Especies de orquídeas declaradas en peligro de extinción (P) y extintas en la naturaleza (E) por la NOM-059-SEMARNAT-2010. ....	26
Cuadro 3. Investigaciones realizadas en especies de orquídeas amenazadas y sujetas a Protección especial. ....	27.
Cuadro 4. Trabajos de propagación <i>in vitro</i> de especies silvestres no amenazadas.....	28
Cuadro 5. Trabajos de distribución potencial de varias especies de orquídeas terrestres alrededor del mundo.....	34
Cuadro 6. Ensayos <i>in vitro</i> para la prueba de germinación de semillas de <i>Govenia superba</i> realizados con diferentes medios y sus modificaciones. ....	63
Cuadro 7. Resumen de resultados de la caracterización de semilla.....	96

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	NOMBRE	PÁGINA
1.	Orquídeas del género <i>Laelia</i> , orquídeas endémicas de México. ....	9
2.	Destrucción del hábitat natural y comercio ilegal, principales problemáticas que ponen en riesgo la conservación de orquídeas silvestres.....	10
3.	Orquidaceae, familia más evolucionada de las angiospermas que está bien representada en México. De izquierda a derecha, <i>Govenia capitata</i> , <i>Sobralia macranta</i> y <i>Dichromantus aurantiacus</i> especies terrestres presentes en el territorio mexicano. ....	12
4.	Partes de las flores de las orquídeas.....	14
5.	Las semillas de orquídea son microscópicas, poseen un embrión inmaduro recubierto por una capa delgada llamada testa.....	15
6.	Cultivo <i>in vitro</i> de la orquídea epífita <i>Guarianthe aurantiaca</i> en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx. ....	23
7.	Modelo de Distribución potencial de algunas especies de orquídeas terrestres en el programa MaxEnt.....	30.
8.	Especies de orquídeas mexicanas que se ha estudiado su distribución potencial: izq., <i>Laelia speciosa</i> ; centro, <i>Vanilla planifolia</i> y der., <i>Laelia</i> × <i>tlaxiacoensis</i> , imagen tomada de Solano <i>et al.</i> , 2019.....	35
9.	<i>Govenia polychroma</i> , especie endémica mexicana recientemente descrita, imagen tomada de Salazar <i>et al.</i> , 2018.....	39

10. Árbol del análisis morfológico cladístico del genero <i>Govenia</i> tomado de Cruz-García y Sosa (2005) donde se muestra la relación filogenética del grupo <i>superba</i> .....	41
11 Variedad de colores que presenta <i>Govenia superba</i> , desde blanco, verdoso hasta amarillo.....	43
12. Inflorescencia y hojas de <i>Govenia superba</i> . Izquierda: Inflorescencia con flores receptivas. Centro: plantas con inflorescencias. Derecha: Planta en maceta.....	44
13. Cambio de uso de suelo en Michoacán, donde antes se encontraba bosque de pino-encino con presencia de <i>Govenia superba</i> actualmente es un área frutícola.....	45
14. Venta de ejemplares de <i>Govenia superba</i> en Oaxaca (izquierda) y en un mercado de Morelia (derecha). .....	45
15. Ejemplares de los cuales se tomó información para el modelo de la distribución potencial de algunas especies del género <i>Govenia</i> . .....	55
16. Semillas viables analizadas por la prueba de tetrazolio, observadas por microscopio estereocópico. ....	60
17. Área de incubación donde se desarrollaron el experimento y los ensayos in vitro de germinación. ....	62
18. Vista en un microscopio estereoscópico de una semilla de <i>Govenia superba</i> y sus dimensiones.....	96
19. Semillas después de la prueba de tetrazolio donde se aprecia la coloración rojiza de los embriones, lo que indica la viabilidad de la semilla.....	97
20. Etapas de desarrollo de <i>Govenia superba</i> mediante propagación in vitro: a) etapa de imbibición; b) protocormo inicial, esta etapa indica la germinación de la semilla; c) cormo; d) emisión de raíces del cormo, y e) desarrollo de plántula, donde se aprecia el crecimiento del tallo y de las hojas.....	98

21. Desarrollo de semillas de *G. superba* sembrada en medio Murashige & Skoog modificado. MS+ 10% ACT medio Murashige & Skoog adicionado con 10% de agua de coco; MS 50 + 10% ACT, medio Murashige & Skoog con concentración de sales al 50% adicionado con 10% de agua de coco; MS+ 10% ACT + CA medio Murashige & Skoog adicionado con 10% de agua de coco y carbón activado; MS 50 + 10% ACT + CA medio Murashige & Skoog con concentración de sales al 50% adicionado con 10% de agua de coco y carbón activado; MS +CA, medio Murashige & Skoog adicionado con carbón activado; MS 50 + CA, medio Murashige & Skoog con concentración de sales al 50% adicionado con carbón activado. ....99

# **I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La riqueza biológica de México es tan grande que ocupa la posición quinta dentro de los países de mayor biodiversidad en el mundo. Expertos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) refieren que en el territorio mexicano se han clasificado a la fecha entre 564 mamíferos; entre 1,123 y 1,150 aves; 864 reptiles y 376 anfibios, así como 23,424 plantas vasculares; además de hongos, microorganismos y diversidad genética (SEMARNAT, 2018).

La flora mexicana es tan grande y diversa, que tan solo en número de especies de orquídeas México ocupa el noveno lugar en número de especies a nivel mundial (Aguilar *et al.*, 2017), en el territorio nacional existen 1425 especies, 180 géneros (Hágsater *et al.*, 2015) y un endemismo del 40% en orquideoflora (Castillo-Pérez *et al.*, 2018). En ejemplo claro de orquídeas endémicas de México son algunas del género *Laelia* como se aprecia en la figura 1.



Figura 1. Orquídeas del género *Laelia*, orquídeas endémicas de México.

Las orquídeas destacan por su belleza y sus formas tan atractivas, sin embargo, esta familia es de las más afectadas por las actividades antropomórficas, saqueo y comercio ilegal (Castillo-Pérez *et al.*, 2018). Tanto es el perjuicio que toda la familia Orchidaceae se encuentra en los apéndices I y II de la CITES (2013), y en nuestro país alrededor del 15% de las especies presentes en el territorio se

encuentran en la Norma Oficial Mexicana NOM- 053- SEMARNAT-2010, estando dentro de algún estatus de riesgo.

Por lo anterior es necesario generar y tomar medidas de conservación, ya que nos enfrentamos al riesgo de perder especies completas de orquídeas, es decir su extinción (Hágsater *et al.*, 2015). En México, debido a todos los problemas de la extracción ilegal de orquídeas y el deterioro de los hábitats naturales, todas las formas de conservación de las orquídeas podrían ser válidas y necesarias (Tejeda-Sartorius *et al.*, 2017). Lo que refleja la importancia de generar estrategias de conservación de estos recursos fitogenéticos.



Figura 2. Destrucción del hábitat natural y comercio ilegal, principales problemáticas que ponen en riesgo la conservación de orquídeas silvestres.

Una de las primeras estrategias es ubicar donde se encuentran estas especies para conocer información de sus poblaciones, así como las características de sus hábitats y otra muy importante son las *ex situ*, como los bancos de germoplasma. En este sentido el uso de modelos de distribución potencial para determinar variables que determinan la presencia de especies contribuyen con dichas estrategias y los análisis de calidad física y fisiológica de semillas de orquídeas aportan información valiosa al resguardo de propágulos en bancos de germoplasma.

# **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades de las orquídeas

La familia Orchidaceae incluye 850 géneros y se considera la familia más grande y especializada de las angiospermas. Un aspecto muy notable de las orquídeas es su gran diversidad, las estimaciones recientes del tamaño de esta familia sugieren que deben de existir entre 20 000 y 30 000 especies. (Hágsater *et al.*, 2015) y cada año se describen nuevas especies.



Figura 3. Orchidaceae, familia más evolucionada de las angiospermas que está bien representada en México. De izquierda a derecha, *Govenia capitata*, *Sobralia macranta* y *Dichromantus aurantiacus* especies terrestres presentes en el territorio mexicano.

Esta familia de plantas con flores muy llamativas tiene un papel ecológico muy importante (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009), generan una derrama económica sustancial debido a el gran interés comercial que han despertado desde hace muchos años en el comercio mundial (Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006), forma parte de la vida cultural y etnobotánica de muchos pueblos en México (Hágsater *et al.*, 2015; Berdan, 2007 ) y son especies que por sus condiciones requieren de medidas de conservación (Menchaca-García *et al.*, 2012; Lee-Espinosa *et al.*, 2010; Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006 ).

### 2.1.1 Biología y morfología de las orquídeas

La familia Orchidaceae es considerada una de las más evolucionadas y botánicamente se diferencia del resto de las plantas fanerógamas por su morfología. Las orquídeas tienen características que las distinguen de las demás fanerógamas, incluida la estructura de sus flores y raíces, sus complejos procesos de polinización, y su papel ecológico en donde tienen interacciones establecidas con otros organismos vivos, que van desde microorganismos hasta plantas superiores (Castillo-Pérez *et al.*, 2018; Hágsater *et al.*, 2015).

El tallo de las orquídeas es comparable a una caña o carrizo y está formada por segmentos o entrenudos delimitados por nudos o anillos cicatrízales. Estas plantas poseen diferentes tipos de tallos, la mayoría presenta pseudobulbos y otras cormos. Los pseudobulbos son talos aéreos notablemente engrosados, presentes en orquídeas epifitas y algunas terrestres rupícolas. Mientras que las sus contrapartes subterráneas son los cormos, característicos de varios grupos de orquídeas epidendroides terrestres como *Bletia*, *Govenia*, *Liparis* y *Malaxis* (Hágsater *et al.*, 2015).

La flor es la parte más conspicua y atractiva de esta familia. Las flores por lo general son hermafroditas y portan tanto órganos sexuales masculinos (estambres y sus anteras) como femeninos (ovario, estilo y estigma). Sin embargo, hay casos en los que los sexos están separados ya sea en el tiempo o en el espacio. Poseen simetría bilateral, presentan una fusión, al menos parcial, entre los filamentos de los estambres y el estilo para constituir una estructura única que incluye ambos órganos sexuales, llamada columna o ginostemio. Uno de los pétalos, el opuesto al o a los estambres, suele ser diferente de los otros dos, ya sea en tamaño, forma, color o engrosamiento o presentar áreas que producen néctar, compuestos aromáticos o pseudopolen. Este pétalo modificado llamado labio o labelo, es por lo general la parte, más vistosa de la flor y tiene la función de atraer, guiar o servir como plataforma de aterrizaje a los polinizadores. Otras características

generales son la presencia de polen agregado, salvo las orquídeas apostasioides y algunos representantes de Cyripedioideae y Vanilloideae, el polen presenta un grado de agregación y en la mayoría es liberado en unidades formadas por cuatro granos (tetradas) que a su vez forman cuerpos más o menos solidos llamados polinios. Con la excepción de las orquídeas apostasioides y cyripedioides, la columna presenta un rostelo, que es una parte no receptiva del lóbulo medio del estigma que separa los polinios de la superficie fértil del estigma e interviene en la dispersión de aquellos. La presencia de un labelo y una columna en lados opuestos de la flor así como la presencia de polinios son en general buenos atributos para reconocer las orquídeas (Hágsater *et al.*, 2015).

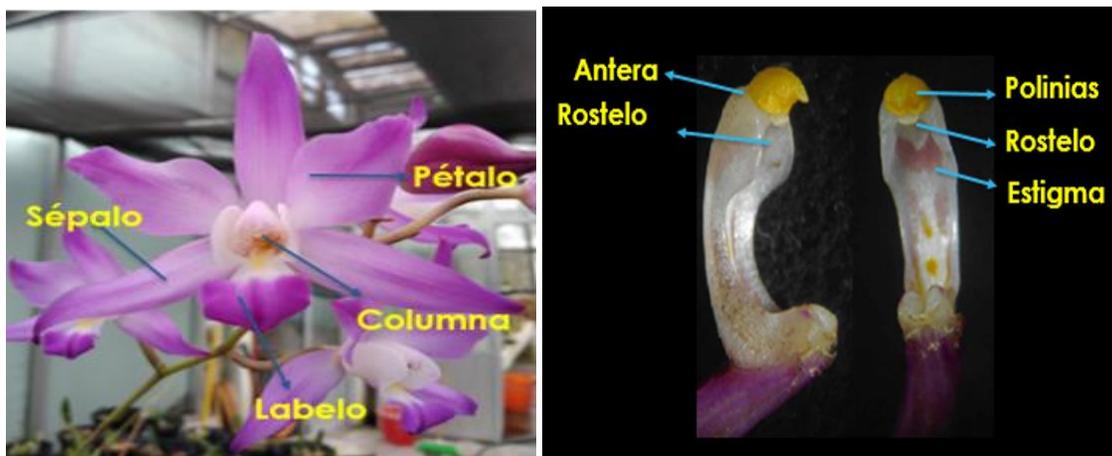


Figura 4. Partes de las flores de las orquídeas.

Con muy pocas excepciones, los frutos de las orquídeas son cápsulas que al madurar presentan varias aberturas longitudinales a través de las cuales liberan las semillas. El fruto que se origina de la polinización se denomina cápsula y en este se encuentran de miles a millones de diminutas semillas.

Las semillas son de tamaño muy pequeño, incluso algunas son microscópicas, las semillas de las orquídeas carecen de endospermo y necesitan una simbiosis con hongos, que proporcionan nutrientes, para su germinación. La cantidad de semillas es muy variable entre especies. La

viabilidad en la naturaleza es muy baja. Su tamaño es muy pequeño, miden entre 0.3 y 4mm de largo y pesan por lo general entre 0.4 y 2  $\mu\text{g}$  (Arditii, 1992).



**Figura 5.** Las semillas de orquídea son microscópicas, poseen un embrión inmaduro recubierto por una capa delgada llamada testa.

Las hojas de las orquídeas además de las funciones básicas que desempeñan la mayoría de las plantas, presentan algunas modificaciones y funciones particulares. Algunas presentan algún grado de succulencia, muchas presentan hipodermis, que es un tejido translucido bajo la epidermis cuya función es almacenar agua. La presencia de follaje deciduo es más común entre las especies terrestres no presentan hojas, esto como una estrategia menos costosa, solo las desarrollan durante la temporada húmeda del año y al finalizar dicho periodo las hojas se pierden y solo quedan las partes subterráneas. Sin embargo, varios grupos de epifitas producen hojas de corta duración, caso de la subtribu Catasetinae, las cuales producen hojas amplias y delgadas en temporada de lluvia y se marchitan y caen al final de esta.

Las raíces de las orquídeas son simples o ramificadas, carnosas y con un diámetro aproximado de entre 1 y 10 milímetros, dependiendo de la especie. La porción más externa de la raíz es la

epidermis, que suele formar un tejido esponjoso y blanquecino en orquídeas epífitas llamado velamen formado por células que al madurar mueren y pierden el citoplasma. La función principal de las raíces es absorber agua y nutrientes y fijar la planta al sustrato (Hágsater *et al.*, 2015).

## 2.2 Importancia y situación actual de las orquídeas en México

México como un territorio con gran biodiversidad, en cuestión de diversidad de orquídeas posee el noveno lugar a nivel mundial, hay más de 1200 especies distribuidas aproximadamente en 170 géneros, de estas especies el 40% son endémicas del país (Hágsater *et al.*, 2015; Castillo *et al.*, 2018), es decir que no se pueden encontrar en otro lugar.

Algunas especies de orquídeas mexicanas son muy atractivas para horticultores, coleccionistas y público en general, por lo que se extraen de sus hábitats naturales y se comercializan ilegalmente, lo que lleva a su amenaza de extinción (Merritt *et al.*, 2014). Actualmente, las orquídeas de México son considerada la segunda familia de plantas más amenazada en términos de tráfico ilegal de especies, algo que ocurre incluso en áreas protegidas de México (Cruz-García *et al.* 2015; Castillo *et al.*, 2018).

La importancia de esta familia botánica en México recae en varios aspectos: cultural, económico, biológico y ecológico. En la parte cultural es indudable que estas plantas forman parte de la cultura y en muchos casos de las tradiciones y costumbres. Muchas etnias y pueblos indígenas, así como en algunas regiones tienen usos característicos de algunas orquídeas (Hágsater *et al.*, 2015. Berdan, 2007). El principal uso es ornamental: el género *Laelia*, principalmente *L. autumnalis* y *L. anceps* se utilizan para adornar altares en Día de Muertos, *L. speciosa* para adornar altares y como parte del tocado en la vestimenta tradicional en la celebración del Corpus en Cañada de los Once Pueblos. Otra especie con uso ornamental es *Oncidium sphalelatum* (flor de mayo o chorizo con huevo) que

adorna cruces en Veracruz y Chiapas durante la celebración de la Santa Cruz, el 3 de mayo. Otro uso es el terapéutico e incluso forman parte como ingredientes de la gastronomía local como lo es *Prostechea karwinskii* en Oaxaca, que se usa para preparar “agua de gloria”, una bebida tradicional (Hágsater et al., 2015) y como antiinflamatorio (Barragán-Zarate et al., 2020). Otras orquídeas con usos medicinales son *Isochilus* y *Bletia coccinea* para curar la desinteria, con *Catasetum integerrimum* y *Bletia purpurea* se preparan cataplasmas, con flores de *Laelia autumnalis* se prepara una infusión para la tos y la salvia de *Rhyncolaelia digbyana* detiene hemorragia en las heridas (Castillo-Pérez et al., 2018; Hágsater et al., 2015).

En el aspecto económico en México hay producción comercial de orquídeas originarias de otras partes del mundo como *Phalaenopsis*, *Cymbidium*, *Cattleya*, *Dendrobium* y *Zigopetalum*, aunque en muchos de los mercados locales también se ofrecen especies silvestres, que en general son plantas extraídas y depredadas (Flores-Tolentino et al., 2020; Aguilar-Morales, 2017; Hágsater et al., 2015). Una orquídea mexicana nativa con mucho valor monetario es la vainilla (*Vanilla planifolia*) debido a que es una de las plantas aromáticas más importantes de la industria alimenticia (Hernández-Ruiz et al., 2016).

En los aspectos biológico y ecológico cabe señalar que la diversidad de las orquídeas de México, es muy grande, situando al país dentro de la lista de los 10 países con mayor variedad de especies a nivel mundial, esto debido en gran parte a la gran diversidad de biomas, relieves y microclimas, por lo que actualmente se reconocen poco más de 1200 especies y se estima que el número final estará entre 1300 y 1400 (Hágsater et al., 2015). Por otra parte, estas plantas tienen una estrecha relación con hongos micorrízicos (Ortega-Larrocea et al., 2009; McKendrick, 2000), polinizadores y además con sus hospederos (Flores-Tolentino et al., 2020), sobresaliendo su papel en los ecosistemas que habitan, si alguna especie de la cadena llegara a faltar pondría en riesgo la existencia de los demás

organismos con los que coexiste (Ortega-Larrocea et al.,2009), por lo cual es necesario que prevalezcan estos organismos.

Debido a su belleza ornamental, y la difícil reproducción por métodos convencionales (Menchaca et al., 2021) las especies silvestres de orquídeas se enfrentan a una crítica situación: de comercio ilegal, extracción de las orquídeas de su hábitat, tanto de aquellas de uso ornamental como de aquellas con potencial ornamental, así como de aquellas que ya se encuentran reguladas por la ley.

Aunado al comercio ilegal, está la reducción y fragmentación de las poblaciones. Esto dado principalmente por la deforestación, ganadería, cambio de uso de suelo y urbanización (Castillo-Pérez et al., 2018; Pantoja-Ambriz et al., 2016). La pérdida del hábitat natural ha traído consigo también la disminución de polinizadores, reduciendo la capacidad de producción de semilla y de reproducción.

En México, en el marco legal, existe una Ley General de equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, una Ley General de Vida Silvestre y la NOM-059-SEMANARNAT-2010 en la cual se incluyen 188 especies de orquídeas. Muchas Áreas Naturales Protegidas (ANPs) cubren especies vegetales con algún estatus de riesgo, además también han surgido las Unidades de Manejo Ambiental. No obstante, aún hay vacíos legales, como la normatividad para especies que no están con algún estatus de riesgo, la regulación de viveros y colecciones, manejo de especies exóticas. También nos enfrentamos a una irónica supervisión estricta a empresas, individuos e instituciones de investigación establecidas y una escasa/nula vigilancia de colectores y vendedores no establecidos.

## **2.3 Estrategias de Conservación de orquídeas**

Debido a la situación de vulnerabilidad a la que se enfrentan las orquídeas, como el deterioro de sus hábitats naturales, la extracción y comercio ilegal, el cambio climático, la urbanización, nichos ecológicos tan específicos y reducidos, así como a las intrínsecas relaciones ecológicas que tienen con otros microorganismos (micorrizas) sus poblaciones se están reduciendo y existe el riesgo de perder muchas de ellas, es decir que se extingan. Por ello es muy importante desarrollar y aplicar estrategias de conservación que conlleven a un manejo sustentable (Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia 2006).

Dentro de estas estrategias encontramos dos *tipos: in situ y ex situ.*

### **2.3.1 Conservación *in situ***

La conservación *in situ* se refiere a la conservación de las especies en sus hábitats naturales (Hágsater *et al.*, 2015). Es considerada como la estrategia más importante debido a que permite mantener la variación genética de las especies, sus interacciones con otros organismos y la capacidad de continuar evolucionando. En el campo de la conservación de un hábitat o de un grupo de organismos, como primera instancia, es necesario tener un registro de la diversidad amenazada que se pretende conservar. En segundo lugar, la preservación del hábitat natural, a través de las reservas ecológicas, es la vía más adecuada para conservar a una o varias especies en peligro de extinción, ya que a través de esta medida se permite una interacción estrecha entre las plantas y su entorno para que continúen evolucionando en el ecosistema (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009).

### **2.3.1.1 Áreas naturales protegidas.**

Una de las estrategias para la conservación de los espacios naturales en México es el Sistema Nacional de áreas naturales protegidas. Estas tienen como objetivo preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas del país, así como los ecosistemas más frágiles.

Se han informado listas florísticas que incluyen orquídeas solo para 60 (34.0 %) de las áreas naturales protegidas de México y las 116 restantes (66,0%) no tienen informes sobre listados florísticos o no tener orquídeas en su interior. Los parques nacionales (18 lugares) y las áreas protectoras de flora y fauna (14 sitios) cuentan con el mayor número de sitios donde se pueden encontrar orquídeas endémicas. Las ANP con mayor número de orquídeas endémicas son Parque Nacional El Tepozteco, ubicado en la Ciudad de México y el estado de Morelos, donde se distribuyen 67 especies de orquídeas endémicas y el denominado Corredor Biológico Chichinautzin, ubicado en la Ciudad de México, así como los estados de México y Morelos, donde se encuentran 66 especies de orquídeas. Estos datos indican que la mayoría de las endémicas mexicanas (Castillo-Pérez *et al.*, 2018).

Uno de los problemas más importantes es que gran número de regiones importantes para la conservación de la biodiversidad del país no están ubicadas dentro de un área natural protegida ni tampoco están resguardadas por sus pobladores locales. Aunado a que en muchas ANPs la vigilancia y cuidado de la biodiversidad no se realiza completamente (Hágsater *et al.*, 2015).

### **2.3.2 Conservación *ex situ***

En los casos en los que ya no es posible realizar el rescate del área natural, cuando la velocidad de deterioro del hábitat por diversos factores antropogénicos es alta o cuando las poblaciones de una

especie amenazada se han reducido drásticamente y se encuentran al borde de la extinción, los métodos de conservación *ex situ* pueden ser una alternativa viable o el último recurso para evitar la extinción definitiva (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009; Seaton y Pritchard, 2003).

Este tipo de conservación se realiza fuera de su hábitat natural permitiendo que las especies y los genes pueden conservarse *ex situ* por distintos mecanismos, como los bancos de germoplasma, colecciones de cultivos de tejidos, así como los jardines botánicos (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009). Esta estrategia tiene dos objetivos principales: primeramente, la propagación y mantenimiento de las especies que ya no pueden subsistir en la naturaleza, y en segundo término la propagación masiva y subsecuente comercialización de la mayor cantidad de especies, con la finalidad de reducir y desalentar la colecta y saqueo ilegal de plantas en sus espacios naturales (Castillo-Pérez *et al.*, 2018; Hágsater *et al.*, 2015; Menchaca-García *et al.*, 2012).

#### **2.3.2.1 Bancos de germoplasma**

De acuerdo a Ortega-Larrocea *et al.*, (2009) los bancos de germoplasma constan de muy diversas modalidades y en general se simplifican en:

(a) la preservación de semillas a baja humedad y temperatura; (b) la conservación de plantas en vivero e invernadero y (c) la preservación de células, tejidos, órganos y/o plantas bajo cultivos *in vitro* y en nitrógeno líquido.

