

Plantas nativas ornamentales de Latinoamérica

Experiencias hacia la puesta en valor

Gabriela Facciuto, Mariana Pérez de la Torre
Compiladoras

Plantas nativas ornamentales de Latinoamérica

Experiencias hacia la puesta en valor

Gabriela Facciuto, Mariana Pérez de la Torre
Compiladoras



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

INTA Ediciones
Instituto de Floricultura
2021

635.9 Plantas nativas ornamentales de Latinoamérica . Experiencias hacia la puesta
P69 en valor / Gabriela Facciuto, Mariana Pérez de la Torre compiladoras. –
Buenos Aires : Ediciones INTA, Instituto de Floricultura, 2021.
238 p. : il. (PDF)

ISBN 978-987-679-312-4 (digital)

i.Facciuto, Gabriela. ii. Pérez de la Torre, Mariana

FLORICULTURA – PLANTAS ORNAMENTALES – GENETICA – VARIEDADES –
PLANTAS NATIVAS – AMERICA LATINA

DD-INTA

Este documento es el resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.

Foto de tapa y portadas: Santiago Ariel Trupkin

Todas las fotografías e ilustraciones son originales de los autores, salvo el caso que se indique otra fuente.

Este libro

cuenta con licencia:



COMITÉS REVISORES

Instituto de Floricultura, INTA (docentes del curso)

Bugallo, Verónica Lucía

Greppi, Julián Alejandro

Hagiwara, Juan Carlos

Kato, Adriana Elena

Puerta, Analía Verónica

Soto, María Silvina

Trupkin, Santiago Ariel

Externo

Amela Garcia, Maria Teresa. CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Micología y Botánica (INMIBO).

Cerrillo, Teresa. Agencia de Extensión Rural Delta Frontal, INTA.

De Magistris, Alberto. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Lomas de Zamora.

Guerra, Miguel Pedro. Universidad Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil

Labarta, Marcelo. Gerencia Convenios Vinculación Tecnológica. INTA.

López, Cesar. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Malagrina, Gisela. Instituto de Recursos Biológicos, INTA.

Marcucci Poltri, Susana. Instituto de Biotecnología, INTA.

Marinangeli, Pablo. Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida, CONICET, Universidad Nacional del Sur.

Molina, Pablo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

ÍNDICE

Prólogos	6
----------------	---

Caracterización del potencial ornamental del germoplasma latinoamericano: hacia el desarrollo de nuevos cultivos

Germoplasma nativo chileno con potencial ornamental: experiencias en su propagación y caracterización. Constanza Rivas, Danilo Aros, Marcela Toledo, Nicasio Torres, Katherina Aguirre, Carla Céspedes, M. Antonieta Santander y Loreto Prat	12
---	----

Especies forestales ornamentales en Paraguay. Maura Isabel Díaz Lezcano, Cynthia Carolina Gamarra Lezcano y Maura Lezcano Acosta	29
---	----

<i>Cordyline</i> sp para uso como follaje ornamental: caracterización y poscosecha. María de los Ángeles Rodríguez-Elizalde, Vivian Loges, Simone Santos Lira Silva, Alejandro Alarcón, Ronald Ferrera-Cerrato, Mateo Vargas-Hernández y Juan José Almaraz Suárez ..	41
---	----

Estudios en el género <i>Sphaeralcea</i> (Malvaceae), un importante recurso genético de la Argentina con potencial ornamental. Agustina Gutiérrez, Carlos Villamil, Liliana Dascanio y Pablo Marinangeli	54
---	----

Plantas nativas del centro oeste argentino con aptitud ornamental: experiencias en Mendoza. Graciela Cuesta, Sonia Fioretti, Inés Lorello, Alicia Pereyra, María Teresa Gutiérrez, Juan Martín Cabral, Gabriel Pisi, Carla Baglio y Celina Di Cenzi	73
--	----

Fotomorfogenese na germinação in vitro de embriões zigóticos de abricó-de-macaco (<i>Couroupita guianensis</i>). Christian Aparecido Demétrio, Jéssica Fernanda de Oliveira Jacob, Guilherme Bovi Ambrosano, Charleston Gonçalves y Paulo Hercílio Viegas Rodrigues	91
--	----

Banco de Germoplasma del noreste de México con potencial ornamental (Familia: <i>Cactaceae</i>). Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez, Miguel A. Carranza Pérez, Librado Sosa Díaz y Antonio Cano Pineda	103
--	-----

Mejoramiento genético a partir de recursos genéticos nativos de Latinoamérica

Avances de investigación en <i>Heliconia</i> L. con enfoque de mejoramiento en México. Simitrio Ortiz Curiel, Carlos H. Avendaño Arrazate y Leobardo Iracheta Donjuan	126
--	-----

Caracterización del valor ornamental de híbridos y especies del género *Alstroemeria*.