La preservación de especies con semillas ortodoxas como lo son la mayoría de las orquídeas, es viable y puede garantizar su almacenamiento por periodos mayores de 20 años (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009; Seaton y Pritchard, 2003).

### 2.3.2.2 Orquidearios y UMAs

Los orquidearios son espacios donde se conservan, mantienen y en algunos casos, se propagan especies de orquídeas. Son espacios que permiten la interacción de las personas con las orquídeas y se trabaja en la concientización para la conservación de estas plantas. En México existen varios orquidearios bien establecidos, algunos también funcionan como Unidades de Manejo Ambiental (UMA).

**Cuadro 1.** Algunos orquidearios que se encuentran en México.

Nombre del orquideario	Especies de orquídeas de la colección	Actividades de conservación
<b>Orquideario Bosque de Chapultepec</b>	Orquídeas endémicas de México y en peligro de extinción, bromelias y plantas tropicales.	Concientización y preservación de especímenes.
<b>Orquideario de la FCA</b>	Orquideoflora del Estado de México, principalmente aquellas con algún estatus de riesgo.	Banco de germoplasma, propagación <i>in vitro</i> , protección de ejemplares incautados.
<b>Orquideario de Morelia</b>	Colección de ejemplares híbridos y silvestres; nacionales, del Centro y Sudamérica.	Cuidado, protección y mantenimiento de ejemplares incautados.
<b>Orquideario y Jardín Botánico de Comitán</b>	Especies del Estado de Chiapas y de la región.	Conservación de orquídeas chiapanecas
<b>Orquideario de la AMO</b>	Gran variedad de especies nacionales e internacionales.	Conservación de ejemplares tipo.
<b>UMA “Orquideario Chapingo”</b>	Orquídeas endémicas de México, en peligro de extinción y con potencial ornamental.	Propagación convencional e <i>in vitro</i> , concientización y preservación de especímenes.

### 2.3.2.3 Cultivo *in vitro*

La micropropagación (cultivo de tejidos) es una excelente herramienta para el estudio, conservación y aprovechamiento sustentable de especies como las orquídeas que se encuentran amenazadas en su hábitat natural, por medio de la cual es posible lograr la germinación de semillas sin la presencia de un simbionte y la obtención de un gran número de plantas en tiempos

relativamente cortos (Mckendrick 2000). Desde el punto de conservación *ex situ* de los recursos genéticos vegetales, las semillas de orquídeas representan variabilidad genética, lo que las convierte en un material apropiado para ser incluido en programas de conservación.



**Figura 6.** Cultivo *in vitro* de la orquídea epífita *Guarianthe aurantiaca* en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx.

El cultivo *in vitro* de orquídeas tiene la ventaja de la obtención de muchas plantas en menos tiempo (Menchaca-García *et al.*, 2012). Aunque también posee el inconveniente que hay menor generación de diversidad genética, aspecto que se ve beneficiado en la conservación que se hace *in situ*, donde las plantas pueden continuar con intercambio genético de manera natural (Hágsater *et al.*, 2015).

La propagación y cultivo de las orquídeas fue revolucionado después del descubrimiento de Knudson en 1922 en donde las semillas pudieron ser germinadas en un medio simple con azúcar. Este trabajo demostró que la germinación de semillas de orquídeas en condiciones *in vitro* fue posible sin la asociación con hongos. Posteriormente, el mismo autor propuso una nueva solución con la adición de nutrientes para la germinación de semillas de orquídeas en 1946 (Aguilar-Morales 2017). A partir de este momento muchas orquídeas se han propagado por medio de semillas (Dalzotto y Lallana, 2015; Lallana y García, 2013; Aguilar-Morales *et al.*, 2014; Dutra *et al.*, 2009) y

regenerado a partir de otros explantes (Castillo-Pérez et al., 2018; Lee-Espinosa *et al.*, 2010; Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006).

De acuerdo a McKendrick (2000) la germinación in vitro de semillas de orquídeas puede ser efectuada por dos vías: a) Co-cultivo de las semillas con diversos hongos micorrízicos para establecer una relación simbiótica. Para ello es necesario el aislamiento y cultivo del hongo en un medio de cultivo específico, y b) la inoculación de las semillas en un medio de cultivo, que, en ausencia de hongos simbióticos, proporciona los nutrientes requeridos para el desarrollo de la semilla.

La primera vía es conocida como cultivo simbiótico. En la germinación simbiótica, las semillas se siembran con una pequeña porción del hongo micorriza apropiado. El hongo crece en el medio, coloniza a las semillas en proceso de germinación y se origina una relación simbiótica que se espera alimente al protocormo hasta que éste produzca hojas y se vuelva autotrófico. Esta técnica es ampliamente usada para la propagación de orquídeas terrestres en zonas templadas. Tiene la ventaja de usar un medio simple, y como resultado las plantas micorrizales suelen ser más fuertes y resistentes a infecciones que sus contrapartes cultivadas asimbióticamente. Sin embargo, la desventaja es que se necesita seleccionar el tipo de hongo micorriza adecuado para que se origine la simbiosis y prevenir parasitismo y la consecuente muerte de las semillas. Se ha realizado poca investigación sobre la relación del hongo micorriza con las orquídeas tropicales, y por lo tanto no se dispone del hongo micorriza apropiado (Castillo-Pérez *et al.*, 2018; Ortega-Larrocea *et al.*, 2009; McKendrick, 2000).

La segunda vía se denomina germinación asimbiótica es usualmente usada en la propagación de orquídeas tropicales, las mismas que tienden a crecer fácilmente en comparación con sus parientes en zonas templadas. El medio usado para la germinación asimbiótica es más complejo que para la

germinación simbiótica, ya que todos los nutrientes orgánicos e inorgánicos y los azúcares deben estar disponibles para la orquídea en una forma apropiada puesto que ya no existe la intermediación del hongo (McKendrick, 2000).

Para la germinación de semillas de orquídeas se reportan en la literatura algunos medios de uso generalizado como Knudson C, Murashigue y Skoog, Dalla Rosa y Laneri, Vacin y Went (de Menezes Gonçalves *et al.*, 2016; Dutra *et al.*, 2009).

La composición del medio de cultivo es uno de los factores que determinan el éxito para germinar semillas, para generar y propagar plántulas. Todo medio está básicamente compuesto de macronutrientes, micronutrientes, vitaminas, aminoácidos y una fuente de carbono. No obstante, las enmiendas con suplementos orgánicos, como fuente natural que aporta carbohidratos, iones inorgánicos, vitaminas y fitohormonas podrían ser uno de los componentes más importantes del medio de cultivo y útil para la propagación *in vitro* de orquídeas (de Menezes Gonçalves *et al.*, 2016).

Como aditivos orgánicos se puede utilizar agua de coco, homogeneizado de manzana, homogeneizado de plátano, homogeneizado de patata, hidrolizado de caseína, extracto de piña, extracto de levadura, triptona, peptona o puroaminoácidos como la glutamina, ya que poseen un amplio espectro de factores de crecimiento, lo que resulta en los efectos beneficiosos que producen más germinación asimbiótica de semillas, PLB, brotes y hojas ( de Menezes Gonçalves *et al.*, 2016; Aguilar-Morales *et al.*, 2016; Dutra *et al.*, 2009).

#### **2.3.2.4 Cultivo *in vitro* de orquídeas en México**

El cultivo *in vitro* de orquídeas en México tiene dos vertientes; la propagación de especies e híbridos comerciales y la investigación para la multiplicación y conservación de especies con algún

estatus de vulnerabilidad de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. En algunos casos también se realizan trabajos de propagación de especies no amenazadas o que tienen potencial ornamental.

Las orquídeas que se encuentran en peligro de extinción y que son endémicas son las que mayor trabajo de investigación sobre propagación masiva necesitan. Gran parte de la microropagación de orquídeas se realiza con fines de conservación y rescate, por ello que gran parte de los trabajos de este tipo se lleven a cabo con especies que corren el riesgo de desaparecer.

**Cuadro 2.** Especies de orquídeas declaradas en peligro de extinción (P) y extintas en la naturaleza por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Espece	Endemismo y categoría	Cita de la investigación.
<i>Laelia anceps ssp. dawsonii</i>	Endémica, P.	Lee-Espinosa <i>et al.</i> , 2009. Lee-Espinosa <i>et al.</i> , 2010.
<i>Lycaste lassiloglossa</i>	No endémica, P.	Toledo, 2016.
<i>Lycaste skinneri</i>	No endémica, P.	Rosas y Salazar-Rojas, 2009.
<i>Rossioglossum grande</i>	No endémica, P.	Bertolini <i>et al.</i> , 2014.
<i>Laelia gouldiana</i>	Endémica, Extinta en el medio silvestre	Gómez-Martínez, 2009.

Dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 también se encuentran otras orquídeas con estatus de amenazadas y sujetas a Protección especial, lo que indica que, aunque no se encuentran en riesgo crítico, es necesario generar medidas para evitar que puedan estar en peligro de extinción. Son varios los grupos de trabajo de las universidades e instituciones de investigación quienes han realizado importantes aportaciones sobre el cultivo *in vitro* de estas plantas.

**Cuadro 3.** Investigaciones realizadas en especies de orquídeas amenazadas y sujetas a Protección especial.

<b>Especie</b>	<b>Endemismo y categoría</b>	<b>Cita de la investigación.</b>
<b><i>Acineta barkeri</i></b>	Amenazada	Moreno, 2011.
<b><i>Bletia urbana</i></b>	Endémica Amenazada	Ortega-Larrocea <i>et al.</i> , 2009.
<b><i>Cuitlauzina pendula</i></b>	Endémica Amenazada	Rosas y Salazar-Rojas, 2009.
<b><i>Encyclia adenocaula</i></b>	Endémica Amenazada	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006. Aguilar-Morales <i>et al.</i> , 2016.
<b><i>Erycina crista-galli</i></b>	Protección especial	Velázquez, 2006.
<b><i>Euchile citrina</i></b>	Endémica Protección especial	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Guarianthe skinneri</i></b>	Amenazada	Coello <i>et al.</i> , 2010.
<b><i>Laelia speciosa</i></b>	Endémica Protección especial	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006. Aguilar-Morales <i>et al.</i> , 2014.
<b><i>Oncidium tigrinum</i></b>	Endémica Amenazada	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Prosthechea citrina</i></b>	Endémica Protección especial	Cazarez, 2016.
<b><i>Stanhopea oculata</i></b>	Amenazada	Roque, 2002.
<b><i>Stanhopea tigrina</i></b>	Endémica Amenazada	Moreno y Menchaca, 2007.

Otros trabajos de investigación sobre propagación *in vitro* se realizan sobre orquídeas ornamentales, de potencial ornamental y económico, así como de importancia ecológica y regional, y para generar protocolos de propagación de tal forma que se pueda evitar que las especies lleguen a tener algún estatus de riesgo.

**Cuadro 4.** Trabajos de propagación *in vitro* de especies silvestres no amenazadas.

Especie	Cita de la investigación.
<b><i>Acineta barkeri</i></b>	Moreno, 2011.
<b><i>Brassavola cucullata</i></b>	Solís de la Piedra, 2002.
<b><i>Brassavola nodosa</i></b>	Damon <i>et al.</i> , 2004.
<b><i>Catasetum intergerrimum</i></b>	Hernández <i>et al.</i> , 2001.
<b><i>Cattleya aurantiaca</i></b>	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006
<b><i>Cattleya aurantiaca</i></b>	Damon <i>et al.</i> , 2004.
<b><i>Dichromanthus aurantiacus</i></b>	Ortega-Larrocea <i>et al.</i> , 2009
<b><i>Encyclia chacaoensis</i></b> ,	Damon <i>et al.</i> , 2004.
<b><i>Epidendrum parkinsonianum</i></b>	Moreno, 2011.
<b><i>Epidendrum radicans</i></b>	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Galeandra greenwoodiana</i></b>	López y Rangel-Villafranco, 2018.
<b><i>Laelia albida</i></b>	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Laelia albida</i></b>	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Laelia aumtunalis</i></b>	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Laelia eyermaniana</i></b>	Nava, 2008.
<b><i>Laelia halbingeriana</i></b>	Raya-Montaño <i>et al.</i> , 2011.
<b><i>Mormodes tuxtlensis</i></b>	Rosas y Salazar-Rojas, 2009.
<b><i>Oncidium cavendishianum</i></b>	Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006.
<b><i>Oncidium cebolleta</i></b>	Solís de la Piedra, 2002.
<b><i>Oncidium sphacelatum</i></b>	Valadares <i>et al.</i> , 2014.
<b><i>Rhynchostele bictoniensis</i></b>	Bertolini <i>et al.</i> , 2013.
<b><i>Stanhopea hernandezii</i></b>	López y Rangel-Villafranco, 2018.
<b><i>Trichocentrum carthagenese</i></b>	Nava, 2008.
<b><i>Trichopilia tortilis</i></b>	Mendoza, 2016.

De forma general, la propagación *in vitro* de orquídeas terrestres en nuestro país es menor en comparación de las orquídeas de hábitos epífitos. En parte por la proporción que estas representan además por la complejidad de medios y dificultad que se presenta, así como una posible mayor relación con las micorrizas.

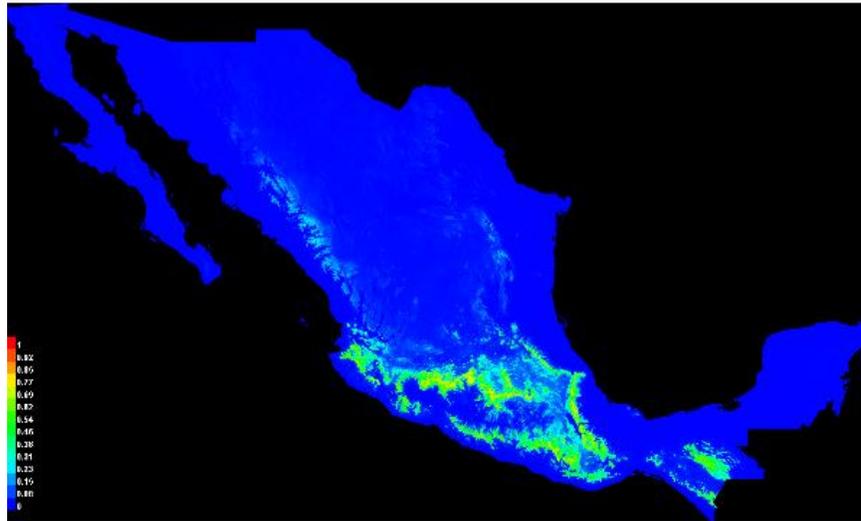
De los trabajos más desatacados de cultivo *in vitro* de orquídeas terrestres en México se han hecho en la reserva del pedregal de San Ángel (REPSA). Tal es el caso del cultivo asimbiótico con *Bletia urbana* especie endémica de México (Rubluo, 1999), cultivo simbiótico de *Dichromantus aurantiacus* y *Bletia urbana* (Ortega-Larrocea et al., 2009; Rubluo et al., 1993; Rangel-Villafranco y Ortega-Larrocea, 2007) donde se han reintroducido a su hábitat y se ha corroborado la fertilidad de sus semillas. Otra especie terrestre con la que se ha trabajado en su propagación *in vitro* es *Cypripedium irapenum* (Menchaca et al., 2012).

#### **2.4 Modelos de distribución potencial**

Para la conservación de especies, la estimación de las áreas de distribución potencial de las especies mediante el modelado del nicho ecológico y modelo de distribución de especies se ha convertido en una actividad importante (Mota-Vargas et al., 2019; Soberón y Nakamura, 2009). Conocer el rango de distribución de las especies puede ser de gran utilidad para conocer aquellas de distribución restringida y aquellas áreas más importantes que se necesitan proteger (Zimmermann et al., 2010).

Dentro de una comunidad, cada especie tiene un lugar propio en el espacio y tiempo que puede representarse en un mapa. La distribución espacial de las especies obedece al intervalo o capacidad de tolerancia que cada especie tiene a factores ambientales (Mateo et al., 2011). En el caso de

especies vegetales, su distribución se asocia principalmente a los factores climáticos y edáficos (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016).



**Figura 7.** Modelo de Distribución potencial de algunas especies de orquídeas terrestres en el programa MaxEnt.

#### **2.4.1 Modelo de distribución de especies**

Los modelos de distribución de especies son representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Estas variables suelen ser geológicas, topográficas o climáticas, y se espera que, con algunas de ellas, individualmente o en combinación, se puedan definir los factores ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie (Guisan & Zimmermann 2000).

El nicho ecológico es una propiedad directa de las especies y que representa “todas aquellas condiciones óptimas en el hipervolumen n-dimensional (condiciones bióticas y abióticas) en las cuales la especie puede y podría lograr su desarrollo y subsistencia. Los modelos de nicho ecológico están relacionados con las condiciones ambientales y bióticas asociadas a las especies; es decir, a los nichos ecológicos (Mota-Vargas *et al.*, 2019). El procedimiento para generar el modelo de nicho ecológico consiste en usar algoritmos computarizados para generar mapas predictivos sobre la distribución potencial de las especies en el espacio geográfico a partir de las distribuciones (conocidas o deducidas) de la especie en el espacio ambiental (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

Una de las primeras aplicaciones de los modelos de nicho ecológico (MNE) fue la delimitación de las áreas potenciales de distribución de las especies; de ahí la distinción de llamarlos modelos de distribución de especies (MDE), ya que estos métodos han surgido como una excelente alternativa metodológica para delimitar a las áreas potenciales de presencia de las especies (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2012).

Los modelos de distribución de especies tienen un gran interés aplicado pues permiten evaluar cuantitativamente la posibilidad de que una población de plantas o animales ocupen un determinado lugar geográfico. La capacidad de predicción de estos modelos los ha convertido en una herramienta clave en temas relacionados con la gestión ambiental cuyos objetivos son variados: a) diseño de reservas naturales; b) restauración de poblaciones; c) predicción de invasiones biológicas; y d) evaluación de impacto del cambio climático sobre la distribución geográfica de las especies (Evans *et al.*, 2020; Wan *et al.*, 2014; Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

#### **2.4.2 Programas para el modelado de la distribución potencial de especies.**

Se pueden distinguir cuatro grupos de técnicas de modelación de la distribución geográfica de las especies/ ecosistemas: las relacionadas a modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados (GLM), Modelos Aditivos Generalizados (GAM)), los métodos de clasificación (Random Forest (RF), Boosted regresión trees (BRT)), los métodos de “sobre” (BIOCLIM, ENFA) y aquellos basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT). Además, se puede incluir como un nuevo enfoque los programas que utilizan ensambles de técnicas para obtener modelos de consenso, buscando disminuir los sesgos y limitaciones propias del uso en forma individual de las técnicas estadísticas mencionadas (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

Uno de los modelos más eficientes en la predicción de distribución espacial de especies es el modelo Maxent (Flores-Tolentino *et al.*, 2020; Phillips *et al.*, 2006). El cual se ha sido usado exitosamente para estimar la distribución de la familia Orchidaceae (Hernández-Ruíz *et al.*, 2016; Wan *et al.*, 2014).

#### **2.4.3 Variables determinantes de presencia de especies.**

Las variables ambientales comúnmente utilizadas para el modelado de la distribución potencial son: 1) variables climáticas, generadas normalmente a partir de la interpolación de datos de estaciones climatológicas y utilizando la elevación como covariable, 2) información sobre edafología, 3) elevación y variables derivadas, tanto topográficas –pendiente, curvatura o rugosidad–, microclimáticas –radiación solar potencial– como hidrológicas –red de drenaje o flujo potencial–; 4) variables obtenidas mediante teledetección, como índices de vegetación, temperatura en superficie o clasificaciones de la cubierta del suelo, (5) finalmente, algunos modelos han tenido en cuenta variables de tipo demográfico y de ocupación del espacio (Mateo *et al.*, 2011).

Algunas capas contribuyen de mayor manera que otras, siendo estas últimas determinantes para la presencia de la especie estudiada. El conocimiento estos factores permite tomar decisiones sobre las estrategias de conservación.

#### **2.4.4 Modelado de distribución potencial de orquídeas en el mundo y en México**

Los hábitats de plantas silvestres, como las orquídeas, han sido afectadas negativamente por las actividades humanas y el cambio climático (Castillo-Pérez *et al.*, 2018; Hágsater *et al.*, 2015). Para evaluar estos efectos, los modelos de distribución de especies son una herramienta útil (Hernández-Ruíz *et al.*, 2016; Wan *et al.*, 2014; Guisan & Zimmermann, 2000), ya que permiten identificar áreas potenciales donde puede desarrollarse la especie, y predecir cambios en las zonas de distribución (Rezende *et al.*, 2014). Los trabajos de modelado de la distribución potencial se han realizado alrededor del mundo con propósitos varios (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Trabajos de distribución potencial de varias especies de orquídeas terrestres alrededor del mundo.

Especie	Importancia de la investigación	Autor
<p><i>Listera puberula</i></p> <p><i>Neottianthe cucullata</i></p> <p><i>Herminium monorchis</i></p> <p><i>Cypripedium calceolus</i></p> <p><i>Gymnadenia conopsea</i></p> <p><i>Liparis japonica</i></p>	<p>Planeación de áreas protegidas en China para orquídeas en peligro de extinción.</p>	<p>Wan <i>et al.</i>, 2014.</p> 
<p><i>Orchis anthropophora</i></p> <p><i>O. militaris</i></p> <p><i>O. purpurea</i></p> <p><i>O. simia</i></p>	<p>Impacto del cambio climático en especies de <i>Orchis</i> presentes en Europa y Asia menor.</p>	<p>Evans <i>et al.</i>, 2020</p> 
<p><i>Platanthera chlorantha</i></p> <p><i>Ophrys oestrifera</i></p>	<p>Evaluación del estado de conservación de especies en peligro de extinción en Azerbaiyán.</p>	<p>Ibrahimova, 2020.</p> 
<p><i>Campylocentrum brenesii</i></p> <p><i>C. micranthum</i></p> <p><i>C. panamense</i></p> <p><i>C. tyrridion</i></p>	<p>Estimar las posibles rutas migratorias del genero <i>Campylocentrum</i> en Centroamérica.</p>	<p>Kolanowska, 2014.</p> 
<p><i>Bulbophyllum porphyrotriche</i></p> <p><i>Dendrobium pseudoclavator</i></p> <p><i>Paphiopedilum inamorii</i></p> <p><i>Robiquetia odobenus</i></p> <p><i>Thrixspermum milneri</i></p>	<p>Evaluación de conservación de especies endémicas de Borneo.</p>	<p>Juiling <i>et al.</i>, 2020.</p> 

El modelado de la distribución de especies vegetales en México se ha aplicado en especies en peligro de extinción (Flores-Tolentino *et al.*, 2020), un género nuevo (Salazar y Ballesteros-Barrera, 2010), especies de interés ecológico (Solano *et al.*, 2019) y para evaluar el impacto del cambio climático sobre especies vulnerables (Cruz-Cárdenas *et al.* 2016).

Entre las especies más vulnerables se encuentran las orquídeas (SEMARNAT, 2010; Hágsater *et al.*, 2015). De las especies nativas de México que se ha estudiado la distribución potencial (Figura 8) se encuentran el género *Barkeria* (Angulo *et al.*, 2011), la vainilla (Hernández-Ruíz, 2016), *Laelia speciosa* (Flores-Tolentino *et al.*, 2020), el género *Sotoa* (Salazar y Ballesteros-Barrera, 2010), *Habenaria bicornis* (Batista *et al.*, 2014), la orquídea epífita *Cuitlauzina pendula* (Pantoja-Ambriz *et al.*, 2016) y del híbrido natural de *Laelia* × *tlaxiacoensis* (Solano *et al.*, 2019) .



**Figura 8.** Especies de orquídeas mexicanas que se ha estudiado su distribución potencial: izq., *Laelia speciosa*; centro, *Vanilla planifolia* y der., *Laelia* × *tlaxiacoensis*, imagen tomada de Solano *et al.*, 2019.

## **2.5 Análisis y caracterización de semilla de orquídeas**

La conservación de germoplasma por semillas es una estrategia viable para conservar la mayor variabilidad genética posible con menores costos y en espacios muy reducidos (Aguilar-Morales 2016). Determinar la calidad de las semillas almacenadas es un punto importante para determinar el éxito o fracaso de la conservación en los bancos de germoplasma. En el análisis de semillas se deben estudiar características físicas y biológicas de un lote para asignarles un valor, estas pruebas se deben realizar en dos momentos: el primero, inmediatamente después de la extracción y limpieza de semillas; y segundo, antes de ser sembradas o utilizadas para cualquier otro destino y los principales análisis son, peso y tamaño de semillas, viabilidad, pureza, humedad, etc. (Raó *et al.*, 2007).

### **2.5.1 Análisis físico de semillas de orquídeas.**

Este tipo de análisis incluye la medición de dimensiones, conteo, peso y morfología de las semillas de orquídeas (Lallana *et al.*, 2020). Este tipo de análisis importante para la caracterización de estos pequeños propágulos y aparte de definir propiedades intrínsecas también aporta información para diferenciar semillas entre especies.

### **2.5.2 Análisis fisiológico: viabilidad de semillas**

Las semillas que permanecen vivas y son capaces de germinar (crecimiento del embrión y aparición de la radícula) cuando las condiciones ambientales son adecuadas, se dice que son viables (Pérez-García y Pita-Villamil, 2001). Esta capacidad es medible, cambia con el tiempo y de acuerdo a las condiciones en que se guarde la semilla, por ello es importante en planes de conservación conocer

el grado de conservación de las semillas de orquídeas, y más aun teniendo en cuenta el diminuto tamaño de las semillas y la presencia de un embrión inmaduro sin endospermo característico de las orquídeas (Lallana *et al.*, 2020).

#### **2.5.2.1 Prueba de tetrazolio**

La viabilidad de las semillas se determina principalmente mediante dos técnicas: 1) la prueba de Tetrazolio (TDZ) que es una prueba rápida y la de germinación *in vitro* (Aguilar-Morales 2016). La prueba más común para conocer la viabilidad de las semillas de orquídeas es la prueba de tetrazolio. Esta prueba es muy común que se realice previamente al realizar pruebas de germinación *in vitro*, y se toma como referencia para estimar la viabilidad de semillas de orquídeas de forma rápida (Lallana y García, 2013). Mientras que las pruebas de germinación de semillas de orquídeas se llevan a cabo bajo condiciones *in vitro* y con medios de cultivo especializados, debido a la naturaleza de este tipo de semillas (Dalzotto y Lallana, 2015).

Los datos sobre la viabilidad de las semillas de orquídeas nativas de México después de años o décadas de almacenamiento son relativamente escasos, a pesar de que, determinar la viabilidad de las semillas es una actividad fundamental para desarrollar el método de conservación a largo plazo para la especie de interés en banco de germoplasma (Santos-Pérez *et al.*, 2019). Solo en algunos bancos de germoplasma y centros de investigación en México se ha trabajado con análisis de semillas de especies como *Encyclia adenocaula* (Aguilar-Morales *et al.*, 2016) y *Laelia autumnalis* (Santos-Pérez *et al.*, 2019).

### 2.5.2.2 Pruebas de germinación *in vitro*

La otra prueba para evaluar la viabilidad de semillas de orquídeas es la germinación *in vitro*. Esta técnica se realiza en laboratorios especializados y bajo condiciones muy particulares. Esta prueba es más tardada que la de tetrazolio, debido a que algunas semillas pueden germinar en pocos días y algunas pueden demorar más de un año.

Para realizar esta prueba son necesarios medios de cultivo, que poseen los nutrientes y componentes necesarios para la germinación y desarrollo de las semillas. En los trabajos de investigación los medios más comúnmente usados son Murashige & Skoog, Knudson C y Malmgren. Todo medio está básicamente compuesto de macronutrientes, micronutrientes, vitaminas, aminoácidos y una fuente de carbono. No obstante, las enmiendas con suplementos orgánicos, como fuente natural que aporta carbohidratos, iones inorgánicos, vitaminas y fitohormonas podrían ser uno de los componentes más importantes del medio de cultivo y útil para la propagación *in vitro* de orquídeas (Menchaca-García *et al.*, 2012; McKendrick, 2000).

El agua de coco y el extracto de plátano son unos de los suplementos más escogidos para la germinación *in vitro* de diferentes especies de orquídeas. El uso de agua de coco es utilizado debido a que contiene mioinositol, citoquininas, nucleótidos y compuestos orgánicos. Además, se ha demostrado su beneficio en la etapa de germinación y desarrollo de protocormo. Mientras que la pulpa de banana se ha reportado que mejora el porcentaje de germinación de algunas especies, aunque su principal uso es para mejorar el crecimiento de raíces y brotes de orquídea (de Menezes Gonçalves *et al.*, 2016).

## 2.6 Estudio de caso: *Govenia superba* (Lex.) Lindl.

### 2.6.1. Género *Govenia* Lindl.

*Govenia superba* (Lex.) Lind. pertenece al género *Govenia* Lindl. es un género deciduo terrestre neotropical de la familia Orchidaceae que comprende aproximadamente 28 especies. Diecisiete se encuentran en México y América Central, 7 están en América del Sur, una especie es nativa de las Antillas, y una es nativa de Florida (Dressler 1965; Greenwood, 1981). Recientemente se han descrito nuevas especies *G. rubellilabia* (García-Cruz y Sosa, 2006) y *G. polychroma* (Salazar *et al.*, 2018) en territorio mexicano, *G. plowmanii* y *G. renilabia* en Colombia (Szlachetko y Kolanowska, 2014). La mayoría crece en elevaciones intermedias (1200–2800 m) bajo la sombra de los árboles, en los suelos ricos y orgánicos de clima templado bosques húmedos (García-Cruz y Sosa, 2005).



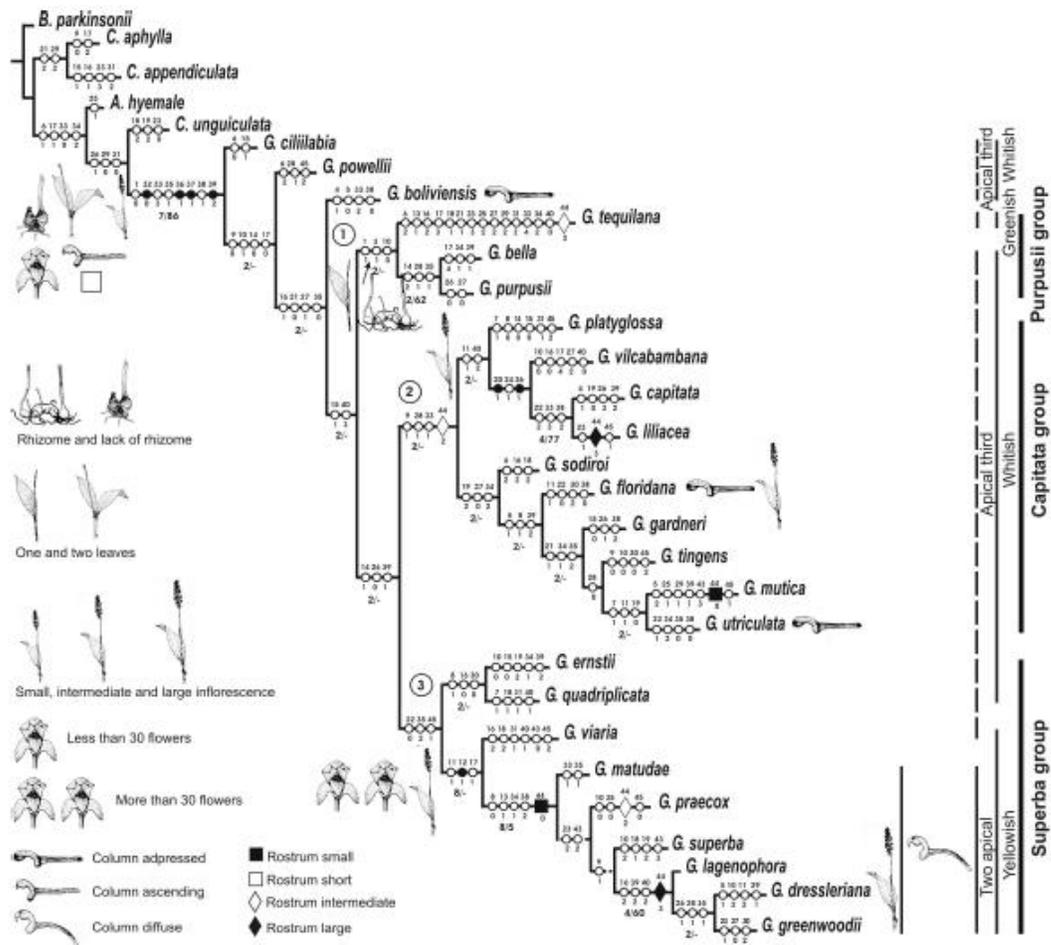
**Figura 9.** *Govenia polychroma*, especie endémica mexicana recientemente descrita, imagen tomada de Salazar *et al.*, 2018.

Las especies de *Govenia* se caracterizan por la presencia de un rizoma subterráneo con una o dos hojas grandes, plicadas y deciduas. Las flores son de pequeñas a medianas dispuestas en una inflorescencia son solitaria de 10 a 50 flores. Las flores son llamativas, con el sépalo dorsal y los pétalos encapuchados sobre la columna. La columna está alada cerca del ápice, con un pie prominente en su base (Dressler 1965; Greenwood 1981).

Con respecto al rizoma, dos tendencias pueden ser reconocido en *Govenia*: plantas con un rizoma evidente, de 2 a 5 cm de largo (grupo Purpusii), en el que se origina el nuevo cormo de un brote y el viejo y el nuevo rizoma permanecen unido, y la otra tendencia con una reducción total del rizoma como se observa en *G. ciliilabia*, *G. powellii*, y *G. boliviensis*, *G. capitata* y en el grupo *superba*.

Uno de los trabajos más sobresalientes sobre la clasificación de las especies del genero *Govenia* son los realizados por García-Cruz y Sosa (2005). Con su trabajo logró dividir el género en varios grupos y clados. Ellos separaron las especies del genero *Govenia* en tres grandes grupos: *capitata*, *purpusii* y *superba*.

De acuerdo a Cruz-García y Sosa (2005) el grupo *superba* está formado por *G. ernstii*, *G. quadriplicata*, *G. viaria*, *G. matudae*, *G. praecox*, *G. superba*, *G. lagenophora*, *G. dressleriana* y *G. greenwoodii*, y se define por un sépalo dorsal elíptico, labio apiculado y reticulado de la superficie de polinio. En este clado, *G. ernstii* y *G. quadriplicata* forman un monofilético grupo, que se define por vaina de escape acuminada, bráctea floral que cubre la mitad del ovario y un pétalo elíptico. El subclado de *G. viaria*, *G. matudae*, *G. praecox*, *G. superba*, *G. lagenophora*, *G. dressleriana*, y *G. greenwoodii* está sostenido por una inflorescencia longitud de 35 a 80 cm, y más de 30 amarillas flores.



**Figura 10.** Árbol del análisis morfológico cladístico del género *Govenia* tomado de Cruz-García y Sosa (2005) donde se muestra la relación filogenética del grupo superba.

De las nueve especies del grupo superba, en México se encuentran seis: *G. matudae*, *G. praecox*, *G. superba*, *G. lagenophora*, *G. dressleriana*, y *G. greenwoodii*, por lo que es el grupo que mayor cantidad de especies hay presentes en el país. Varias de las especies de este género son endémicas de México, por lo que no se pueden encontrar en otro país.

### **2.6.2 *Govenia superba* (Lex.) Lindl.**

#### **Ubicación taxonómica (Lex.) Lindl. 1832**

Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Liliidae
Orden:	Asparagales
Familia:	Orchidaceae
Subfamilia:	Epidendroideae
Tribu:	Calypsoeae
Género:	<i>Govenia</i>
Especie:	<i>G. superba</i> (Lex.) Lindl.

El nombre de *Govenia* fue dado en honor de James Robert Gowen (1784-1862), horticultor inglés que recolecto principalmente orquídeas y rododendros en Asam, India.; *superba* proviene del latín, que significa grandiosa o soberbia, en referencia al tamaño de la planta y su belleza. John Lindley afirma que la especie es una de las más atractivas de la familia Orchidaceae (Szeszko-Fabila, 2011).



**Figura 11.** Variedad de colores que presenta *Govenia superba*, desde blanco, verdoso hasta amarillo.

Esta orquídea se conocía por indígenas precolombinos con el nombre de cozticzacatzacuxóchitl (flor amarilla de los pastizales), utilizada en la elaboración de pegamento (coztic, amarillo; zacatl, pasto; tzacutli, engrudo; xochitl, flor), al igual que *G. liliacea*, se utilizaba como mordente para fijar pigmentos y en la elaboración de arte plumaria (Berdan, 2007). Se le conoce también como azucena amarilla.

Es una planta terrestre, decidua, de tamaño grande, que mide hasta 150 cm, incluyendo la inflorescencia. Los cormos son grandes, subterráneos, carnosos y de forma globosa a subpiriforme.

Tiene dos hojas plegadas, delgadas, obovadas y largamente pecioladas; las hojas están completamente desarrolladas al momento en que la planta florece. Posee una inflorescencia, con un racimo que en el ápice del tallo lleva alrededor de 20 a 50 flores grandes de 3 cm de diámetro, simultáneas y llamativas (Fig. 1). Todos los segmentos de la flor, con excepción del labio y la cara interna de los pétalos, son de color verde amarillento a amarillo (Szeszko-Fabila, 2011).



**Figura 12.** Inflorescencia y hojas de *Govenia superba*. Izquierda: Inflorescencia con flores receptivas. Centro: plantas con inflorescencias. Derecha: Planta en maceta.

Esta llamativa planta crece en los bosques templados del centro de México y América central, entre las altitudes de 1,600–2,800 msnm. En México se tiene registros de herbario en quince entidades: Chiapas, Colima, Ciudad de México, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz (Villaseñor, 2016).

Esta orquídea se ve vulnerable a causa de los incendios forestales, fragmentación y pérdida de bosques, cambios en el uso de suelo, ganadería y presión antropomórfica por extracciones de su hábitat natural. Aunado a eso es una especie con un bajo porcentaje de polinización de forma natural.



**Figura 13.** Cambio de uso de suelo en Michoacán, donde antes se encontraba bosque de pino-encino con presencia de *Govenia superba* actualmente es un área frutícola.

Actualmente no existen protocolos de propagación de ningún tipo para *Govenia*, aun así, se ofrecen ejemplares de *Govenia superba* y otras especies del mismo género en algunos mercados locales. La extracción de ejemplares para su comercialización no se encuentra regulada, por lo que las plantas son extraídas de los bosques y comercializadas de forma ilegal. Muchas de esas plantas no se llegan a vender o no se les brindan las condiciones adecuadas de cultivo y terminan siendo desechadas.



**Figura 14.** Venta de ejemplares de *Govenia superba* en Oaxaca (izquierda) y en un mercado de Morelia (derecha).

Una de las estrategias para amortiguar la disminución de la orquideoflora es la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), que es un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos. En este documento, en el apéndice II se incluye el género *Govenia* y en la NOM-059-SENARNAT-2012 *Govenia tequilana*, que pertenece al mismo género que *G. superba*, se encuentra con estatus de protección especial, lo que indica la necesidad de generar estrategias de conservación para este taxón.

# **IV. JUSTIFICACIÓN**

#### IV. JUSTIFICACIÓN

Las orquídeas son altamente apreciadas como ornamentales y la producción masiva no ha sido posible en todas las especies. Esto ha causado su colecta ilegal y masiva, por lo que muchas poblaciones han ido desapareciendo y otras se han ido reduciendo.

*Govenia superba*, es una orquídea terrestre con potencial ornamental (Szeszko-Fabila, 2011), cuyas poblaciones disminuyen y se fragmentan debido a que la pérdida y transformación de los bosques ponen en riesgo a las orquídeas que crecen en ellos (Menchaca-García et al., 2012). Otro factor que está influyendo en la supervivencia de esta orquídea es su bajo porcentaje de polinización.

Es necesario generar conocimiento sobre esta especie y su género, ya que es escasa la información existente y son pocas las estrategias de conservación que se tienen de estas especies.

Cualquier registro de una especie que necesite ser conservada o protegida es de especial interés, sobre todo cuando las poblaciones son muy restringidas, como sucede con algunas especies de *Govenia*. No se conoce la distribución de *G. superba* en México y así como los factores que determinan la presencia de esta especie.

Para conservar semilla de alguna especie de orquídea en un banco de germoplasma es necesario realizar un análisis físico y fisiológico, por ello la caracterización es importante. En México existe poca información de la descripción de semillas de orquídeas. La semilla de *Govenia superba* no ha sido caracterizada, pudiendo ser especie modelo para todo su género.

# V.HIPÓTESIS

## V. HIPÓTESIS

El modelado de la distribución potencial de *especies del grupo superba* del genero *Govenia*, , y la caracterización física y fisiológica de la semilla de *Govenia superba* son estrategias de conservación que permiten conservar estas especies, primeramente por la generación de mapas de que permiten identificar zona s de presencia así como las variables principales que determinan la presencia de las especies estudiadas, y la caracterización de la semilla hace posible un análisis para que la este propágulo se pueda conservar en bancos de germoplasma, ya sea mediante la semilla como tal o por plántulas.

## **VI. OBJETIVOS**

## V. OBJETIVOS

### **Objetivo general.**

Realizar el modelado de la distribución potencial de *Govenia superba* y el análisis físico y fisiológico de sus semillas como estrategias para su conservación.

### **Objetivos específicos.**

- Modelar la distribución potencial para seis especies del grupo *superba* del género *Govenia* presentes en México.
- Realizar el análisis de calidad física y fisiológica de las semillas de cápsulas maduras de *G. superba*.

# **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Modelado de distribución potencial del grupo *superba*

El modelado fue realizado conforme las siguientes etapas:

- Revisión de ejemplares de herbario de especies del grupo *superba*.
- Elaboración de una base de datos.
- Localización y registro de coordenadas geográficas de presencia de especies.
- Selección de variables.
- Generación y calibración de modelos.
- Selección de modelos y elaboración de mapas.

#### 6.1.1 Revisión de ejemplares de herbario

Se revisaron ejemplares de herbario correctamente determinados de las especies *G. superba* (Lex) Lindl., *G. lagenophora* Lindl., *G. dressleriana* E.W. Greenw., *G. greenwoodii* Dressler & Soto Arenas, *G. praecox* Salazar y E.W.Greenw. y *G. matudae* E.W. Greenw. & Soto Arenas, en cuatro herbarios diferentes: Herbario Eizi Matuda (CODAGEM) de la Universidad Autónoma del Estado de México, Herbario de la Asociación Mexicana de Orquideología (AMO), Herbario Nacional de México (MEXU), y el Herbario Hortorio del Colegio de Posgraduados (CHAPA). Con la información obtenida de las fichas de los ejemplares de herbario se elaboró una base de datos en el programa Excel, en la cual se colocaron datos como nombre de la colección, lugar y fecha de la colecta, colectores, datos del hábitat y coordenadas geográficas de la colecta. De los ejemplares que no contaran con coordenadas geográficas de las colectas, se buscó la ubicación

en Google Maps y Google Earth para obtener dicha información de la localidad de la colecta (López-Sandoval *et al.*, 2015).



**Figura 15.** Ejemplares de los cuales se tomó información para el modelo de la distribución potencial de algunas especies del género *Govenia*.

### **6.1.2 Modelación de áreas de distribución potencial para cada una de las especies del grupo *superba* del Genero *Govenia* presentes en México**

Las coordenadas obtenidas de cada una de las especies fueron corridas en el programa MaxEnt con 56 variables, entre ellas de tipo climáticas, características y atributos topográficos,

propiedades del suelo y cubierta vegetal. La modelación de la distribución potencial se realizó en el programa MaxEnt versión 3.4.1 (Steven *et al.*, 2017), el cual está fundamentado en el concepto de máxima entropía, donde el resultado de distribución es la respuesta de la especie a las variables medio ambientales de su entorno (Phillips *et al.*, 2006). Este programa es considerado un algoritmo con un buen desempeño para el modelado de la distribución potencial de especies y también se ha probado en orquídeas terrestres (Tsiftsis *et al.*, 2019; Hernández-Ruiz *et al.*, 2016; Wan *et al.*, 2014), debido a que en la distribución proyectada utiliza la restricción de que cada valor esperado de las variables ambientales debe concordar con el promedio de su valor empírico, lo cual hace eficientes las predicciones provenientes de información escasa o incompleta (Monterrubio-Rico *et al.*, 2016).

La selección de las variables por cada una especie se realizó haciendo una primera corrida de las coordenadas geográficas registradas de cada especie con 56 variables como predictores; entre ellas bioclimáticas, edáficas, de atributos topográficos, así como índices de cobertura vegetal de los doce meses del año 2009 (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016).

La configuración de MaxEnt fue por defecto, excepto por la desactivación de los módulos “Extrapolate” y “Do clamping”. El formato de salida del modelo fue logístico. Para el modelado de la distribución potencial de las especies se empleó el 75 % de los registros de las especies aleatoriamente distribuidas para entrenar el modelo y el 25 % restantes para validarlo, además de la técnica Crossvalidate. (López-Sandoval *et al.*, 2015). Se generaron 10 réplicas con las coordenadas geográficas obtenidas de cada especie y un límite de convergencia de 0.00001 y el tipo de modelo clásico (Hernández-Ramos *et al.*, 2018).

La configuración se realizó con las pruebas Jackknife, Bootstrap, y multiplicador de regularización 1. De las 56 variables se tomaron aquellas con mayor valor de ganancia en los

modelos. Se tomaron los valores iguales o mayores del intervalo de confianza superior de todas las medias de los valores de ganancia de cada variable.

Una vez seleccionadas las variables, se volvió a correr las coordenadas de cada especie con las variables seleccionadas, esta vez a la configuración anterior se aplicó cinco valores de multiplicadores de regularización: 0.1, 0.5, 1, 2 y 5 (Perkins-Taylor y Frey, 2020).

Los 50 modelos generados por especie fueron sometidos a las pruebas de la curva de respuesta con el análisis de omisión o comisión, de sensibilidad ROC (Receiver Operating Characteristic), del área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) y la prueba de Jackknife para verificar la confiabilidad y el efecto de cada variable dentro del modelo (Hernández-Ramos *et al.*, 2018). Se seleccionó el multiplicador de regularización cuyo promedio AUC de las 10 réplicas de modelos generados por multiplicados de regularización fuera mayor.

De los 10 modelos del mejor multiplicador de regularización se tomó el valor promedio de Maximum test sensitivity plus specificity (Hernández-Ramos *et al.*, 2018), el cual fue tomado como el valor de corte para la generación de mapas en el programa Qgis (3.4.13). De este se obtuvo el mapa final de cada especie.

### **6.1.3 Modelación de áreas de distribución potencial del grupo superba del Genero *Govenia* en México.**

Para la obtención del mapa del grupo superba con especies mexicanas primero se seleccionaron de 56 las variables que más contribuyeran en los modelos como predictores para determinar su presencia, para ello se corrieron todas las coordenadas como un solo grupo (*Govenia* spp.). Se obtuvieron 10 réplicas con la misma configuración que las especies en individual, después se aplicó un intervalo de confianza para seleccionar las variables principales.

Se volvieron a correr todas las coordenadas con cinco valores de multiplicador de regularización (Perkins-Taylor y Frey, 2020). La selección de los mejores modelos se realizó igual que para las especies en individual, al igual que la determinación del valor de corte. En el programa Qgis (3.4.13), se editó el resumen del mejor multiplicador de regularización y se realizó un algebra de mapas para la obtención de la distribución potencial de las especies del genero *Govenia* grupo *superba* presentes en México, así como identificar la presencia de diferentes especies en la misma área.

#### **6.1.4. Variables determinantes de la presencia de especies**

La contribución de las variables a los modelos fue proporcionada por el software MaxEnt, las principales variables fueron consideradas aquellas que se mostraban en el resumen promedio del mejor multiplicador de regularización.

### **6.2. Análisis físico y fisiológico de semillas de *Govenia superba***

La caracterización de semillas de cápsulas maduras de *Govenia superba* se efectuó en el laboratorio de Genética del La Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx. Para ello se realizó un análisis físico de la semilla y uno fisiológico.

#### **6.2.1. Material vegetal para el análisis de calidad de semilla y germinación *in vitro*.**

Se realizaron colectas de plantas de *Govenia superba* (Lex.) Lind. en noviembre de 2018 y en agosto de 2019 en dos localidades: Crescencio Morales, Zitácuaro, Michoacán; a una altitud de 2 544 msnm y coordenadas 19°26'44'' N y 100°15'23'' y en Villa de Allende, Estado de México, localidad situada a 2754 msnm con coordenadas 19° 25'42.56'' N y 100° 10'10.38 '' , ambas

localidades con bosque de encino- pino. Se colectaron plantas con inflorescencia y con cápsula, se mantuvieron en macetas de plástico en el invernadero 5 de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Una vez maduras las capsulas se mantuvieron a temperatura ambiente en sobres de papel hasta su dehiscencia. Una vez en dehiscencia, se removió la semilla de la columna y valvas de las capsulas. Posteriormente en se colocó en canoas de papel y se colocaron en un desecador por 3 días hasta una humedad de 30%. Finalmente se guardó la semilla en frascos de vidrio con tapa de plástico hermética a 4°C hasta su uso (Dalzotto y Lallana, 2015).

#### **6.2.2. Metodología para el análisis físico.**

En el análisis de semillas de *G. superba* se tomaron en cuenta aspectos como tamaño, peso de la semilla y la viabilidad de la misma (Lallana *et al.*, 2020). Para tamaño y estructura de la semilla se tomó una muestra que fue colocada en tres cajas Petri con una cuadrícula, con ayuda de un microscopio estereoscópico se midieron 50 semillas de la especie tomando como datos largo y ancho de la semilla. Para determinar el peso, se tomaron 0.5 mg de semilla por triplicado y se contabilizaron, por regla de tres se obtuvo el peso y numero de semillas por gramo (Aguilar-Morales *et al.*, 2016). Además, se pesaron las semillas de varias cápsulas cerradas y por una proporción se determinó el número de semillas presentes por fruto.

La cantidad de semillas se realizó contabilizando la cantidad de semillas presentes en 0.5 mg utilizando un microscopio estereoscópico, este proceso se hizo por triplicado. Además de calculó la cantidad de semillas presentes por gramo y por cápsula basados en el conteo realizado y haciendo una regla de tres.

### 6.2.3. Metodología para el análisis fisiológico de semilla de *Govenia superba*.

Para realizar el análisis fisiológico de la semilla de cápsulas maduras de *G. superba* se llevaron a cabo dos pruebas: la prueba de tetrazolio y de germinación asimbiótica *in vitro*.

#### 6.2.3.1. Prueba de tetrazolio

Para esta prueba de viabilidad se utilizó la solución cloruro de 2,3,5-trifenil-tetrazolio al 1% (Lallana *et al.*, 2020).

Las semillas se colocaron en paquetes de 5 x 4 cm de papel filtro con tres réplicas y cada paquete de semillas contenía aproximadamente 227 semillas. Primero se colocaron los sobres en un vaso con 50 mililitros de agua destilada y una gota de Tween 20 por 24 horas, para la imbibición de la semilla, después se drenó el agua y se añadió la solución de tetrazolio al 1% por 24 horas a 30°C en oscuridad (Aguilar-Morales *et al.*, 2016). Los sobres se retiran de la solución y se abrieron, se observó a través de un microscopio estereoscópico y se tomaron tres campos de cada repetición con ayuda de una cámara fotográfica. Se consideraron semillas viables aquellas que presentaron una coloración desde rosácea a roja y como no viables aquellas que no se tiñeron (Lallana *et al.*, 2020; Lallana y García, 2013).



**Figura 16.** Semillas viables analizadas por la prueba de tetrazolio, observadas por microscopio estereocópico.

### **6.2.3.2. Prueba de germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de *Govenia superba*.**

Para evaluar la calidad fisiológica de las semillas de *Govenia superba* se llevaron a cabo un experimento y varios ensayos de pruebas de germinación *in vitro* con diferentes medios de cultivo.

El experimento se realizó con un arreglo factorial en un diseño completamente al azar. Como factores dos concentraciones del medio Murashige & Skoog (una concentración al 100% de las sales y al 50% de las mismas), la presencia o ausencia de carbón activado (Lallana *et al.*, 2020; Dutra *et al.*, 2009; Ávila-Díaz y Salgado-Garciglia, 2006) y un fotoperiodo de 16 horas de luz y oscuridad (Dutra *et al.*, 2009). La prueba de germinación se llevó a cabo en laboratorio de Recursos Genéticos. La siembra se realizó en cajas Petri por el método del paquete (McKendrick, 2020). El método de desinfección fue mediante sobres con 0.5 miligramos de semilla 15 minutos en solución de agua con Cloralex al 15% con una gota de Tween 20 por cada 25 mililitros de solución y se realizaron tres enjuagues en agua destilada por un minuto cada uno en una cámara de flujo laminar. La siembra fue en una cámara de flujo laminar, se removía la grapa del sobre de papel con ayuda de unas pinzas y el sobre desdoblado se colocaba sobre el medio, se hacía una pequeña presión sobre el papel con las pinzas y las semillas quedaban sobre el medio, las cajas se sellaban con Parafilm (Aguilar-Morales, 2017). Las semillas se incubaron a  $22 \pm 2$  °C, un fotoperiodo de 16 horas luz con iluminación LED (Dutra *et al.*, 2009) a una intensidad luminosa de  $80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .



**Figura 17.** Área de incubación donde se desarrollaron el experimento y los ensayos *in vitro* de germinación.

Se tomó registro de la etapa de imbibición, desarrollo de protocormo, etapa de cormo y aparición de raíces y desarrollo de plántula. Se registró como imbibición cuando la semilla se mostraba hinchaba al observarse mediante el microscopio estereoscópico.

La etapa de protocormo se registró cuando el embrión de la semilla tomaba una forma redondeada y de color blanco cremoso. La etapa de cormo se registró cuando ya se presentaban en el cultivo tallos engrosados subterráneos, de base hinchada y crecimiento vertical procedentes de los protocormos. La aparición de raíces estaba marcada cuando del cormo emergían raíces visibles. Se consideraron como semillas germinadas aquellas donde se alcanzaba la etapa de protocormo inicial, debido a que es una etapa donde es muy apreciable el desarrollo del embrión (Aguilar-Morales *et al.*, 2016) y la ruptura de la testa (Dutra *et al.*, 2009). También se registró el desarrollo de plántula y aparición de hojas. Las observaciones se realizaron cada semana.

Adicional a el primer experimento se realizaron otros ensayos con diferentes medios y diferentes modificaciones; concentración de sales, complementos orgánicos y presencia o ausencia de carbón activado. El proceso de desinfección y siembra fueron los mismos que en el primer experimento.

**Cuadro 6.** Ensayos *in vitro* para la prueba de germinación de semillas de *Govenia superba* realizados con diferentes medios y sus modificaciones.

Medio de cultivo	Modificaciones
<b>Murashige &amp; Skoog</b>	Concentración de sales al 100%, 50%. Complementos orgánicos: agua de coco y extracto de plátano. Presencia y ausencia de carbón activado.
<b>Knudson C</b>	Complementos orgánicos: agua de coco y extracto de plátano. Fotoperiodo 16 horas luz y oscuridad Presencia y ausencia de carbón activado.
<b>Multiplicación P6793</b>	Presencia y ausencia de carbón activado.
<b>Phitamax con polvo de banana</b>	Presencia y ausencia de carbón activado.
<b>BM-1</b> <b>Malmgrem</b>	Con y sin 5% de agua de coco Presencia y ausencia de Carbón activado.

En estos bioensayos se realizaron observaciones cada semana, donde se registraron las etapas de desarrollo de las semillas.

# **VII. RESULTADOS**

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Modelado de la distribución potencial de *Govenia superba*

Con ejemplares de herbario y los programas MaxEnt y Qgis se generaron seis mapas de distribución potencial de cada una de las especies que integran el grupo *superba* del género *Govenia* y que se encuentran en México. De igual manera se identificaron las variables ambientales, de relieve y edáficas que determinan la presencia de dichas especies.

Con la información y resultados del trabajo de investigación se generó un artículo científico titulado “Distribución potencial de seis especies de orquídeas del género *Govenia* Lindl. en México” el cual fue recibido y puesto en revisión por parte de la revista Botanical Science, incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Se anexa carta de recibido de parte de la revista mencionada.

9/2/22 23:36

Antonio Laguna Cerda, Potential distribution of six species of orchids of the genus *Govenia* Lindl. in Mexico

Botanical Sciences

Tasks 0

English

View Site

a\_laguna



Submission Library

View Metadata

Submissions

### Potential distribution of six species of orchids of the genus *Govenia* Lindl. in Mexico

Antonio Laguna Cerda, José Antonio López Sandoval, ...

[Submission](#)

[Review](#)

[Copyediting](#)

[Production](#)

Round 1

#### Round 1 Status

Awaiting responses from reviewers.

#### Review Discussions

[Add discussion](#)

Name	From	Last Reply	Replies	Closed
<i>No Items</i>				



1 **Distribución potencial de seis especies de orquídeas del género *Govenia* Lindl. en**  
2 **México.**

3 Zamora-García, M<sup>1</sup>., Laguna-Cerda, A.<sup>1\*</sup>, López-Sandoval, J.A.<sup>1</sup>, Lee-Espinosa, H.E.<sup>2</sup> &  
4 Cruz-Cárdenas, G<sup>3</sup>.

5

6 <sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México Campus “El Cerrillo”- Programa de Maestría  
7 y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Facultad de Ciencias  
8 Agrícolas. El Cerrillo Piedras Blancas C. P. 50200. Toluca, Estado de México.

9 <sup>2</sup>Universidad Veracruzana-Laboratorio de Micropropagación Vegetal-Facultad de Ciencias  
10 Biológicas y Agropecuarias Campus Córdoba, Ver., México.

11 <sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional -Instituto  
12 Politécnico Nacional-Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México.

13 \*Autor para correspondencia: [alagunac@uaemex.mx](mailto:alagunac@uaemex.mx).

14 **Running title/ título consecutivo:**

15 Distribución potencial de *Govenia* (Orchidaceae) en México.

16 Modelado de la distribución de *Govenia* (Orchidaceae).

17 Distribución potencial de seis especies de *Govenia* (Orchidaceae).

18 **Author contributions/ Contribuciones de autor:** Zamora-García, M.,  
19 (<http://orcid.org/0000-0002-9421-9948>) elaboración de base de datos, revisión de ejemplares  
20 de herbario, colecta de especies, modelado de la distribución potencial, elaboración de  
21 mapas, escritura y revisión del artículo ; Laguna-Cerda, A., ([http://orcid.org/0000-0000-](http://orcid.org/0000-0000-0000-0000)  
22 [0000-0000](http://orcid.org/0000-0000-0000-0000)), coordinación del trabajo de investigación, metodología para estrategias de

23 conservación de orquídeas, escritura y revisión del artículo; López-Sandoval, J.A.,  
24 (<http://orcid.org/0000-0001-5708-7344>), planeación del trabajo de investigación,  
25 metodología para el modelado de distribución de especies, coordinación con herbarios y  
26 análisis de ejemplares de herbario, escritura y revisión del artículo; Lee-Espinosa, H.E.,  
27 (<http://orcid.org/0000-0002-9441-7733>) metodología para estrategias de conservación de  
28 orquídeas, planeación de actividades; Cruz-Cárdenas, G., ([http://orcid.org/0000-0002-5256-](http://orcid.org/0000-0002-5256-4612)  
29 4612) análisis de bases de datos de coordenadas de presencia de especies, metodología para  
30 el modelado de la distribución potencial y generación de mapas.

31

## 32 **Absstrac**

33 **Background:** The *Govenia* genus in Mexico has great importance and diversity, however,  
34 little is known about its distribution in the country and strategies for its conservation.

35 **Questions:** ¿How is the potential distribution and what are the climatic variables that  
36 determine the presence of the species of the superba group of the genus *Govenia* found in  
37 Mexico?

38 **Study site and dates:** The study was conducted in 2020 in the United Mexican States.

39 **Methods:** We worked with six species of the superba group of the *Govenia* genus. Potential  
40 distribution models were made in the MaxEnt and Qgis programs with geographic  
41 coordinates obtained from herbarium specimens from four herbaria in the country.

42 **Results:** Models with high AUC (0.91-0.99) were obtained, being considered good and  
43 showing coincidence with their real distribution reported by other authors. The variables that  
44 determine the presence of these species are Bio 4, altitude, precipitation of the wet months  
45 and Bio 10.

46 **Conclusions:** *G. superba*, *G. dressleriana* and *G. lagenophora* have a broader potential  
47 distribution than *G. praecox*, *G. matudae* and *G. greenwodii*, which are only found in very  
48 specific regions. The presence of the six species of the superba group that are distributed in  
49 Mexico are determined by very specific climatic factors. The information contributes to  
50 methodologies that allow the formation of strategies to take conservation measures in these  
51 orchids.

52 **Key words:** Orchidaceae, MaxEnt, conservation, environmental variables.

53

#### 54 **Resumen**

55 Antecedentes: El género *Govenia* en México tiene gran importancia y diversidad, no  
56 obstante, poco se sabe de su distribución en el país y de estrategias para su conservación.

57 **Pregunta.** ¿Cómo es la distribución potencial y cuáles son las variables climáticas que  
58 determinan la presencia de las especies del grupo superba del género *Govenia* que se  
59 encuentran en México?

60 **Sitio y fechas.** El estudio se realizó en 2020 en los Estados Unidos Mexicanos.

61 **Métodos.** Se trabajó con seis especies del grupo superba del género *Govenia*, se realizaron  
62 modelos de distribución potencial en los programas MaxEnt versión 3.4.1 y Qgis 3.4 con  
63 coordenadas geográficas obtenidas de ejemplares de herbario de cuatro herbarios del país.

64 **Resultados.** Se obtuvieron modelos con alta AUC (0.91-0.99) considerándose buenos y  
65 mostrando coincidencia con su distribución real reportada por otros autores. Las variables  
66 que más contribuyen a los modelos del grupo de seis especies son Bio 4, altitud, precipitación  
67 de los meses húmedos y Bio 10.

68 **Conclusiones.** *G. superba*, *G. dressleriana* y *G. lagenophora* presentan una distribución  
69 potencial más amplia que *G. praecox*, *G. matudae* y *G. greenwodii*, las cuales solo se

70 encuentran en regiones muy específicas. La presencia de las seis especies del grupo *superba*  
71 que se distribuyen en México están determinadas por factores climáticos muy específicos.  
72 La información contribuye a metodologías que permitan formar estrategias para tomar  
73 medidas de conservación en estas orquídeas.

74 **Palabras clave.** Orchidaceae, MaxEnt, conservación, variables ambientales.

75

76 El género *Govenia* Lindl. está bien representado en México, forma parte de la riqueza  
77 florística y algunas de ellas tienen potencial ornamental (Vázquez-García & López-Sandoval  
78 2010, Szeszko-Fabila 2011). De tal manera que en este país se encuentran diecisiete  
79 (Villaseñor, 2016) de las 28 especies que se reportan de este género (Cruz-García & Sosa  
80 2005, Cruz-García & Sosa 2006, Dariusz *et al.* 2014, Salazar *et al.* 2018). A nivel de  
81 endemismo, encontramos diez especies endémicas en el territorio mexicano de este género,  
82 como *G. praecox*, *G. matudae*, aunque una se encuentra en algún estatus de riesgo: *Govenia*  
83 *tequilana* (SEMARNAT 2010). El género *Govenia* se divide en tres principales grupos:  
84 *Capitata*, *purpusii* y *superba*. En México se encuentra seis de las 9 especies del grupo *superba*  
85 del género *Govenia*: *G. superba*, *G. lagenophora*, *G. dresseriana*, *G. greenwoodii*, *G.*  
86 *praecox* y *G. matudae* (Figura 1) las cuales comparten características filogenéticas (Cruz-  
87 García & Sosa 2005). Del grupo *Purpusii* se encuentran tres especies en nuestro país (*G.*  
88 *purpusii*, *G. bella* y *G. tequilana*), del grupo *Capitata* se tiene la presencia de cuatro especies  
89 (*G. capitata*, *G. utriculata*, *G. liliacea* y *G. mutica*). El grupo *superba* es el que mayor número  
90 de especies están presentes en México, y es el objeto de estudio de este trabajo (Figura 1).

91 Las poblaciones de este género se están reduciendo a causa de la deforestación, incendios  
92 forestales, disminución de polinizadores, saqueo y comercio ilegal (Castillo *et al.* 2018), por

93 lo que los especialistas sugieren estrategias de conservación, así como protección especial  
94 (Salazar *et al.* 2018).

95 Las especies de la familia Orchidaceae, debido a valor ornamental, sus poblaciones  
96 restringidas y amenazas a las que se enfrentan, su presencia es potencialmente de interés  
97 científico y de conservación de la naturaleza (Stípková *et al.* 2017). En este sentido como  
98 una estrategia de conservación, la modelación de nichos ecológicos y de distribución  
99 potencial de especies son una herramienta útil, ya que permiten identificar áreas potenciales  
100 donde puede desarrollarse la especie, reintroducirse, ubicación de zonas para realizarse  
101 nuevas exploraciones y predecir cambios en las zonas de distribución. Uno de los modelos  
102 más eficientes en la predicción de distribución espacial de especies es el modelo Maxent, el  
103 cual ha sido usado exitosamente para estimar la distribución de la familia Orchidaceae  
104 (Kolanowska 2014, Wan *et al.* 2014, Hernández-Ruíz *et al.* 2015, Ibrahimova 2020, Juiling  
105 *et al.* 2020).

106 Como una estrategia de conservación es necesario ubicar espacios que tengan las  
107 características idóneas para la reintroducción de plantas generadas en condiciones *in vitro*,  
108 identificar áreas de origen y diversificación de especies (Hernández-Ruíz *et al.* 2015), ubicar  
109 posibles lugares donde se puedan encontrar estas plantas y poder darles un manejo, incluso  
110 para poder obtener germoplasma de ellas para realizar conservación *ex situ* e *in situ*, así como  
111 identificar los factores ambientales que determinan la presencia de estas especies en un lugar.  
112 Por ello, un conocimiento detallado de la distribución actual de la especie es un requisito  
113 previo para utilizar y conservar el recurso genético dentro de un ecosistema (Wan *et al.* 2014).

114 El objetivo de este trabajo fue modelar la distribución potencial de las especies presente en  
115 México del grupo superba del género *Govenia*, indicar cuáles son las variables ambientales

116 que determinan la presencia de las orquídeas aquí estudiadas e identificar las áreas de  
117 distribución potencial para generar estrategias de conservación. En México es necesario  
118 realizar más trabajos de distribución de orquídeas terrestres, y utilizar propiedades del suelo  
119 y atributos topográficos en el modelado de la distribución potencial de esta familia botánica.

## 120 **Materiales y métodos**

121 *Área de estudio.* Estados Unidos Mexicanos, localizado en la parte meridional de  
122 Norteamérica y el norte de Centroamérica, con un territorio de casi dos millones de  
123 kilómetros cuadrados dividido aproximadamente en dos mitades por el trópico de cáncer. La  
124 posición latitudinal de México implica que una parte del territorio sea templada y la otra  
125 tropical (Hágsater *et al.* 2015). Dentro del grupo de los 17 países megadiversos, México se  
126 ubica en el lugar número 5, puesto que alberga el 8.59% del total mundial de las especies  
127 (Martínez-Meyer *et al.* 2014).

128 *Base de datos.* Se elaboró una base de datos para incluir sitios y localidades donde se reporta  
129 la existencia de especies de *Govenia* del grupo *superba* en México. Las especies revisadas  
130 pertenecen al grupo *superba* presentes en México (Cruz-García & Sosa 2005, Villaseñor  
131 2016), estas son *G. superba* (Lex) Lindl, *G. lagenophora* Lindl., *G. dresseriana* E.W.  
132 Greenw., *G. greenwoodii* Dressler & Soto Arenas, *G. praecox* Salazar y EWGreenw. y *G.*  
133 *matudae* E.W. Greenw. & Soto Arenas. La información se obtuvo a partir de la revisión de  
134 las colecciones de los varios herbarios: Herbario Eizi Matuda de la Universidad Autónoma  
135 del Estado de México (CODAGEM), Herbario de la Asociación Mexicana de Orquideología  
136 (AMO), Herbario Nacional de México (MEXU), y el Herbario Hortorio del Colegio de  
137 Posgraduados (CHAPA).

138 *Modelado de distribución potencial basado en los registros de herbario.* Con la base de datos  
139 de los ejemplares de herbario y mediante la aplicación del programa MaxEnt se modeló  
140 preliminarmente la distribución geográfica de seis especies del género *Govenia*. Se utilizaron  
141 56 variables (Tabla 1) como predictores. La modelación de la distribución potencial se  
142 efectuó en el programa MaxEnt versión 3.4.1 (Steven *et al.* 2017), el cual está fundamentado  
143 en el concepto de máxima entropía, donde el resultado de distribución es la respuesta de la  
144 especie a las variables medio ambientales de su entorno (Phillips *et al.* 2006). Este programa  
145 es considerado un algoritmo con un buen desempeño, incluso con muestras de pequeño  
146 tamaño (Elith *et al.* 2006, Elith *et al.* 2011, Miranda *et al.* 2016, Tsiftsis 2019). Debido a que  
147 en la distribución proyectada utiliza la restricción de que cada valor esperado de las variables  
148 ambientales debe concordar con el promedio de su valor empírico, lo cual hace eficientes las  
149 predicciones a partir de información incompleta (Monterrubio-Rico *et al.* 2016).

150 *Selección de variables para cada especie del grupo.* La selección de las variables para cada  
151 una de las especies se hizo corriendo las coordenadas geográficas registradas de cada especie  
152 con 56 variables como predictores: bioclimáticas, edáficas, de atributos topográficos e  
153 índices de cobertura vegetal de los doce meses del año 2009 (Tabla 1). Se utilizó 75 % de la  
154 muestra para el entrenamiento (Martínez-Méndez *et al.* 2016) generando 10 réplicas con las  
155 coordenadas geográficas de cada especie con un límite de convergencia de 0.00001 (Garza-  
156 López *et al.* 2016) y el tipo de modelo clásico: Logistic. La validación se realizó empleando  
157 25 % de la muestra y la técnica Crossvalidate. El programa se configuró con las pruebas  
158 Jackknife, Bootstrap, y multiplicador de regularización 1. Se tomó 25 % de los datos para  
159 muestrear y el resto para validar. De las 56 variables se tomaron aquellas con mayor valor de

160 ganancia en los modelos. Se tomaron los valores iguales o mayores del intervalo de confianza  
161 superior de todas las medias de los valores de ganancia de cada variable.

162 Una vez seleccionadas las variables, se volvió a correr las coordenadas de cada especie con  
163 las variables seleccionadas, esta vez a la configuración anterior se aplicó cinco valores de  
164 multiplicadores de regularización: 0.1, 0.5, 1, 2 y 5. Los 50 modelos generados por especie  
165 fueron sometidos a las pruebas del área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) y la  
166 prueba de Jackknife para verificar la confiabilidad y el efecto de cada variable dentro del  
167 modelo (Scheldeman & van Zonneveld 2010).

168 Se seleccionó el multiplicador de regularización cuyo promedio AUC de las 10 réplicas de  
169 modelos generados por multiplicados de regularización fuera mayor. En términos generales,  
170 que los valores del AUC entre 0.7 y 0.9 para los datos de entrenamiento y de prueba del  
171 modelo, como modelos buenos y aquellos con valores mayores a 0.9 como modelos muy  
172 buenos (Peterson *et al.* 2011).

173 De los 10 modelos del mejor multiplicador de regularización se tomó el valor promedio de  
174 Maximum test sensitivity plus specificity, el cual fue tomado como el valor de corte para la  
175 generación de mapas en el programa Qgis versión 3.4.13. De este se obtuvo el mapa final de  
176 cada especie.

177 *Mapa de distribución potencial del grupo superba.* Para la obtención del mapa del grupo  
178 superba con especies mexicanas primero se seleccionaron de 56 las variables que más  
179 contribuyeran en los modelos como predictores para determinar su presencia, para ello se  
180 corrieron todas las coordenadas como un solo grupo (*Govenia* spp.). Se obtuvieron 10  
181 réplicas con la misma configuración que las especies en individual, después se aplicó un

182 intervalo de confianza para seleccionar las variables principales. Se volvieron a correr todas  
183 las coordenadas con cinco valores de multiplicador de regularización. La selección de los  
184 mejores modelos se realizó igual que para las especies en individual, al igual que la  
185 determinación del valor de corte. En el programa Qgis 3.4, se editó el resumen del mejor  
186 multiplicador de regularización y se ejecutó un algebra de mapas para la obtención de la  
187 distribución potencial de las especies del género *Govenia* grupo *superba* presentes en México,  
188 así como identificar la presencia de diferentes especies en la misma área.

189 *Verificación de presencia real de especies en hábitat natural de las áreas marcadas como*  
190 *distribución potencial.* Con la finalidad de corroborar la presencia de las especies estudiadas  
191 en el modelado de la distribución potencial, se seleccionaron puntos marcados como  
192 distribución potencial, tales como áreas naturales protegidas y puntos que no fueran  
193 coordenadas geográficas utilizadas con anterioridad en el modelado.

## 194 **Resultados**

195 *Información de especímenes de herbario.* De la revisión de las colecciones de herbarios se  
196 reportaron un total de 211 registros de las especies de *Govenia* del grupo *superba* (Tabla 2).

197 *Modelado de la distribución potencial de seis orquídeas del género Govenia.* Se generaron  
198 un total de 350 modelos y siete mapas de distribución potencial y se determinaron las  
199 variables que contribuyen más a determinar la presencia cada especie y del grupo. La Tabla  
200 3 muestra el área bajo la curva (AUC) operada por el receptor (ROC), tanto para los  
201 resultados del entrenamiento como para los de prueba para el grupo *superba* y para cada una  
202 de las especies estudiadas (Tabla 3). Es notorio que en todos los casos el área bajo la curva

203 ROC resulta mayor de 0.9, lo que indica que los modelos resultantes son modelos muy  
204 buenos y que los dos restantes son modelos buenos (Peterson *et al.* 2011).

205 *Distribución potencial de cada una de las especies del grupo superba.* Las especies *G.*  
206 *superba*, *G. lagenophora* y *G. dressleriana* son las que mayor área de distribución potencial  
207 presentan, cubriendo áreas principalmente en el centro, centro occidente y sur del país. *G.*  
208 *superba*, *G. lagenophora* y *G. dressleriana* se distribuyen en el bosque templado. Las  
209 especies con distribución más restringida son *G. matudae*, ubicándose solo en el bosque  
210 templado en el sur del país en Oaxaca y en el bosque húmedo de montaña en Chiapas;  
211 *Govenia praecox*, limitándose al bosque templado y bosque tropical húmedo de los estados  
212 de Veracruz e Hidalgo, y *G. greenwoodii*, con áreas muy compactas en el bosque templado  
213 y el bosque tropical estacionalmente seco en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y  
214 Chiapas (Figura 2).

215

216 *Mapa de la distribución potencial del grupo superba del género Govenia presentes en*  
217 *México.* Con la aritmética de mapas de los mejores modelos de las seis especies de *Govenia*  
218 se obtuvo un mapa con división estatal con la presencia potencial de estas especies en México  
219 (Figura 3), donde los puntos morados indican la presencia de una especie, puntos azules la  
220 presencia de dos especies asociadas y puntos de color rojo la presencia asociada de tres  
221 especies en la misma área. Se encontraron áreas importantes de convergencia de especies de  
222 dicho género (Figura 4).

223 *Variables ambientales y su contribución por cada una de las especies.* Las variables que más  
224 aportaron a los modelos para cada una de las seis especies de *Govenia* fueron Dem, Bio 4,

225 Bio 10, Bio 5, Bio 8, Bio 14, Evapo\_anual y Pp\_humedos (Tabla 4). Dem (altitud) fue la  
226 variable que más aportó a los modelos de las especies *G. dressleriana* y *G. lagenophora* con  
227 un porcentaje de 19.4 % y 15.4 %, respectivamente; para *G. greenwoodii* la variable  
228 pendiente fue la que mayor aportó en su modelado con 13.7 %, muy cercana a la  
229 estacionalidad de la temperatura; en el caso de *G. matudae* la estacionalidad de la temperatura  
230 fue la de mayor aporte al modelo con 18.9 %, la Bio 5 (máxima temperatura del mes más  
231 cálido) fue la variable que más contribuyó al modelo de *G. superba* con un 26.7 %. De las  
232 variables propiedades del suelo, solo ca (cantidad de calcio en el suelo) contribuyó de forma  
233 considerable solo en el modelado de *G. praecox* con un aporte de 11.2 %.

234 *Variables ambientales y su contribución las especies del grupo superba.* En los modelos para  
235 el conjunto de especies del grupo superba las principales cinco variables (Tabla 5) que más  
236 contribuyeron a determinar su presencia fueron Bio 4 (23.5 %), altitud (16.1 %), máxima  
237 temperatura del mes más cálido (15.6%), precipitación pluvial de la temporada lluviosa del  
238 año (13.7) y Bio 10, temperatura media del trimestre más cálido (9.8%).

239 *Corroboración de registros marcados por los mapas.* De los puntos seleccionados se  
240 encontraron *Govenia superba* en el Área Natural Protegida Bosencheve, también en los  
241 municipios de Aporo, en el Santuario de la Mariposa Monarca el Rosario y en la Barranca  
242 del Cupatitzio en Michoacán, así como en San José del Rincón en el Estado de México. Se  
243 encontró *Govenia lagenophora* en el bosque templado de Los Reyes en la meseta purépecha  
244 y La REPSA. *G. dressleriana* se observó en el cañón del sumidero en Chiapas.

245 **Discusión**

246 Los resultados muestran la relevancia de las variables de temperatura y régimen de humedad  
247 en la determinación de la presencia de orquídeas del género *Govenia*. La estacionalidad de  
248 la temperatura y la altitud fueron las variables con mayor contribución porcentual al modelo  
249 de distribución potencial a todo el grupo en general. Estos datos coinciden con *Vanilla*  
250 *planifolia* (Hernández-Ruíz *et al.* 2015) y el de las especies epifitas de *Campylocentrum*  
251 (Kolanowska 2014) en los que se muestra la importancia de estas variables en orquídeas  
252 neotropicales.

253 *Áreas con mayor asociación de especies de orquídeas del grupo superba.* Dentro del Sistema  
254 Volcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur y en la Sierra de Chiapas es donde, de acuerdo  
255 a la distribución potencial del grupo superba, podemos encontrar alguna de las seis especies  
256 del grupo superba, así como dos y tres especies asociadas en el mismo lugar. Las áreas con  
257 mayor cantidad de especies asociadas del grupo superba se encuentran en la zona limítrofe  
258 del estado de México con Morelos, zona oriente de las Sierras del sur de Puebla, Sierras del  
259 Norte en Guerrero, en el oriente de la subprovincia Neovolcánica Tarasca de Michoacán, la  
260 Cordillera Costera del Sur en Oaxaca, Soconusco y Sierra de Chiapas, lo que podría indicar  
261 áreas de diversificación. Hay regiones donde no hay presencia de estas orquídeas terrestres,  
262 principalmente en los estados del norte, Sierra de Baja California, la Altiplanicie Mexicana  
263 y la Península de Yucatán, coincidiendo con los resultados de la revisión de Villaseñor  
264 (2016). Esto debido principalmente a las características climáticas y de atributos topográficos  
265 de dichas regiones, que no son óptimas para el desarrollo del género *Govenia*, dado que en  
266 general, la mayoría de estas especies crece en elevaciones intermedias (1200-2800 m) bajo  
267 la sombra de los árboles, en los suelos ricos y orgánicos de los bosques húmedos templados  
268 (García-Cruz & Sosa, 2005).

269 *Variables que determinan la presencia del grupo superba.* Los resultados de este estudio,  
270 soportan la hipótesis de que existe un patrón de factores que delimitan la distribución de 6  
271 especies presentes en México de las 9 del grupo superba. De forma general, y de acuerdo a  
272 los resultados, las variables climáticas seleccionadas contribuyeron con 79.4 % a la presencia  
273 de especies del grupo superba del género *Govenia* en México, siendo estas las de mayor  
274 importancia y contribución. Los atributos topográficos seleccionados con el 16.1% y los  
275 índices de cobertura con 4.3%. Para el modelado del grupo no se seleccionaron propiedades  
276 del suelo debido a que en el proceso de selección de variables su valor en las pruebas de  
277 ganancia era menor al del intervalo de confianza superior de todas las medias de los valores  
278 de ganancia de cada variable. Este no es el caso cuando se realizó el modelado de forma  
279 individual para cada especie.

280 Las propiedades del suelo no contribuyeron tanto como las variables climáticas, a pesar de  
281 ser orquídeas terrestres. Tan solo para el contenido de calcio en el suelo se indicó como  
282 variable que determina a presencia de *G. matudae*. Son pocos los trabajos de investigación  
283 con orquídeas en los que se incorporen variables de propiedades del suelo, solo Juiling *et al.*  
284 (2020) usaron capas edáficas para determinar la distribución espacial de orquídeas endémicas  
285 en Borneo. Existen trabajos de modelado de plantas terrestres donde se incorporan variables  
286 de propiedades del suelo y estas contribuyen de forma importante (Coudun *et al.* 2006,  
287 López-Sandoval *et al.* 2015) mostrando la importancia de incluir además de variables  
288 climáticas, variables de aspecto topográfico, propiedades del suelo, así como capas de  
289 vegetación para mejorar el valor predictivo de los modelos. Quizá en gran medida por la  
290 proporción de orquídeas epifitas sobre las terrestres (Hágsater *et al.* 2015, Castillo *et al.* 2018)  
291 y que en general para modelado de la distribución de especies es más común solo usar las

292 variables proporcionadas por la base de datos de WorldClim, por eso no es común usar ese  
293 tipo de capas.

294 De los atributos topográficos; la altitud, pendiente y el índice de rugosidad del terreno  
295 fueron los que más contribuyeron a los modelos. En las especies de amplia distribución la  
296 altitud fue una variable de importante contribución, principalmente en *G. dressleriana* y *G.*  
297 *lagenophora* donde fue la variable con mayor contribución, y en *G. superba* con una  
298 contribución menor. El caso más notable es *Govenia lagenophora* en el cual el más de una  
299 tercera parte de la contribución a su presencia es por variables de este tipo. A partir de los  
300 resultados de la variable altitud se pueden generar dos agrupaciones: las orquídeas de amplia  
301 distribución, que su presencia está determinada por la altitud, y las de distribución restringida,  
302 cuya presencia no está determinada por la altitud. La importancia de la altitud, radica en que  
303 ésta determina en gran medida los parámetros de casi todos los elementos climáticos como  
304 la temperatura, precipitaciones y radiación solar (López-Sandoval *et al.* 2015).

305 Las especies con distribución restringida son las que ameritan ser más estudiadas y  
306 desarrollar más estrategias para su conservación, en particular por el nicho ecológico tan  
307 particular y la poca área de distribución potencial, por lo que cualquier registro de una nueva  
308 población y datos de presencia son de valiosa aportación (Stípková *et al.* 2017). Con la  
309 información de los mapas generados con el modelado de la distribución potencial se puede  
310 sugerir que es posible realizar colectas para investigación de *G. praecox* en la zona limítrofe  
311 del estado de Veracruz con Hidalgo, así como sobre la Cuenca del Papaloapan. Para *G.*  
312 *greenwoodii* se sugieren más colectas en la parte centro del estado de Veracruz y el área de  
313 los Tuxtlas, y para *G. matudae* al oeste de los Altos de Chiapas, que son áreas en las que no  
314 se tienen registros.

## 315 **Conclusiones**

316 De las 56 variables de clima, propiedades del suelo, aspectos topográficos e índices de  
317 vegetación, las que más aportaron a los modelos fueron estacionalidad de la temperatura y  
318 altitud. La distribución potencial para cada una de las especies estudiadas es variante. *G.*  
319 *superba*, *G. dressleriana* y *G. lagenophora* presentan una distribución potencial más amplia  
320 que *G. praecox*, *G. matudae* y *G. greenwodii*, las cuales solo se encuentran en regiones muy  
321 específicas. Las orquídeas estudiadas tienen mayor distribución en el centro, occidente y sur  
322 del país. Las zonas potenciales generadas poseen características propicias de clima y relieve  
323 para el desarrollo de estas especies de orquídeas. Estas características determinarían el  
324 posible centro de origen de *Govenia* en el centro y sur de México. Además, esto se sustenta  
325 por la gran cantidad de registros de especies del género en el país.

326 Las variables que determinan la presencia de seis especies del grupo *superba* registradas en  
327 México son estacionalidad de la temperatura, la altitud, máxima temperatura del mes más  
328 cálido y precipitación del mes más húmedo.

329 Las especies más amenazadas son aquellas endémicas (*G. matudae* y *G. praecox*) debido a  
330 su distribución tan reducida. Estas son especies en las que se debe trabajar más en estrategias  
331 de conservación tanto *in situ* como *ex situ*.

## 332 **Agradecimientos**

333 Los autores agradecen al Área de Recursos Genéticos de la Facultad de Ciencias agrícolas  
334 de la UAEMéx por su apoyo en las metodologías de estrategias de conservación de orquídeas  
335 y revisión de ejemplares de herbario; al área de Modelaje y cartografía de suelos, modelaje  
336 de nicho ecológico del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral

337 Regional (CIIDIR), Unidad Michoacán por su colaboración en el modelado de distribución  
338 de especies. También agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT,  
339 México) por la beca otorgada a M. Zamora (932025); así como a los Encargados y personal  
340 de los Herbarios: Herbario Eizi Matuda de la Universidad Autónoma del Estado de México  
341 (CODAGEM), Herbario de la Asociación Mexicana de Orquideología (AMO), Herbario  
342 Nacional de México (MEXU), y el Herbario Hortorio del Colegio de Posgraduados  
343 (CHAPA) por su apoyo en el análisis de ejemplares de herbario.

#### 344 **Literatura citada**

345 Barik, SK, Adhikari D. 2011. Predicting geographic distribution of an invasive species  
346 *Chromolaena odorata* L. (King) H. E. Robins. In: Bhatt, J. R., Singh, J. S., Tripathi, R.  
347 S., Singh, S. P., Kohli, R. K. (Eds.), Invasive Alien Plants – An Ecological Appraisal for  
348 the Indian Sub-continent (pp. 77-88). Oxfordshire: CABI. DOI: 10.1079 /  
349 9781845939076.0077

350 Castillo - Pérez, LJ, Martínez - Soto D, Maldonado - Miranda JJ, Alonso - Castro AJ,  
351 Carranza - Álvarez C. 2018. The endemic orchids of Mexico: a review. *Biologia*, 74, 1-  
352 13. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0147-x>

353 Coudun C, Gégout JC, Piedallu C, Rameau JC. 2006. Soil nutritional factors improve models  
354 of plant species distribution: an illustration with *Acer campestre* (L.) in France. 2006.  
355 *Journal of Biogeography* **33**:1750-1763. DOI: [https://doi.org/10.1111/j.1365-](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01443.x)  
356 [2699.2005.01443.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01443.x)

357 Elith, J, Leathwick, J. 2009. The contribution of species distribution modelling to  
358 conservation prioritization. In A. Moilanen, A. K. Wilson, & H. P. Possingham (Eds.).

359 Spatial conservation prioritization. Quantitative methods & computational tools. New  
360 York: Oxford University Press Inc pp. 70–93.

361 Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier, S, Guisan A. 2006. Novel methods  
362 improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–  
363 151. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>

364 García-Cruz J, Sosa V. 2005. Phylogenetic relationships and character evolution in *Govenia*  
365 (Orchidaceae). *Canadian Journal of Botany*. 83. 1329-1339. DOI: <https://doi.org/10.1139/b05-098>.

367 García-Cruz J, Sosa V. 2006. A new species of *Govenia* (Orchidaceae) from Chiapas,  
368 Mexico. *Brittonia*, 58(3), 2006, pp. 259–263. DOI: 10.1663/0007-  
369 196X(2006)58[259:ANSOGO]2.0.CO;2

370 Garza-López M, Ortega-Rodríguez JM, Zamudio-Sánchez FJ, López-Toledo JF,  
371 Domínguez-Álvarez FA, Sáenz-Romero C. 2016. Calakmul como refugio de *Swietenia*  
372 *macrophylla* King ante el cambio climático. *Botanical Sciences* 94(1): 43-50. DOI:  
373 <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.500>

374 Hágsater E, Soto-Arenas MA, Salazar-Chávez GA, Jiménez-Machorro R, López-Rosas MA,  
375 Dressler RL. 2015. Las orquídeas de México. Instituto Chinoín, México. ISBN: 968-7889-  
376 07-1.

377 Hernández-Ruíz J, Herrera-Cabrera BE, Delgado-Alvarado A, Salazar-Rojas VM,  
378 Bustamante-González Á, Campos-Contreras JE, Ramírez-Juarez J. 2016. Distribución  
379 potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia*

380 (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 235-  
381 246. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i1.17854>

382 Ibrahimova AG. 2020. Distribution pattern of threatened plants in Qakh District  
383 (Azerbaijan): environmental factors affecting and prediction of the potential distribution.  
384 Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2020;2:9–17. DOI:  
385 <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-2-9-17>

386 Juiling Z, Leon SK, Jumian J, Tsen S, Lee YL, Khoo E, John B. Sugau2, Nilus R, Pereira  
387 JT, Damit A, Tanggaraju S, O’Byrne P, Sumail S, Mujih H, Maycock CR. 2020.  
388 Conservation assessment and spatial distribution of endemic orchids in Sabah, Borneo.  
389 Nature Conservation Research. Заповедная наука 5(Suppl.1): 136–144  
390 <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2020.053>

391 Kolanowska M. 2014. Determination of potential glacial refugia and possible migration  
392 routes of *Campylocentrum* (Vandaeae, Orchidaceae) species through the Darién Gap. *Acta*  
393 *Soc Bot Pol* 84(1):97–102. DOI: 10.5586/asbp.2014.030

394 López-Sandoval JA, López-Mata L, Cruz-Cárdenas G, Vibrans H, Vargas O, Martínez M.  
395 2015. Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies  
396 sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*, 93 (4), 755–764.  
397 <https://doi.org/10.17129/botsci.192>

398 Martínez-Méndez N, Aguirre-Planter E, Eguiarte LE, Jaramillo-Correa JP. 2016. Modelo de  
399 nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas  
400 implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences* 94(1): 5-24. DOI:  
401 <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.508>

402 Martínez-Meyer E, Sosa-Escalante JE, Álvarez F. El estudio de la biodiversidad en México:  
403 ¿una ruta con dirección?, Revista Mexicana de Biodiversidad, Volume 85, Supplement 1,  
404 2014, Pages 1-9, ISSN 1870-3453, <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>.

405 Miranda Sierra CA, Geada López G, Sotolongo Sospedra R. 2016. Modelación de la  
406 distribución potencial de *Pinus tropicalis* en el occidente de Cuba. Avances 18(1): 28-35.  
407 ISSN 1562-3297. <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/144>  
408 (Fecha de acceso: 20 de abril de 2021)

409 Monterrubio-Rico TC, Charre-Medellín JF, Pacheco-Figueroa C, Arriaga-Weiss S, Valdez-  
410 Leal JD, Cancino-Murillo R, Escalona-Segura G, Bonilla-Ruz C, Rubio-Rocha Y. 2016.  
411 Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México.  
412 Revista Mexicana de Biodiversidad 87(3): 1103-1117. DOI:  
413 <https://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.004>

414 Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez- Meyer E, Nakamura M,  
415 Araújo MB. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University  
416 Press, Princeton, Nueva Jersey. ISBN 978-0-691-13686-8

417 Phillips SJ, R. Anderson P. y R. Schapire E. 2006. Maximum entropy modeling of species  
418 geographic distributions Ecological Modelling 190(3-4): 231-259. DOI:  
419 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

420 Salazar G, Fernández-Díaz A, Huerta-Alvizar CR, Jiménez-Machorro R, Cabrera LI,  
421 Jimeno-Sevilla HD. 2018. *Govenia polychroma*, a new species of Orchidaceae from  
422 Veracruz, Mexico. Phytotaxa. 343. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.343.1.8>

423 Scheldeman X, van Zonneveld M. 2010. Training Manual on Spatial Analysis of Plant  
424 Diversity and Distribution. Bioversity International. Rome, Italy.  
425 [http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx\\_news/Training\\_manual\\_on\\_spatial\\_a](http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Training_manual_on_spatial_analysis_of_plant_diversity_and_distribution_1431_07.pdf)  
426 [nalysis\\_of\\_plant\\_diversity\\_and\\_distribution\\_1431\\_07.pdf](http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Training_manual_on_spatial_analysis_of_plant_diversity_and_distribution_1431_07.pdf) (Fecha de acceso 10 de mayo  
427 de 2020). ISBN 978-92-9043-880-9

428 SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2010. Norma Oficial  
429 Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental – Especies nativas de  
430 México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su  
431 inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la*  
432 *Federación*.

433 Steven JP, Dudík M, Schapire RE. 2017. Maxent software for modeling species niches and  
434 distributions (Version 3.4.1).  
435 [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) (fecha de acceso 17 de  
436 marzo de 2019).

437 Štípková Z, Dušan Romportl, Veronika Černocká, Pavel Kindlmann. 2017. Factores  
438 asociados con la distribución de orquídeas en las montañas Jeseníky, República Checa.  
439 European journal of Environment Sciences. Vol. 7 No. 2 DOI:  
440 <https://doi.org/10.14712/23361964.2017.13>

441 Tsiftsis, S., Djordjević, V. & Tsiripidis, I. *Neottia cordata* (Orchidaceae) at its southernmost  
442 distribution border in Europe: Threat status and effectiveness of Natura 2000 Network for  
443 its conservation. 2019. J. Nat. Conserv. 48, 27–35. DOI:  
444 <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.01.006>

445 Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de*  
446 *biodiversidad*, 87(3), 559-902. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

447 Wan J, Wang C, Han S, Yu J. 2014. Planning the priority protected areas of endangered  
448 orchid species in northeastern China. *Biodiversity and Conservation*, 23(6), 1395-1409.  
449 DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>

450 Vázquez-García LM, López-Sandoval JA. 2010. Plantas con potencial ornamental del Estado  
451 de México. Departamento Editorial. Toluca, Estado de México. Universidad Autónoma  
452 del Estado de México. ISBN: 978-607-422-083-4

453 Szeszko-Fabila DR. 2011. La Orquideoflora Mexiquense. Biblioteca mexiquense del  
454 bicentenario, colección mayor del Estado de México: patrimonio del pueblo. Consejo  
455 Editorial de la Administración Pública estatal. ISBN: 968484655-X

456

457

458

459

460

461

462

463 **Tables and figures.**

464 **Tabla 1.** Capas de los predictores ambientales empleadas en el modelado de la distribución  
 465 potencial de seis especies de *Govenia*, grupo superba.

Tipo	Variables
Climaticas (WORLDCLIM)	Bio 1 Temperatura media anual, Bio 2 Rango diurno medio (media mensual (temp. máx – temp. mín)), Bio 3 Isotermalidad (BIO1/BIO7) ×100, Bio 4 Estacionalidad de la temperatura (desv. estand. × 100) Bio 5 Temperatura máxima del mes más cálido, Bio 6 Temperatura mínima del mes más frío, Bio 7 Oscilación de la temperatura anual (bio5- bio6), Bio 8 Temperatura media del trimestre más húmedo, Bio 9 Temperatura media del trimestre más seco Bio 10 Temperatura media del trimestre más cálido, Bio 11 Temperatura media del trimestre más frío, Bio 12 Precipitación anual, Bio 13 Precipitación del mes más húmedo, Bio 14 Precipitación del mes más seco Bio 15 Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación), Bio 16 Precipitación del trimestre más húmedo, Bio 17 Precipitación del trimestre más seco, Bio 18 Precipitación del trimestre más cálido, Bio 19 Precipitación del trimestre más frío.
Atributos topográficos (GTOPO web)	Altitud, pendiente, aspecto (de 0 ° a 359 °), escorrentía, índice de convergencia de atributos, índice de humedad topográfica, índice de rugosidad del terreno, medida de rugosidad del vector y calentamiento anisotrópico.
Propiedades del suelo	Cationes solubles (Ca, K, Mg y Na; cmol·L-1), conductividad eléctrica (dS·m-1), porcentaje de materia orgánica (%) y pH.
Datos de sensibilidad remota	14 índices de vegetación (promedio mensual, promedio de meses húmedos y secos) del año 2009.

**Tabla 2.** Especies, acrónimos y número de registros de herbario de las seis especies de *Govenia*, grupo *superba*, empleados en el modelado de su distribución potencial.

<b>Especie</b>	<b>Acrónimo</b>	<b>No. de registros</b>
<i>Govenia superba</i> (Lex.) Lindl.	GS	121
<i>Govenia lagenophora</i> Lindl.	GL	30
<i>Govenia dressleriana</i> E.W. Greenw.	GD	35
<i>Govenia greenwoodii</i> Dressler & Soto Arenas	GG	6
<i>Govenia praecox</i> Salazar y EWGreenw.	GP	9
<i>Govenia matudae</i> E.W. Greenw. & Soto Arenas	GM	9
Total		211

**Tabla 3.** Áreas bajo la curva (AUC) operada por el receptor (ROC), para los datos de entrenamiento y los de prueba, así como multiplicadores de regularización aplicados de los modelos resultantes de las especies del grupo *superba*.

<b>Especie</b>	<b>Multiplicador</b>	<b>Entrenamiento</b>	<b>Prueba</b>
<i>G. dressleriana,</i>	1.0	0.9871	0.9706
<i>G. greenwoodii</i>	0.1	0.9998	0.9847
<i>G. lagenophora</i>	0.1	0.9993	0.9033
<i>G. matudae</i>	1.0	0.9998	0.9998
<i>G. praecox</i>	0.1	0.9997	0.9996
<i>G. superba,</i>	0.1	0.9954	0.9866

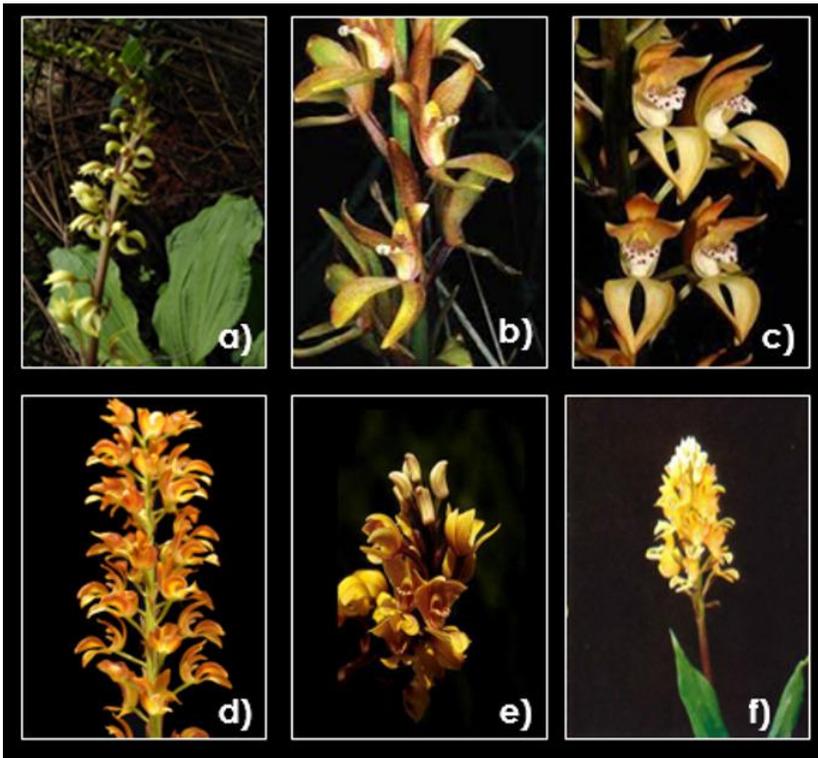
**Tabla 4.** Porcentajes de contribución de las variables a la presencia de cada una de las especies.

Variables	Especies del grupo <i>superba</i> presentes en México					
	<i>G. dressleriana</i>	<i>G. greenwoodii</i>	<i>G. lagenophora</i>	<i>G. matudae</i>	<i>G. praecox</i>	<i>G. superba</i>
Dem	19.4		15.4			6.7
Bio 4	15.1	13.6		18.9		12.4
Bio 10	8.8		7.2	7.5		6.9
Bio 5		10.8	3.9	11.4	20.1	26.7
Bio 8	6		3.1			3.4
Bio 14					22.6	
Evapo_anual	5.1					4.8
Pp_humedos	4.9	7.5			6.8	13.8
Bio 3	4.7			3.0		
slope		13.7	10.5			
T-Húmedos		12.9				1.3
Bio 7		10.5	8	2.0		6.2
Diciembre modis 2009			13	0.4		
tri			11.4	8.2		
Bio 9			8.5			
Julio modis 2009	8.1			1.7		
Abril modis 2009				11.2		
ca				11.2		
Junio modis 2009				8.5		
RAS					10.8	
Bio 16					7.3	

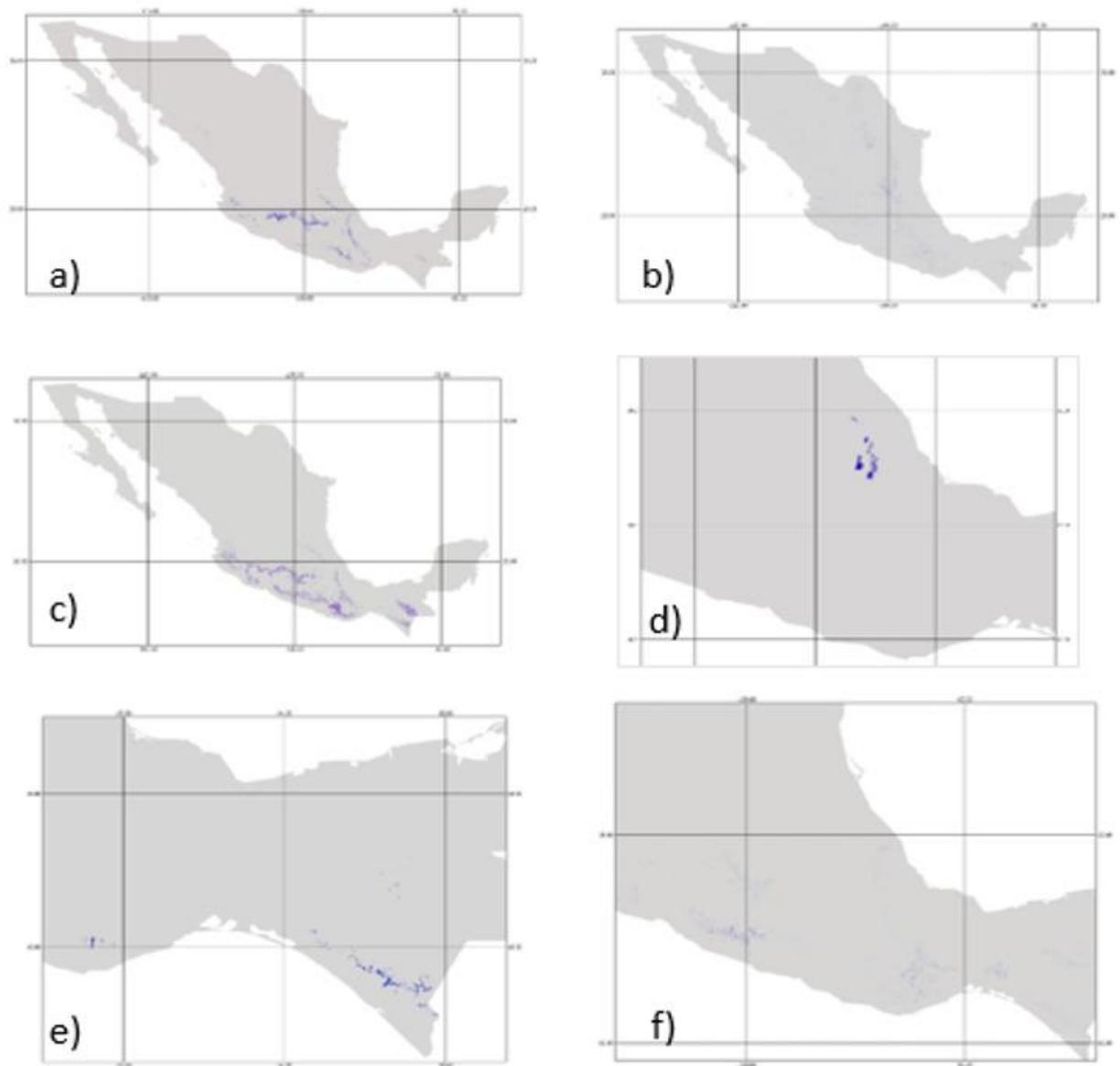
**Tabla 5.** Principales variables y su porcentaje de contribución a la determinación de presencia de las especies del grupo *superba* presentes en México.

<b>Variable</b>	<b>Porcentaje de contribución</b>
Bio 4	23.5
Dem	16.1
Bio 5	15.6
Pp_humedos	13.7
Bio 10	9.8
T_humedos	4.1
Evapo_anual	3.5
Bio 8	2.9
Diciembremodis2009	2.7
Evapo_humedos	1.8
Noviembremodis2009	1.6
Bio 7	1.5
Bio 1	1.0

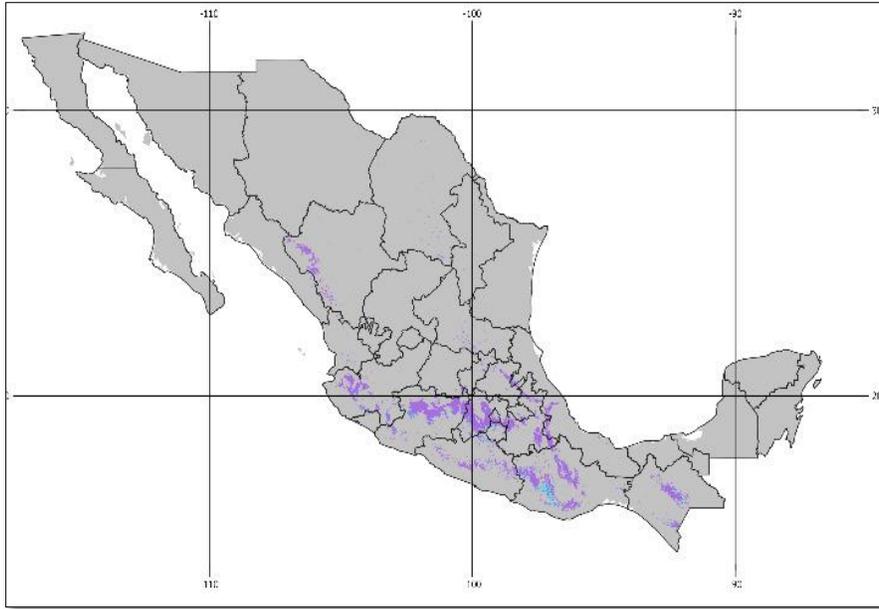
**Leyendas de figuras.**



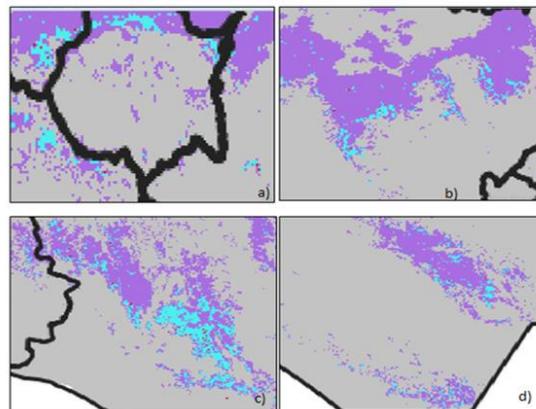
**Figura 1.** a), *Govenia superba*; b), *G. lagenophora*; c), *Govenia greenwodii*; d), *G. dressleriana*; e), *Govenia matudae* (fotografía de Rolando Jiménez Machorro); f), *Govenia praecox* (fotografía de Gerardo A. Salazar).



**Figura 2.** Mapas de distribución potencial: a) *Govenia superba*, b) *Govenia lagenophora*, c) *Govenia dressleriana*, d) *Govenia matudae*, e) *Govenia praecox* y f) *Govenia greenwoodii*.



**Figura 3.** Distribución potencial de seis orquídeas del género *Govenia*, grupo *superba*, en México.



**Figura 4.** Mapa de distribución potencial del Grupo *superba*, los puntos morados indican la presencia de una sola especie, puntos azules de dos y puntos rojos de tres. Áreas con mayor presencia de asociación: a) Zona límite de los Estados de México y Morelos en la Provincia de Lagos y volcanes de Anahuac, zona oriente de la provincia sur de Puebla y parte norte de

las sierras y valles guerrerenses, b) oriente de la provincia Neovolcánica Tarasca, c) Cordillera Costera del Sur en Oaxaca, y d) Sierras del sur de Chiapas y Altos de Chiapas.

## 7.2 Análisis de la calidad de semilla de *Govenia superba*

Respecto a la calidad de semillas se obtuvo información sobre las características físicas y fisiológicas.

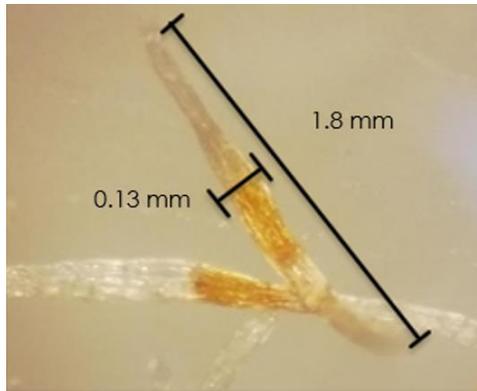
**Cuadro 7.** Resumen de resultados de la caracterización de semilla.

Análisis	Pruebas	Información/ resultados obtenidos.
Físico	Conteo de semillas	Semillas presentes en 0.005g. Semillas por cápsula.
	Peso de semilla	Peso unitario de una semilla.
	Dimensiones de semilla	Largo y ancho de semilla.
Fisiológico	Tetrazolio	Viabilidad determinada por una prueba rápida.
	Germinación asimbiótica <i>in vitro</i>	Viabilidad en cultivo <i>in vitro</i> . Respuesta y registro de las etapas de desarrollo en diferentes medios de cultivo.

### 7.2.1 Análisis físico de semilla

Como resultados del análisis físico se obtuvo un conteo de  $227 \pm 40$  semillas en 0,5 mg, lo que resulta en 454 000 por gramo y 24 561 semillas en una capsula madura de *Govenia superba*. Otras características son que la semilla tiene las siguientes dimensiones: largo  $1.80 \pm 0.43$  mm y ancho  $0.13 \pm 0.035$  mm, resultando ser semillas largas y de testa color blanco amarillento.

El peso de una semilla madura es de 0.0022026 mg.



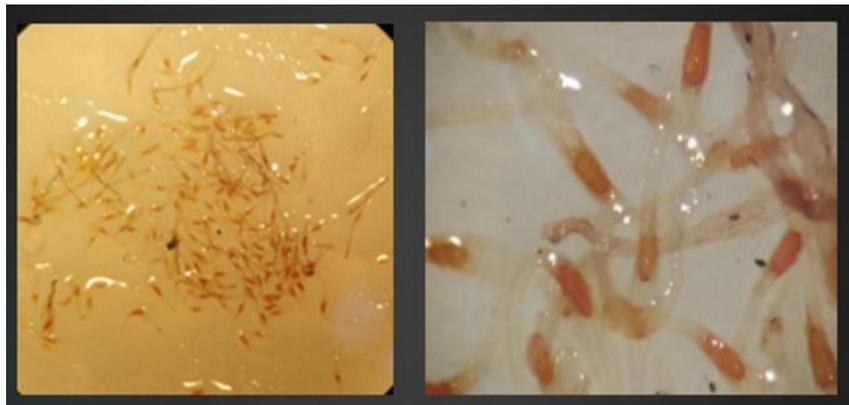
**Figura 18.** Vista en un microscopio estereoscópico de una semilla de *Govenia superba* y sus dimensiones.

### 7.2.2 Análisis fisiológico de semilla

De las dos pruebas para determinar la viabilidad de semilla: prueba rápida de tetrazolio al 1% y germinación asimbiótica *in vitro*, en ambas se encontró que la semilla es viable.

#### 7.2.2.1 Prueba de tetrazolio

De la prueba de viabilidad con la solución de tetrazolio al 1% se obtuvo una viabilidad del 60.95% para semilla proveniente de capsulas maduras y dehiscentes de *Govenia superba*.



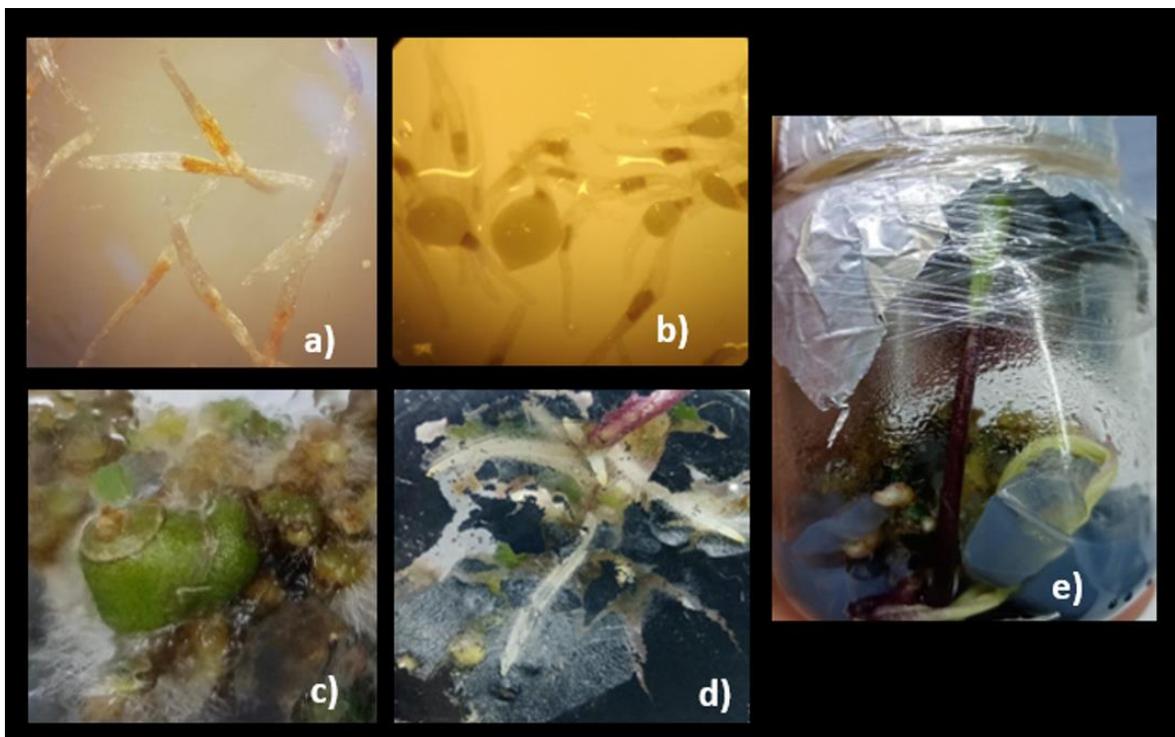
**Figura 19.** Semillas después de la prueba de tetrazolio donde se aprecia la coloración rojiza de los embriones, lo que indica la viabilidad de la semilla.

### 7.2.2.2. Pruebas de germinación in vitro

Las condiciones para la incubación mostraron ser óptimas para el desarrollo de las semillas.

En el primer experimento solo se alcanzó la etapa de imbibición en las 52 semanas en las que se observó.

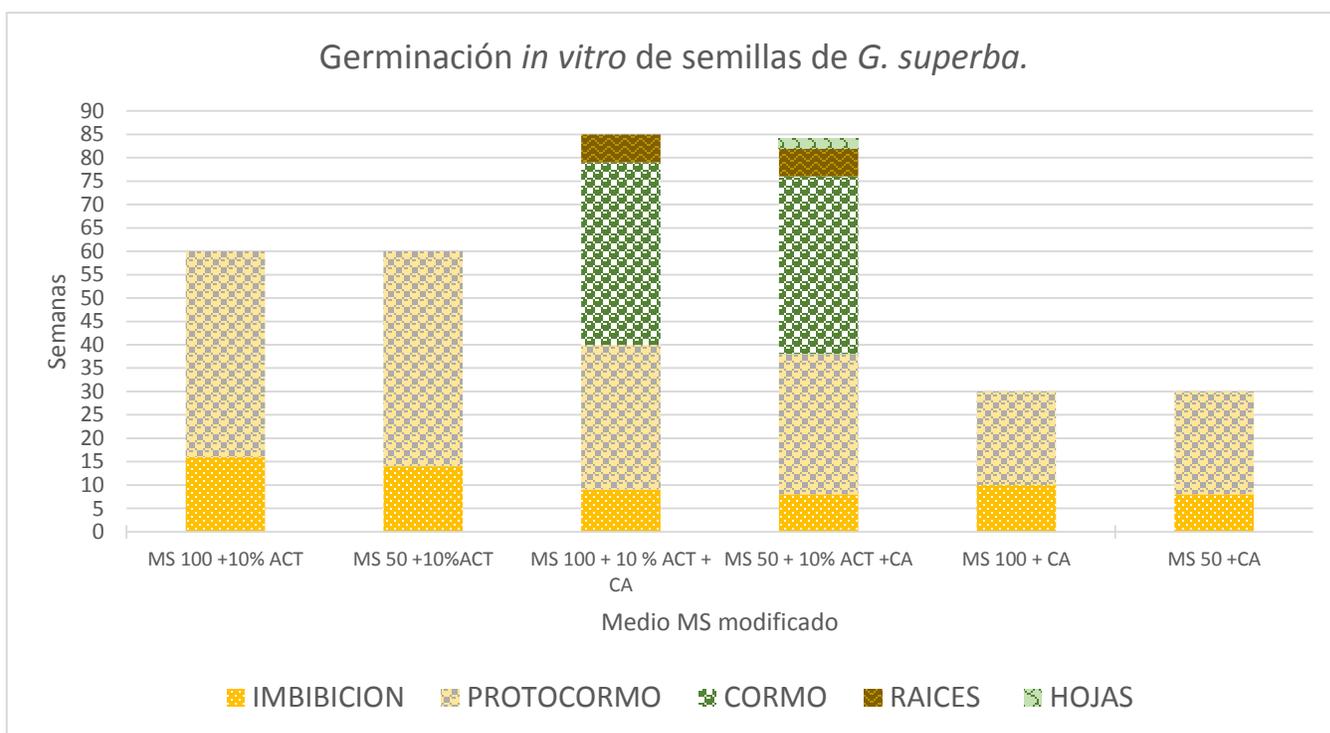
En los medios modificados Knudson C, Medio de Multiplicación P6793, Phitamax con polvo de banana, Malmgramen y B1 se registró solo la etapa de imbibición después de 84 semanas de siembra.



**Figura 20.** Etapas de desarrollo de *Govenia superba* mediante propagación *in vitro*: a) etapa de imbibición; b) protocormo inicial, esta etapa indica la germinación de la semilla; c) cormo; d) emisión de raíces del cormo, y e) desarrollo de plántula, donde se aprecia el crecimiento del tallo y de las hojas.

El medio MS en concentración de sales del 100% y 50% ambos adicionados solo con carbón activado (1g por litro de medio) y en dos condiciones de iluminación (16 horas de luz y oscuridad) no mostraron desarrollo de la semilla más allá de la etapa de imbibición.

El medio Murashige & Skoog suplementado con agua de coco favoreció el desarrollo de las semillas (Figura 21), aquellos tratamientos que únicamente tenía este suplemento solo alcanzaron la etapa de protocormo, después de la semana 50 el tejido empezó a oxidarse y posteriormente a necrosarse terminado de morir a la semana 60. Los medios en los que mejores resultados se obtuvieron fueron MS 100 + 10% ACT+ CA y MS 50 + 10% ACT+ CA. En el primero se alcanzó la etapa de cormo a las 40 semanas después de la siembra y la emisión de raíces a la semana 78. En el tratamiento MS 50 + 10% ACT+ CA se registró la germinación (etapa de protocormo inicial) a la semana 8 después de la siembra, etapa de cormo a la semana 36, la aparición de hojas y raíces después de la semana 80.



**Figura 21.** Desarrollo de semillas de *G. superba* sembrada en medio Murashige & Skoog modificado. MS+ 10% ACT medio Murashige & Skoog adicionado con 10% de agua de coco; MS 50 + 10% ACT, medio Murashige & Skoog con concentración de sales al 50% adicionado con 10% de agua de coco; MS+ 10% ACT + CA medio Murashige & Skoog adicionado con 10% de agua de coco y carbón activado; MS 50 + 10% ACT + CA medio Murashige & Skoog con concentración de sales al 50% adicionado con 10% de agua de coco y carbón activado; MS +CA, medio Murashige & Skoog adicionado con carbón activado; MS 50 + CA, medio Murashige & Skoog con concentración de sales al 50% adicionado con carbón activado.

# **VIII.DISCUSIÓN GENERAL**

## VIII. DISCUSIÓN GENERAL

### 8.1 Modelos de distribución potencial del grupo *superba* del género *Govenia*.

Los mapas obtenidos mediante el modelado de la distribución potencial de *G. superba* y otras cinco especies del mismo grupo mostraron ser buenos al tener altos niveles de AUC, es notorio que en todos los casos el área bajo la curva ROC resulta mayor de 0.90, lo que indica que los modelos resultantes son modelos muy buenos y que los dos restantes son modelos buenos (Peterson *et al.* 2011).

Los resultados del modelado muestran la relevancia de las variables de temperatura y régimen de humedad en la determinación de la presencia de orquídeas del género *Govenia*. La estacionalidad de la temperatura y la altitud fueron las variables con mayor contribución porcentual al modelo de distribución potencial a todo el grupo en general. Esta influencia también se aprecia en otros trabajos en Orchidaceae como *Vanilla planifolia* (Hernández-Ruíz *et al.* 2015) y el de las especies epifitas de *Campylocentrum* (Kolanowska 2014) en los que se muestra la importancia de estas variables en orquídeas neotropicales.

Los resultados de este estudio, soportan la hipótesis de que existe un patrón de factores que delimitan la distribución de seis especies presentes en México de las nueve del grupo *superba*. De acuerdo a los resultados, las variables climáticas seleccionadas para generar los modelos contribuyeron con 79.4 % a la presencia de especies del grupo *superba*, siendo estas las de mayor importancia y contribución, lo que coincide con la gran mayoría de trabajos sobre distribución potencial de especies (Flores-Tolentino *et al.* 2020; Solano *et al.* 2019; Hernández-Ruíz *et al.* 2015; Kolanowska, 2014). Los atributos topográficos seleccionados con el 16.1% y los índices de cobertura con 4.3% que es similar al trabajo de López-Sandoval *et al.* (2015).

Basados en los mapas obtenidos, registros de herbario y puntos comprobados de presencia, se puede asegurar que en México se encuentran áreas con mayor asociación de orquídeas del género

*Govenia*, entre ellas el Sistema Volcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur y en la Sierra de Chiapas es donde podemos encontrar asociaciones de dos y tres especies en el mismo lugar. Las áreas con mayor cantidad de especies asociadas del grupo *superba* se encuentran en la zona limítrofe del Estado de México con el Estado de Morelos, zona oriente de las Sierras del sur de Puebla, Sierras del Norte en Guerrero, en el oriente de la subprovincia Neovolcánica Tarasca de Michoacán, la Cordillera Costera del Sur en Oaxaca, Soconusco y Sierra de Chiapas, lo que podría indicar áreas de diversificación. Hay regiones donde no hay presencia de estas orquídeas terrestres como es el matorral xerofito, principalmente en los estados del norte de México: Sierra de Baja California, la Altiplanicie Mexicana y la Península de Yucatán, coincidiendo con los resultados de la revisión de Villaseñor (2016). Esto debido principalmente a las características climáticas y de atributos topográficos de dichas regiones, que no son óptimas para el desarrollo del género *Govenia*, dado que en general, la mayoría de estas especies crece en elevaciones intermedias (1200-2800 m) bajo la sombra de los árboles, en los suelos ricos y orgánicos de los bosques húmedos templados (García-Cruz & Sosa, 2005).

Las especies que mostraron un área de distribución más reducida fueron aquellas cuya distribución estaba determinada por temperaturas más cálidas y menor altitud, desde los 1300 msnm hasta los 2200 msnm. Estas especies fueron *G. matudae*, *G. praecox* y *G. greenwodii*. Mientras que *G. superba*, *G. dressleriana* y *G. lagenophora* presentan mayor área de distribución potencial, incluso de registros de herbario, y se encuentran a mayores altitudes desde los 1600 metros sobre el nivel del mar hasta los 3000 metros sobre el nivel del mar.

La relevancia de tomar en cuenta capas de diferente tipo es mejora la precisión de los modelos (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2016; López-Sandoval, 2015). Son muy escasos los trabajos en plantas y más excepcionales los trabajos en orquídeas en los que se realiza el modelado de la distribución potencial con variables de tipo climático, edáfico, aspectos del relieve y tipo de vegetación.

Generalmente en los trabajos realizados en México y en el mundo los trabajos se limitan al uso de variables climáticas y el manejo de pocas variables.

El multiplicador de regularización entre más cercano es a 1 mayor AUC genera. En el modelado los mejores modelos tuvieron multiplicador de regularización de 0.5 y 1. Son pocos los trabajos de modelado de la distribución potencial que experimentan con este factor, el cual tiene gran influencia para seleccionar el mejor modelo.

Hay orquídeas que comúnmente se pueden encontrar dentro de Área Naturales Protegidas como *Govenia superba*, *Govenia lagenophora* y *G. dressleriana*. Las más vulnerables son *Govenia praecox*, *G. matudae* y *G. greenwoodii* debido a su distribución tan reducida y que su distribución potencial y registros de herbario no se localizan dentro de alguna ANP.

### **8.1.2 Variables que determinan la presencia de especies**

En este trabajo se corroboró la influencia de variables de diferentes tipos: en el proceso de selección muchas variables no climáticas contribuyeron de manera significativa a los modelos, principalmente las variables de atributos topográficos.

Dentro de todas las variables utilizadas para el modelado, las variables climáticas contribuyeron con más porcentaje, incluso más que las variables edáficas. A pesar de que se trabajó con orquídeas terrestres, en las cuales los factores edáficos como contenido de materia orgánica, pH y contenido de nutrientes minerales son factores abióticos de gran influencia, existió dominancia de las variables climáticas. Esta misma situación se presentó en el trabajo de López-Sandoval *et al.* (2015) donde la cobertura de vegetación (Índice normalizado diferencial de vegetación de los meses secos del año 2009, NDVIS), algunas variables climáticas, la materia orgánica del suelo, el modelo digital de elevación (altitud) y el aspecto del terreno aportan a los modelos del 48 % al 73 % que explican la distribución potencial de la distribución espacial de especies sinantrópicas de *Physalis* sección

Angulatae. La mayor influencia de las variables climáticas también es muy apreciable en campo donde se puede observar a las plantas de las orquídeas estudiadas en diferentes sustratos y también en diferentes ecosistemas; desde bosque de pino-encino, en las orillas de las carreteras sobre suelos arenosos, algunas con hábitos rupícolas incluso hasta en parcelas agrícolas.

Solo contenido de calcio un factor de propiedades del suelo determinante para la presencia de *G. matudae* aunque no es la principal variable, siendo la estacionalidad de la temperatura y la temperatura máxima del mes más cálido los factores más determinantes y con mayor aportación a los modelos.

## **8.2. Caracterización de semilla**

### **8.2.1 Análisis físico**

*Govenia superba* posee semilla de tamaño mediano con dimensiones de largo  $1.80 \pm 0.43$  mm y ancho  $0.13 \pm 0.35$  mm, comparada con otras semillas, tan solo como comparación *Encyclia adenocaula* (Aguilar-Morales *et al.*, 2016) que tiene dimensiones  $0.56 \pm 0.08$  mm de largo por  $0.09 \pm 0.01$  mm de ancho.

El peso de una semilla de *G. superba* es de 0.0022026 mg por lo que es una semilla pesada, tan solo Lallana *et al.* (2020) reporta de la colección Banco de Germoplasma de Orquídeas nativas de la región litoral, en Argentina, como peso unitario de semilla más bajo el de la especie *Gomesa flexuosa* con 0.000067 mg y como peso unitario más alto 0.001196 mg para el híbrido *Gom\_bif* CR13 x *Gom\_bif* Pét-Amarillo y en México, Aguilar-Morales *et al.* (2016) reportó para *Encyclia adenocaula* un peso unitario por semilla de 0.0016 mg.

### **8.2.2 Análisis fisiológico: Prueba de Tetrazolio y germinación *in vitro*.**

La viabilidad mediante la prueba de tetrazolio al 1% de la semilla de *G. superba* (60.95 %) es media comparada con otras orquídeas. Lallana *et al.* (2020) reportan para la mayoría de orquídeas de la

colección Banco de Germoplasma de Orquídeas nativas de la región litoral, en Argentina, porcentajes de viabilidad del 71% al 99% con la misma prueba rápida, con excepción de *Chloraea membranacea* con 16%. Dalzotto y Lallana (2015) reportan para *Bipinnula pennicillata* 87, 93, 72 y 80% de viabilidad a los 24, 28, 32 y 35 meses, respectivamente, mientras que Aguilar-Morales *et al.* (2016) reportan para *Encyclia adenocaula* 50.3% de semilla viable.

La mediana viabilidad de *G. superba* explica la baja germinación en la naturaleza. Es necesario medir la cantidad de semilla disponible de *G. superba* que se usa en pruebas de tetrazolio y de germinación, puesto que por su viabilidad reducida se obtienen pocas plántulas al momento de propagar mediante técnicas *in vitro*.

En el experimento y ensayos sobre la germinación *in vitro* de semillas de *G. superba* se tuvieron diferentes observaciones influenciadas principalmente por el tipo de medio de cultivo, la presencia de extractos orgánicos, la concentración de sales minerales y la presencia de carbón activado.

Solo en el medio MS en ambas concentraciones (con el 100% y 50% de concentración) adicionado con 10% de agua de coco y carbón activado se registró germinación de semillas, etapas de protocormo, cormo y plántula, en los demás medios no se observó un desarrollo significativo, esto se puede explicar por la composición de los medios, principalmente por la concentración de sales minerales o de elementos que restringen la germinación (Nadajaran *et al.*, 2011).

El agua de coco mostro una mejoría al desarrollo de las semillas. De todos los ensayos, solo en los medios que tenían este suplemento se registró germinación y se desollaron plántulas. El uso de extracto de banana no propició la germinación de las semillas, algunos autores (Gil-Vázquez *et al.*, 2018, Aguilar-Morales *et al.*, 2016) mencionan que puede contribuir a mejorar el porcentaje de germinación, aunque la respuesta depende de la especie y de forma general tiene mejor efecto en el desarrollo de plántula (de Menezes Gonçalves *et al.*, 2016).

La concentración de sales del medio MS mostró que al 50% tiene mejor efecto en la germinación, desarrollo de protocormo, cormo y plántula. En general las semillas de orquídeas terrestres tienden a tener mayores porcentajes y mayor velocidad de germinación en medios con menor concentración de sales (Dalzotto y Lallana, 2015; Dutra *et al.*, 2009).

La adición al carbón activado mostró un efecto benéfico en comparación cuando no se empleaba en algunos ensayos. Autores como Nadajaran *et al.* (2011) y Rodríguez *et al.* (2007) señalan los principales beneficios del uso de este componente: posiblemente por la absorción de exudados de factores inhibidores, como etileno o componentes fenólicos, además de propiciar un medio de color oscuro similar a las condiciones que se presentan en el suelo. En los bio-ensayos se observó que cuando se empleaba carbón activado (1g por litro de medio) los protocormos tardaban más en oxidarse.

En el experimento y ensayos llevados a cabo no se observó una influencia de la falta de luz en las unidades experimentales colocadas en total oscuridad, solo se observó la etapa de imbibición, pero no se alcanzó otra etapa de desarrollo, en gran medida por la susceptibilidad de esas unidades a la contaminación por las condiciones de fotoperiodo. Esto difiere con los resultados presentados por Dutra *et al.* (2009) en la orquídea *Cyrtopodium punctatum* que mostró mejor germinación en condiciones de oscuridad.

Las semillas de germinaron los medios MS 100% + 10% agua de coco+ 1% carbón activado y en el medio MS 50% + 10% agua de coco+ 1% a las 8 semanas, cuando se registró la etapa de protocormo inicial, y la aparición de hojas y desarrollo de plántula hasta las 84 semanas después de la siembra. En comparación con otras orquídeas terrestres, Dalzotto y Lallana (2013) lograron germinar *Bipinnula pennicillata* en 61 días (menos de 9 semanas) tiempo similar al de *G. superba* en esta investigación. En orquídeas epifitas el tiempo generalmente es más corto: Aguilar-Morales *et al.*

(2016) para reportar la *Encyclia adenocaula* 30 días a germinación y Rodríguez *et al.* (2007) de 6 a 40 semanas para germinar en un conjunto de especies epifitas y terrestres, entre ellas *Bletia patula*, *Encyclia oxypetala*, *E. phoenicea*, *Epidendrum nocturnum*, *E. secundum*, *Oncidium luridum*, *Phaius tancarvilleae*, *Polystachya concreta* y *Schomburgkia lyonsii*. Mientras que Dutra *et al.* (2009) reporta un tiempo muy corto para la epifita *Cyrtopodium punctatum*, puesto que en tan solo diez semanas después de la siembra alcanzó la etapa de plántula.

La germinación *in vitro* de semillas de orquídeas del hemisferio norte que habitan en biomas de clima templado y de hábito terrestre suelen requerir medios más complejos en comparación con las orquídeas epifitas (Dalzotto y Lallana, 2015; Lallana y García, 2013), esto se ha intentado explicar por la relación con micorrizas del suelo (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009) y posiblemente reflejando diferencias sutiles en el metabolismo del nitrógeno, por ello que en programas de conservación es necesario evaluar diferentes medios para garantizar la propagación de la especie (Nadajaran *et al.*, 2011).

# **IX.CONCLUSIONES**

## **GENERALES**

## IX. CONCLUSIONES GENERALES

La distribución potencial de *Govenia superba* y las otras cinco especies del grupo *superba* se encuentra en México en los biomas bosque templado principalmente, bosque húmedo de montaña, bosque tropical húmedo y en menor medida en el bosque estacionalmente seco. Dentro de las especies de este clado se tienen dos grupos diferenciados por las variables que determinan su presencia: un grupo que predomina en altitudes de 1600 a 3000 msnm con temperaturas medias anuales desde los 13 °C a los 16 °C y otro que está determinado por altitudes más bajas de 1300 msnm a 2200 msnm y por temperaturas más cálidas (alrededor de 21 °C como temperatura media anual). Este último grupo tienen menor superficie de distribución potencial en comparación del primero, por lo que se ocupan más estrategia de conservación para estas especies.

En México se cuentan con áreas con alta asociación de especies del género *Govenia* lo que puede sugerir al territorio mexicano como zona de origen y diversificación de este género, aunado a que también encontramos diecisiete de las veintiocho especies reportadas de dicho género.

Respecto a la calidad de semilla tenemos que dichos propágulos de *G. superba* tienen un peso de 0.0022026 mg cada semilla lo que resulta en 454 000 por gramo y 24 561 semillas en una capsula madura. Otras características son que la semilla tiene las siguientes dimensiones: largo  $1.80 \pm 0.430$  mm y ancho  $0.13 \pm 0.035$  mm, resultando ser semillas largas y de testa color blanco amarillento. Además, la semilla de *G. superba* tiene una viabilidad del 60.95% de acuerdo a la prueba de tetrazolio al 1%.

El medio modificado que permite el mejor desarrollo de semilla de *Govenia superba* es Musarige & Skoog a una concentración de sales del 50% adicionado 100 ml por litro de medio de agua de coco con carbón activado, desde la siembra hasta el desarrollo de plántula en este medio es de 84 semanas.

Se recomienda continuar con las investigaciones sobre la propagación *in vitro* de las especies del genero *Govenia* y generar más estrategias de conservación tanto *in situ* como *ex situ*, debido a importancia ecológica y potencial ornamental de estas orquídeas terrestres.

# **X. BIBLIOGRAFÍA**

## Bibliografía

- Aguilar-Morales, M. A., & López-Escamilla, A. L. (2013). Germinación in vitro de *Laelia speciosa* (Kunth) Schltr., una herramienta para su conservación *ex situ*. Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas, 6, 18.
- Aguilar- Morales, A. (2017). Micropropagación de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex) Schltr. a través de un sistema de inmersión temporal con fines de rescate, conservación y aprovechamiento. Trabajo obtención de Doctor en Ciencias agropecuarias y recursos naturales. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Aguilar-Morales, M.A., Laguna-Cerda, A., Vences-Contreras, C., Lee-Espinosa, H.E. (2016). Análisis de semillas de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex.) Schltr (Orchidaceae) para su conservación *ex situ*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7),1741-1747. ISSN: 2007-0934. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149504020>
- Angulo, D., Ruiz-Sanchez, E., Sosa, V. (2012). Niche conservatism in the Mesoamerican seasonal tropical dry forest orchid *Barkeria* (Orchidaceae). *Evolutionary Ecology*. 26. 991-1010. DOI: 10.1007/s10682-011-9528-0.
- Arditii, J. (1992). *Fundamentals of Orchid biology*. John Wiley, Nueva York.
- Ávila-Díaz, I., Salgado-Garciglia, R. (2006). Propagación y mantenimiento in vitro de orquídeas mexicanas, para colaborar en su conservación. *BIOLÓGICAS* 8 (1):138-149.
- Barragán-Zarate, G.S., Lagunez-Rivera, L., Solano, R., Pineda-Peña, E.A., Landa-Juárez, A.Y., Chávez-Piña, A.E., Carranza-Álvarez, C., Hernández-Benavides, D.M.(2020). *Prosthechea karwinskii*, an orchid used as traditional medicine, exerts anti-inflammatory activity and inhibits ROS. *Journal of Ethnopharmacology*, Volume 253, 112632, ISSN0378-8741, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112632>.
- Batista, J.A.N., Proite, K., Carvalho, B.M., Vale, A.A., Felix, L.P. (2014). From Cuba to most of the neotropic: *Habenaria bicornis* (Orchidaceae) is widespread from Mexico to southeastern Brazil. *Lankesteriana* 13(3): 165—184
- Berdan, F.F. (2007). The technology of ancient mesoamerican mosaics: an experimental investigation of alternative super glues. FAMSI Report. Disponible en: <http://www.famsi.org/reports/06015/06015Berdan01.pdf>
- Bertolini, V., Damon, A., Valle, M. J. y Rojas, V. N. (2013). Influencias de tres niveles de agua de coco en la germinación in vitro de *Rhynchostele bictoniensis* (Bateman) Soto Arenas & Salazar, en medio de cultivo Knudson C. *Lankesteriana International Journal on Orchidology*, vol. 13, núm. 1-2, p. 148
- Bertolini, V., & Damon Ashby, A., & Rojas Velázquez, Á. (2014). Quelato de hierro y agua de coco en la germinación in vitro de *Rossioglossum grande* (Orchidaceae). *Acta Agronómica*, 63 (3), 1-14.

- Castillo - Pérez, L.J., Martínez - Soto, D., Maldonado - Miranda, J.J., Alonso - Castro, A.J., Carranza - Álvarez, C. (2018). The endemic orchids of Mexico: a review. *Biologia*, 74, 1-13. <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0147-x>
- Cazarez, F. T., Graciano, L. J., Solís González, S., Díaz Ramírez, B., Nájera Luna, J., y Montoya Ayón, J. (2016). Propagación in vitro de la orquídea *Prosthechea citrina* (La Llave & Lex.) W. E. Higgins nativa del estado de Durango, México. *Investigación y Ciencia*, 24 (67), 19-25.
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (2013). Disponible en <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2013/SAppendices-2013-06-12.pdf>. Página consultada el 20 de mayo de 2018
- Coello, C. Y., Miceli, C.L., Orantes, C., DenDooven, L. y Gutiérrez, F. A. (2010). Plant growth regulators optimization for in vitro cultivation of the orchid *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressier & W.E.Higgins. []. , 67, 1, pp.19-26. ISSN 0016-5301. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432010000100003>
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J.T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy, F., López-Sandoval, J.A. (2016). Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(2), 135-148. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.027>
- Cruz-García, G., Lagunez-Rivera, L., Chavez-Angeles, M.G., Solano-Gomez, R. (2015) The wild orchid trade in a mexican local market: Diversity and economics. *Econ Bot* 20:1–15. <https://doi.org/10.1007/s12231-015-9321-z>
- Dalzotto, C.A., Lallana, V.H. (2015). Efecto de la testa en la germinación *in vitro* de *Bipinnula pennicillata* (Rchb. F.) Sisternas & Salazar (Orchidaceae). *Investig. Agrar.* 17(2): 116-121.
- Damon, A., Aguilar-Guerrero, E., Rivera, L., Nikolaeva, V. (2004). Germinación in vitro de semillas inmaduras de tres especies de orquídeas de la región del soconusco, Chiapas, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2): 195-203.
- De Menezes-Gonçalves, L., Machado, M.F., Ballesta, P., Mora, F., Milaneze Gutierrez, M.A., Mangolin, C.A. (2016). Suplementos orgánicos para el cultivo in vitro del híbrido *Laeliocattleya* (Orchidaceae). *Idesia* (Arica), 34(1), 47-54. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000100006>  
DOI: 10.4067/S0718-34022011000100005.
- Dressler, R.L. (1965). Notes on the genus *Govenia* in Mexico (Orchidaceae). *Brittonia*, 17: 266–277.
- Dutra E, D., Kane, M., Richardson, L. (2009). Asymbiotic seed germination and in vitro seedling development of *Cyrtopodium punctatum*: A propagation protocol for an endangered Florida native orchid. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 96. 235-243. [10.1007/s11240-008-9480-z](https://doi.org/10.1007/s11240-008-9480-z).

- Flores-Tolentino, M., García-Valdés, R., Saenz-Romero, C., Ávila-Díaz, I., Paz, H., Lopez-Toledo, L. (2020). Distribution and conservation of species is misestimated if biotic interactions are ignored: the case of the orchid *Laelia speciosa*. *Scientific Reports*. 10. 10.1038/s41598-020-63638-9.
- García-Cruz, J., Sosa, V. (2006). A new species of *Govenia* (Orchidaceae) from Chiapas, Mexico. *Brittonia*. 58. 259-263. DOI: 10.1663/0007-196X(2006)58[259:ANSOGO]2.0.CO;2.
- García-Cruz, J., Sosa, V. 2005. Phylogenetic relationships and character evolution in *Govenia* (Orchidaceae). *Can J. Bot* 83:1329–1339
- Gil-Vazquez, I., Navarro-Lopéz, E.R., Villafuente-Salazar, A. (2018). Medios de cultivo para la germinación y crecimiento in vitro de algunas especies de orquídeas. *UMA orquideario Chapingo*. Universidad autónoma Chapingo.
- Gómez-Martínez, H.A. (2009). Cultivo *in vitro* de *Laelia gouldiana* Rchb. f. (Orchidaceae), especie endémica de México, extinta en la naturaleza. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Greenwood, E.W. (1981). *Govenia* in Mexico, an introductory note. *Orquidea* (Mexico City), **8**: 114–120.
- Guisan, A., Zimmermann, N.E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Hágsater, E., Soto-Arenas, M.Á., Salazar-Chávez, G.A., Jiménez-Machorro, R., López-Rosas, M.A., Dressler, R.L. (2015). *Orquídeas de México*. Instituto Chinoín, México, D.F. 304 p.
- Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Cob Uicab, J. V., Sumano López, D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta botánica mexicana*, (124)<https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1305>
- Hernández-Ruiz, J., Herrera-Cabrera, B. E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V.M., Bustamante-Gonzalez, Á., Campos-Contreras, J.E., Ramírez-Juarez, J. (2016). Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia*(Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 235-246. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v64i1.17854>
- Lallana, V.H., Billard, C.E., Reinoso, P. D., Martínez, V. A., García, L. F. (2020). Banco de Germoplasma de orquídeas nativas de la región litoral. *Ciencia Docencia y Tecnología – Suplemento*, No. 10 X 84-114 p.
- Lallana, V.H., García, L.F. (2013). Efecto de pretratamientos en la prueba de viabilidad de semillas de *Trichocentrum jonesianum* (Orchidaceae). *Investig. Agrar.* 15(2):129-132.
- Leal-Nares, Ó., Mendoza, M. E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 1152-1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>

- Lee-Espinosa, H. E., Murguía-González, J., Laguna-Cerda, A., García-Rosas, B., Gámez-Pastrana, M. R., Galindo-Tovar, M. E., Landero-Tórres, I., Iglesias-Andreu, L., & Santana-Buzzy, N. (2009). Somatic embryoids encapsulation of *Laelia anceps* ssp. *dawsonii* to produce synthetic seed. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(spe), 33-40
- Lee Espinosa, H. E., Laguna, C. A., Murguía, G. J., Iglesias-Andreu, L., García, R. B., Escobedo, L. D., Martínez, O. Y. M., Barredo, P. F. A. y Santana, B. N. (2010). Un protocolo de embriogénesis somática para la regeneración y caracterización in vitro de *Laelia anceps* ssp. *dawsonii*. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(4), 323-332.
- López, C. A. y Rangel-Villafranco, M. (2018). Propagación *in vitro* de *Galeandra greenwoodiana* y *Stanhopea hernandezii*. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Vol. 5 No. 2, 28-38.
- López-Sandoval, José Antonio, López-Mata, Lauro, Cruz-Cárdenas, Gustavo, Vibrans, Heike, Vargas, Ofelia, & Martínez, Mahinda. (2015). Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*, 93(4), 755-764. <https://doi.org/10.17129/botsci.192>
- Mateo, R.G., Felicísimo, Á. M., Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- McKendrick, S. (2000). *Manual para la germinación in vitro de orquídeas*. Ceiba Foundation for Tropical Conservation.
- Menchaca-García, R.A., Lozano-Rodríguez, M.A., Sánchez-Morales, L. (2012). Estrategias para el aprovechamiento sustentable de las orquídeas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(13),9-16. [fecha de Consulta 18 de Agosto de 2020]. ISSN: 2007-1132. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=634/63439001002>
- Mendoza, A. I. E. 2016. Eficiencia de los medios nutritivos basales: sólido y líquido en la etapa de establecimiento in vitro de la orquídea "Tripita" *Trichopilia tortilis* Lindl. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*. Vol. 5.
- Merritt, D.J., Hay, F.R., Swarts, N.D., Sommerville, K.D., Dixon, K.W. (2014) Ex situ conservation and cryopreservation of orchid germplasm. *Int J Plant Sci* 175:46-58. <https://doi.org/10.1086/673370>
- Monterrubio-Rico TC, Charre-Medellín JF, Pacheco-Figueroa C, Arriaga-Weiss S, Valdez-Leal JD, Cancino-Murillo R, Escalona-Segura G, Bonilla-Ruz C, Rubio-Rocha Y. (2016). Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 1103-1117. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.004>
- Moreno, M. D. & Menchaca G. R. (2007). Efecto de los compuestos orgánicos en la propagación in vitro de *Stanhopea tigrina* Bateman (Orchidaceae). *Foresta Veracruzana*, 9 (2), 27- 32.

- Moreno, M. D. (2011). Estudios de germinación *in vitro* e *in situ* de *Epidendrum parkinsonianum* Hook. y *Acineta barkeri* (Bateman) Lindl. (Orchidaceae). Tesis de maestría. Universidad Veracruzana.
- Mota-Vargas, C., Encarnación-Luévano, A., Ortega-Andrade, H.M., Prieto-Torres, D.A., Peña-Peniche, A., Rojas-Soto, O.R. (2019) Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. En: Moreno CE (Ed) La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 39-63.
- Mota-Vargas, C., Rojas-Soto, O. (2012) The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge . *Journal for Nature Conservation* 20:10–17.
- Murashige, T., Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology* 15: 473-497. Available from: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x/pdf>>. Accessed: May. 20, 2018. doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08051x.
- Nadarajan, J., Wood, S., Marks, TR, Seaton, PT y Pritchard, H.W. (2011). Requisitos nutricionales para la germinación de semillas *in vitro* de 12 orquídeas terrestres, litofíticas y epífitas. *J. Trop. Para. Sci.* 23 (2): 204–212. Disponible en <http://www.frim.gov.my/v1/jtfsonline/jtfs/v23n2/204-212.pdf>
- Nava, J. (2008) Propagación *in vitro* y establecimiento en invernadero de las orquídeas *Trichocentrum carthagenense* (jacq.) Sw. y *Laelia eyermaniana* rchb. F., para su conservación y potencial aprovechamiento sustentable. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec, Morelos, México
- Ortega-Larrocea, M., y Rangel-Villafranco, M. (2007). Fungus-assisted reintroduction and long-term survival of two mexican terrestrial orchids in the natural habitat. *Lankesteriana international journal on orchidology*, 7 (1-2), 317-321.
- Ortega-Larrocea, M.P., Martínez -Palacios, A., Chávez -Avila, V.M. (2009). Conservación y propagación de orquídeas. Restauración, conservación y manejo.
- Pantoja-Ambriz, J., Pedraza-Santos, M. E., López, Pedro A., Apáez Barrios, P. (2016). DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE GENOTIPOS SILVESTRES DE *Cuitlauzina pendula* LEX (ORCHIDACEAE). *Interciencia*, 41(12),819-825. ISSN: 0378-1844.
- Pérez-García, F., Pita-Villamil, J.M. (2001). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Hojas Divulgadoras Num. 2112 HD. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.
- Perkins-Taylor, I.E., Frey, K.F. (2020) Predicción de la distribución de una ardilla rara (*Neotamias quadrivittatus oscuraensis*): comparando MaxEnt y modelos de ocupación, *Journal of Mammalogy* , Volumen 101, Número 4, , p. 1035–1048, <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa057>
- Phillips, S. J., Dudík, M., Schapire, R. E. (2006). Maxent software for species habitat modeling, version 3.3.1 Maxent software for species habitat modeling Version 3.2.

- Pliscoff, P., Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: Una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*. 48. 61-79.
- Rangel-Villafranco, M., Ortega-Larrocea, M.P. (2007). Efforts to conserve endangered terrestrial orchids *in situ* and *ex situ* at two natural reserves within Central Mexico. *Lankesteriana*. 7: 326-333.
- Raó, N. K., J. Hanson, M. E., Dulloo, K., Ghosh, D., Novell., Larinde M. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para bancos de germoplasma No. 8. Bioersivity International, Roma, Italia. 165 p.
- Raya-Montaño, Y. A., Carrillo-Castañeda, G., Pedraza-Santos, M. E., Corona-Torres, T., Carrillo-Salazar, J. A., y Alcantar-González, G. (2011). Propagación *in vitro* de *Laelia halbingiana*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe3), 539-553.
- Rezende, V., Oliveira-Filho, A., Eisenlohr, P., Kamino, L., Vibrans, A. (2014). Restricted geographic distribution of tree species calls for urgent conservation efforts in the Subtropical Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*. 24. 10.1007/s10531-014-0721-7.
- Rodríguez, L., González, R., Alvarado, K., Telles E. (2007). Germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de orquídeas silvestres. *Biotecnología Vegetal*. Vol. 7, No. 3: 139 – 142.
- Roque, B. V. 2002. Viabilidad y germinación *in vitro* de semillas de dos especies de orquídeas (*Gongora cassidea* Rchb.f. y *Stanhopea oculata* (Lodd.) Lindl.) nativas de México. Tesis profesional. UACH. Departamento de Fitotecnia.
- Rosas, M., Salazar-Rojas, V. (2009). Propagation and Establishment of Three Endangered Mexican Orchids from Protocorms. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*. 44. 1395-1399. 10.21273/HORTSCI.44.5.1395.
- Rubluo, A., Chávez, V., Martínez, A.P., Martínez-Vázquez, O. (1993). Strategies for the recovery of endangered orchids and cacti through *in vitro* culture. *Biological Conservation*. 63: 163-169.
- Salazar, G., Fernández-Díaz, A., Huerta-Alvizar, C.R., Jiménez-Machorro, R., Cabrera, L.I., Jimeno-Sevilla, H.D. (2018). *Govenia polychroma*, a new species of Orchidaceae from Veracruz, Mexico. *Phytotaxa*. 343. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.343.1.8>
- Santos-Pérez, U. I., Pedraza-Santos, M. E., Salgado-Garciglia, R., Martínez, A., Chávez, A. T., González, A. M. T. (2019). Efectividad de métodos para desinfectar semillas de *Laelia autumnalis* para la conservación en nitrógeno líquido. *Nova scientia*, 11(23), 00008. Epub 10 de marzo de 2020. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1855>
- Seaton, P., H. W. Pritchard. (2003). Orchid germplasm collection, storage and exchange. Pp. 227-258, en: Dixon, K. W., S. P. Kell, R. I. Barrett y P. J. Cribb (eds.). *Orchid conservation*. Natural History Publications, Borneo.
- SEMARNAT-Secretaría de Medio Ambiente & Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección Ambiental-Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-

Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de Especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre. México.

SEMARNAT-Secretaría de Medio Ambiente & Recursos Naturales. (2018). México, biodiversidad que asombra. Disponible en <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-biodiversidad-que-asombra> . Página consultada el 13 de enero de 2020.

Soberon, J. y M. Nakamura. (2009). Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 103:19644-19650.

Solano R., Huerta-Espinoza, H., Cruz-García G., Ortiz-Riveros, F. (2019). Un nuevo híbrido natural del género *Laelia* (Orchidaceae) de Oaxaca, México. *Fitotaxa*, Vol. 402, No 5.

Solís de la Piedra, E. M. (2002). Evaluación de medios para cultivo in vitro de dos especies de orquídeas: *Brassavola cucullata* L. y *Oncidium cebolleta* (Jacq.) Sw. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 53 p.

Steven, J. P., M. Dudík y R. E. Schapire. 2017. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) (consultado junio de 2021).

Szeszko-Fabila, D. R. (2011). La orquideoflora mexiquense. Biblioteca mexiquense del bicentenario, colección mayor del estado de México: patrimonio del pueblo. Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal. 362 p.

Szlachetko, D., Kolanowska, M. (2014). Two New Species of the Genus *Govenia* (Orchidaceae, Vandoideae) from Colombia. *Polish Botanical Journal*. 59. 10.2478/pbj-2014-0013.

Tejeda-Sartorius, O., Téllez-Velasco, M.A.A., Escobar-Aguayo, J.J. (2017). ESTADO DE CONSERVACIÓN DE ORQUÍDEAS SILVESTRES (Orchidaceae). *Agroproductividad*. junio de 2017, vol. 10 Número 6, p3-12. 10p.

Toledo, O. J. R. (2016). Evaluación de cuatro medios de cultivo para la germinación de semillas y dos medios de cultivo para el crecimiento inicial de plantas de *Lycaste lasioglossa* Rchb.f. Licenciatura tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tsiftsis, S., Djordjević, V. & Tsiripidis, I. *Neottia cordata* (Orchidaceae) en su frontera de distribución más meridional de Europa: Estado de amenaza y eficacia de la Red Natura 2000 para su conservación. (2019). *J. Nat. Conserv.* 48 , 27–35

Valadares R. B. S., Perotto S., Santos E. C. y Lambais M. R. (2014). Proteome changes in *Oncidium sphacelatum* (Orchidaceae) at different trophic stages of symbiotic germination. *Mycorrhiza*, Volume 24, Issue 5, pp 349–36.

Velázquez, D. E. (2006). Efecto de la calidad de la luz en la germinación *in vitro* de *Erycina crista-galli* (Orchidaceae). Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Químicas.

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902.

Zimmermann, N. E., Edwards, T.C., Graham, C.H., Pearman, P.B., Svenning, J.C. (2010). New trends in species distribution modelling. *Ecography*, 33:985-989.

## **XI. ANEXOS**

## **XII. ANEXOS**

Documentos oficiales a nivel internacional y de importancia en México sobre la comercialización internacional, estatus de conservación y protección de especies en peligro de extinción.



## Apéndices I, II y III

en vigor a partir del 12 de junio de 2013\*

### Interpretación

1. Las especies que figuran en estos Apéndices se clasifican:
  - a) con arreglo al nombre de las especies; o
  - b) como si todas las especies estuviesen incluidas en un taxón superior o en una parte designada del mismo.
2. La abreviatura "spp." se utiliza para denotar todas las especies de un taxón superior.
3. Otras referencias a los taxa superiores de la especie se indican únicamente a título de información o de clasificación. Los nombres comunes que aparecen después de los nombres científicos de las familias se incluyen a título de referencia. Su finalidad es indicar la especie dentro de la familia de que se trate que está incluida en los Apéndices. En la mayoría de los casos no se trata de todas las especies de la familia.
4. Las abreviaturas siguientes se utilizan para taxa de plantas por debajo del nivel de especie:
  - a) "ssp." para denotar las subespecies; y
  - b) "var(s)." para denotar la variedad (variedades).
5. Habida cuenta de que ninguna de las especies o taxa superiores de FLORA incluidas en el Apéndice I están anotadas, en el sentido de que sus híbridos sean tratados de conformidad con las disposiciones del Artículo III de la Convención, los híbridos reproducidos artificialmente de una o más de estas especies o taxa pueden comercializarse con un certificado de reproducción artificial, y las semillas, el polen (inclusive las polinias), las flores cortadas, los cultivos de plántulas o de tejidos obtenidos *in vitro*, en medios sólidos o líquidos, que se transportan en envases estériles de estos híbridos no están sujetos a las disposiciones de la Convención.
6. Los nombres de los países entre paréntesis colocados junto a los nombres de las especies incluidas en el Apéndice III son los de las Partes que solicitaron la inclusión de estas especies en ese Apéndice.
7. Cuando una especie se incluya en uno de los Apéndices, todas las partes y derivados de la especie también están incluidos en el mismo Apéndice, salvo que vaya acompañada de una anotación en la que se indique que sólo se incluyen determinadas partes y derivados. El signo (#) seguido de un número colocado junto al nombre de una especie o de un taxón superior incluido en el Apéndice II o III se refiere a una nota de pie de página en la que se indican las partes o derivados de plantas que se designan como "especímenes" sujetos a las disposiciones de la Convención de conformidad con el subpárrafo (iii) del párrafo b) del Artículo I.
8. Los terminos y expresiones *infra*, utilizados en anotaciones en estos Apéndices, se definen como sigue:
  - Astillas de madera  
*Madera que ha sido reducida a trozos pequeños.*
  - Extracto  
*Toda sustancia obtenida directamente de material vegetal mediante medios físicos o químicos independientemente del proceso de fabricación. Un extracto puede ser sólido (p.ej., ejemplo,*

\* Corregido el 20 de noviembre de 2013 para incluir *Bradypus pygmaeus* en el Apéndice II.

I	Apéndices II	III
(Para todas las especies incluidas en el Apéndice I que figuran a continuación, los cultivos de plántulas o de tejidos obtenidos <i>in vitro</i> , en medios sólidos o líquidos, que se transportan en envases estériles no están sujetos a las disposiciones de la Convención sólo si los especímenes se ajustan a la definición de "reproducidos artificialmente" acordada por la Conferencia de las Partes) <i>Aerangis ellisii</i> <i>Dendrobium cruentum</i> <i>Laelia jongheana</i> <i>Laelia lobata</i> <i>Paphiopedilum</i> spp. <i>Peristeria elata</i> <i>Phragmipedium</i> spp. <i>Renanthera imschootiana</i>		
OROBANCHACEAE Orobancas	<i>Cistanche deserticola</i> <sup>44</sup>	
PALMAE (Arecaceae) Palmas  <i>Chrysalidocarpus decipiens</i>	<i>Beccariophoenix madagascariensis</i> <sup>44</sup>  <i>Lemurophoenix halleuxii</i> <i>Marojejya darianii</i> <i>Neodypsis decaryi</i> <sup>44</sup> <i>Ravenea louvelii</i> <i>Ravenea rivularis</i> <i>Satranala decussilvae</i> <i>Voanioala gerardii</i>	<i>Lodoicea maldivica</i> <sup>413</sup> (Seychelles)
PAPAVERACEAE Amapolas		<i>Mecconopsis regia</i> <sup>41</sup> (Nepal)
PASSIFLORACEAE Flores de la pasión	<i>Adenia firingalavensis</i> <i>Adenia olaboensis</i>	

<sup>44</sup> Todas las partes y derivados, excepto:

- las semillas (incluye las vainas de Orchidaceae), las esporas y el polen (incluye las polizas). La exención no se aplica a las semillas de Cactaceae spp. exportadas de México y las semillas de *Beccariophoenix madagascariensis* y *Neodypsis decaryi* exportadas de Madagascar;
- los cultivos de plántulas o de tejidos obtenidos *in vitro*, en medios sólidos o líquidos, que se transportan en envases estériles;
- las flores cortadas de plantas reproducidas artificialmente;
- los frutos, y sus partes y derivados, de plantas naturalizadas o reproducidas artificialmente del género *Vanilla* (Orchidaceae) y de la familia Cactaceae;
- los tallos, las flores, y sus partes y derivados, de plantas naturalizadas o reproducidas artificialmente de los géneros *Opuntia* subgénero *Opuntia* y *Selenicereus* (Cactaceae); y
- los productos acabados de *Euphorbia antisyphilitica* empaquetados y preparados para el comercio al por menor.

<sup>413</sup> La copra (conocida también como 'endosperma' o 'pulpa') y cualquier derivado de la misma.

<sup>41</sup> Todas las partes y derivados, excepto:

- las semillas, las esporas y el polen (incluye las polizas);
- los cultivos de plántulas o de tejidos obtenidos *in vitro*, en medios sólidos o líquidos, que se transportan en envases estériles;
- las flores cortadas de plantas reproducidas artificialmente; y
- los frutos, y sus partes y derivados, de plantas reproducidas artificialmente del género *Vanilla*.

I	Apéndices II	III
MELIACEAE Caobas		<p><i>Cedrela fissilis</i><sup>85</sup> (Estado Plurinacional de Bolivia)</p> <p><i>Cedrela lilifol</i><sup>85</sup> (Estado Plurinacional de Bolivia)</p> <p><i>Cedrela odorata</i><sup>85</sup> (Brasil y Estado Plurinacional de Bolivia. Además, los siguientes países han incluido sus poblaciones nacionales en los Apéndices: Colombia, Guatemala y Perú)</p>
	<p><i>Swietenia humilis</i><sup>86</sup></p> <p><i>Swietenia macrophylla</i><sup>86</sup> (Las poblaciones de los neotrópicos)</p> <p><i>Swietenia mahagoni</i><sup>86</sup></p>	
NEPENTHACEAE Plantas jarro (Viejo Mundo)		
<p><i>Nepenthes khasiana</i></p> <p><i>Nepenthes rajah</i></p>	<p><i>Nepenthes</i> spp.<sup>86</sup> (Excepto las especies incluidas en el Apéndice I)</p>	
ORCHIDACEAE Orquídeas		
	<p>ORCHIDACEAE spp.<sup>11 84</sup> (Excepto las especies incluidas en el Apéndice I)</p>	

<sup>85</sup> Trozas, madera aserrada y láminas de chapa de madera.

<sup>86</sup> Todas las partes y derivados, excepto:

- las semillas (incluye las vainas de Orchidaceae), las esporas y el polen (incluye las polinias). La exención no se aplica a las semillas de Cactaceae spp. exportadas de México y las semillas de *Baccarhophora madagascariensis* y *Neodypsa decaryi* exportadas de Madagascar;
- los cultivos de plántulas o de tejidos obtenidos *in vitro*, en medios sólidos o líquidos, que se transportan en envases estériles;
- las flores cortadas de plantas reproducidas artificialmente;
- los frutos, y sus partes y derivados, de plantas naturalizadas o reproducidas artificialmente del género *Vanilla* (Orchidaceae) y de la familia Cactaceae;
- los tallos, las flores, y sus partes y derivados, de plantas naturalizadas o reproducidas artificialmente de los géneros *Opuntia* subgénero *Opuntia* y *Selenicereus* (Cactaceae); y
- los productos acabados de *Euphorbia antisyphilitica* empaquetados y preparados para el comercio al por menor.

<sup>86</sup> Trozas, madera aserrada, láminas de chapa de madera y madera contrachapada.

<sup>11</sup> Los híbridos reproducidos artificialmente de los siguientes géneros no están sujetos a las disposiciones de la Convención, si se cumplen las condiciones enunciadas en los párrafos a) y b) *infra*: *Cymbidium*, *Dendrobium*, *Phalaenopsis* y *Vanda*:

- Los especímenes son fácilmente identificables como reproducidos artificialmente y no muestran signos de haber sido recolectados en el medio silvestre, como daños mecánicos o fuerte deshidratación debido a la recolección, crecimiento irregular y un tamaño y forma heterogénea respecto a un taxón y envío, algas u otros organismos epifitos adheridos a las hojas, o daños ocasionados por insectos u otras plagas; y
- i) cuando se envían sin floración, los especímenes deben comercializarse en envíos compuestos por contenedores individuales (por ejemplo, cartones, cajas o cajones o contenedores CC con estantes individuales) que contengan 20 plantas o más cada uno del mismo híbrido; las plantas en cada contenedor deben presentar un elevado grado de uniformidad y aspecto saludable, y el envío debe ir acompañado de documentación, como una factura, en la que se indique claramente el número de plantas de cada híbrido; o
- ii) si se envían en floración, con al menos una flor completamente abierta por espécimen, no se requiere un número mínimo de especímenes por envío, pero los especímenes deben estar procesados profesionalmente para el comercio al por menor, por ejemplo, etiquetados con etiquetas impresas y empaquetados con paquetes impresos, indicando el nombre del híbrido y el país de procesamiento final. Estas indicaciones deben estar bien visibles y permitir una fácil verificación.

Las plantas que no reúnan claramente los requisitos exigidos para gozar de la exención, deben ir acompañadas de los documentos CITES apropiados.

**NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SANDRA DENISSE HERRERA FLORES, Subsecretaria de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Presidenta del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 bis fracciones I, IV, XXXIX y XLI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38 fracción II, 40 fracción X, 45, 46 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 36 fracción I, 37 bis, 79 fracción III, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 3 fracción XVIII, 9 fracciones III y V, 56, 57, 58 y 59 de la Ley General de Vida Silvestre; el artículo 33, del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 1 y 8 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**CONSIDERANDO**

Que el día trece del mes de junio del año de mil novecientos noventa y dos, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos firmó, *ad referendum*, el Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado en Río de Janeiro, Brasil, el día cinco del mes de junio del propio año. Que el Convenio sobre la Diversidad Biológica en su Artículo 7 inciso a) determina que cada Parte Contratante, en la medida de lo posible y según proceda, identificará los componentes de la diversidad biológica que sean importantes para su conservación y utilización sostenible, teniendo en consideración la lista Indicativa de categorías que figura en el anexo I, el cual se refiere a la identificación y seguimiento de Ecosistemas y hábitat que: contengan una gran diversidad, un gran número de especies endémicas o en peligro, o vida silvestre; sean necesarios para las especies migratorias; tengan importancia social, económica, cultural o científica; o sean representativos o singulares o estén vinculados a procesos de evolución u otros procesos biológicos de importancia esencial;

Que el mismo Convenio en su Artículo 8 de la Conservación *in situ*, en su inciso k) determina que las Partes establecerán o mantendrán la legislación necesaria y/u otras disposiciones de reglamentación para la protección de especies y poblaciones amenazadas;

Que la Ley General de Vida Silvestre (LGVS) menciona en su artículo 9 fracción V que corresponde a la Federación la expedición de las normas oficiales mexicanas relacionadas con las materias previstas en dicha Ley.

Que la LGVS establece en su artículo 56, que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, identificará a través de listas, las especies o poblaciones en riesgo, de conformidad con lo establecido en la norma oficial mexicana correspondiente, asimismo establece que, las listas respectivas serán revisadas y, de ser necesario, actualizadas cada 3 años o antes si se presenta información suficiente para la inclusión, exclusión o cambio de categoría de alguna especie o población.

Que la citada Ley determina en su artículo 57 que cualquier persona, de conformidad con lo establecido en el reglamento y en las normas oficiales mexicanas, podrá presentar a la Secretaría propuestas de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para especies silvestres o poblaciones.

Que dicho ordenamiento en su Título VI Conservación de la Vida Silvestre, Capítulo I Especies y Poblaciones en Riesgo y Prioritarias para la Conservación, establece que entre las especies y poblaciones en riesgo estarán comprendidas las que se identifiquen como: a) en peligro de extinción, b) amenazadas, c) sujetas a protección especial, y d) probablemente extintas en el medio silvestre.

Que la Ley General de Vida Silvestre define en su artículo 3 fracción XXXIII a la población, como la figura central de las acciones de protección, conservación y aprovechamiento sustentable, por lo que se hace énfasis en que las características de las poblaciones deben ser importantes en la consideración del riesgo, y se establece la posibilidad de clasificar algunas poblaciones de especies amenazadas o en peligro de extinción, en la categoría de sujetas a protección especial.

Que con fecha 6 de marzo de 2002, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo; en dicha norma se determinan las especies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas y las sujetas a protección especial.

Que debido a la obligación de revisar y actualizar el listado, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, inició en el año 2004 una convocatoria pública en la que se presentaron propuestas para su modificación.

Plantas								
ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	SUBESPECIE, FORMA O VARIEDAD	SINONIMIA	NOMBRE COMUN	DISTRIBUCION	CATEGORIA
Asparagales	Orchidaceae	<i>Encyclia</i>	<i>kienastii</i>			encyclia de Kienast	endémica	P
Asparagales	Orchidaceae	<i>Encyclia</i>	<i>lorata</i>			encyclia de Guerrero	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Encyclia</i>	<i>pollardiana</i>			encyclia de Pollard	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Encyclia</i>	<i>tuerockheimii</i>			encyclia de Tuerockheim	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>alabastrifolium</i>			epidendrum de alabastro	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>alticola</i>			epidendrum del Tacaná	no endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cerinum</i>			epidendrum ceroso	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cnemidophorum</i>			epidendrum colorido	no endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>coronatum</i>			epidendrum coronado	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cystosum</i>				no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>chloe</i>			epidendrum angosto	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>dorocarinatum</i>			epidendrum quillado	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>dressleri</i>			epidendrum de Dressler	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>incomptoides</i>				endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>isthmii</i>				no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>pansamaliae</i>		<i>Oerstedella pansamaliae</i>	oerstedella de Pansamála	no endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>skutzhii</i>			epidendrum de ekutzh	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>smaragdinum</i>			epidendrum esmeralda	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>sobralioides</i>			epidendrum sobralia	no endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Erycina</i>	<i>cresta-galli</i>		<i>Oncidium cresta-galli</i>	oncidium cresta de gallo	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Erycina</i>	<i>pumilo</i>		<i>Tolumnia pumilo</i> , <i>Oncidium pumilo</i> , <i>Psygmorchis pumilo</i> , <i>Oncidium gnoma</i>		no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Euchile</i>	<i>citrina</i>				endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Euchile</i>	<i>marie</i>				endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Eurystyles</i>	<i>borealis</i>				no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Galeandra</i>	<i>batemanii</i>			galeandra de Bateman	no endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Galeottia</i>	<i>grandiflora</i>			galeottia grande	no endémica	P
Asparagales	Orchidaceae	<i>Galeottia</i>	<i>sarcoglossa</i>			trenota alpina	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Gongora</i>	<i>tridentata</i>				no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Govenia</i>	<i>tequiliana</i>			govenia de Tequila	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Guarianthe</i>	<i>skinneri</i>		<i>Cattleya skinneri</i>	cattleya Candelaria, guaria morada	no endémica	A
Asparagales	Orchidaceae	<i>Habenaria</i>	<i>umbrellifolia</i>			habenaria de sombra	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Hagsatera</i>	<i>brachycolumna</i>			hagsatera del sur	endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Ionopsis</i>	<i>satyrioides</i>			ionopsis carmosa	no endémica	Pr
Asparagales	Orchidaceae	<i>Jacquinella</i>	<i>gigantea</i>			jacquinella gigante	no endémica	Pr