Danilo Aros, Constanza Rivas, Amanda Donoso, Macarena Suazo, Michael Handford y Cristina Úbeda149

Colecta de genotipos de los géneros *Polianthes*, *Mafreda* y *Prochnyanthes* e identificación de sus híbridos interespecíficos e intergenéricos por marcadores AFLP.

Ernesto Tapia-Campos, Rodrigo Barba-González, Ma. Claudia Castañeda-Saucedo y Tania Yuriko Lara-Bañuelos167

Barreras de aislamiento reproductivo e hibridación interespecífica en el mejoramiento de *Passiflora* en la Argentina. Verónica Bugallo y Gabriela Facciuto188

Mejoramiento genético en el género *Mecardonia* (*Pantaginaceae*). Julián Alejandro

Greppi, Mariana Cecilia Pérez de la Torre y Santiago Ariel Trupkin206

Transferencia de nuevas variedades al sector productivo

Innovación en el mercado florícola: estrategias de transferencia al sector productivo de variedades obtenidas a partir de recursos genéticos nativos. Gabriela Facciuto,

Carmen Stosic, Santiago Stancanelli, María Silvina Soto y Daniel Morisigue226

PRÓLOGOS

El Instituto de Floricultura de INTA es el único en Latinoamérica dedicado exclusivamente a desarrollar conocimientos, tecnologías y formación de profesionales en la producción de flores y plantas ornamentales. El gran impulso se dio a partir de 1999 en el marco del proyecto INTA - JICA “Desarrollo de la Floricultura Argentina” cuyo principal objetivo ha sido formar investigadores en el área de recursos genéticos ornamentales y mejoramiento genético.

Desde 2011 los investigadores del Instituto de Floricultura en el marco de un Convenio entre el Instituto de Floricultura de INTA con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón y el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto de la Nación Argentina dictaron cursos para profesionales de Latinoamérica con el objetivo de generar capacidades técnicas para el desarrollo local de germoplasma nativo ornamental. Se capacitaron a 120 investigadores en la prospección, recolección y desarrollo de plantas nativas con potencial ornamental que sean factibles de ingresar en un sistema productivo económicamente sustentable.

Este libro es el resultante del entusiasmo de investigadores que participaron de los cursos mencionados para mostrar sus conocimientos y experiencias con la flora nativa ornamental hacia la obtención de variedades nuevas y/o el desarrollo de nuevos cultivos ornamentales.

El entrenamiento focalizó el esfuerzo en la formación técnica para la detección de germoplasma con características potenciales para una domesticación y un posible uso ornamental en el corto plazo. Se apuntó también a incrementar el conocimiento referido a cómo generar recursos económicos que beneficien al sector florícola local a través de producciones con materiales locales adaptados a la zona de producción, así como también la posibilidad de generar regalías de las potenciales variedades desarrolladas en el país de origen de los recursos genéticos. De esta manera, se pretende disminuir la dependencia de empresas semilleras de fuera de la región en lo que respecta a la importación de variedades.

Otro aspecto importante de destacar fue la capacitación hacia un uso sustentable de los recursos naturales por parte de productores locales, evitando de esta manera la extracción directa de los mismos desde los hábitats y la erosión genética que esto genera. De esta manera se capacitó para una recolección que no impacte las poblaciones naturales, la tecnología necesaria para su correcta propagación, así como también las herramientas básicas para un correcto manejo y mejoramiento genético para la obtención exitosa de materiales selectos aptos para una producción económicamente sustentable.

Respecto al mejoramiento genético se focalizó en los objetivos a alcanzar puntualizando la evolución desde lo estético hacia lo funcional. En los últimos años se ha prestado mucha atención a las funciones que estas desempeñan tales como variedades/especies para uso en techos verdes, jardines verticales y cortinas verdes, entre otros usos, temas abordados también en las capacitaciones.

Un aspecto interesante de estos cursos fueron los espacios de intercambio de experiencias, discusiones técnicas y propuestas de los participantes que generaron sinergias, trabajos en cooperación y poder pensar en conjunto estrategias que permitan el uso, desarrollo y visibilización en las instituciones de la región del potencial de los recursos genéticos nativos.

Se presentan aquí los resultados de investigaciones de los participantes como un aporte para poner en valor a la flora latinoamericana.

El mercado global de plantas ornamentales es muy exigente y está sujeto a cambios de tendencias velozmente que llevan a que surjan nuevas variedades todos los años. Esta situación ha generado una gran oportunidad para el desarrollo local de la flora latinoamericana.

Este libro es un aporte para tal fin.

Daniel E. Morisigue

Director Instituto de Floricultura

INTA

Mis más sinceros respetos al Instituto de Floricultura del Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria (INTA), y a los investigadores de América Latina y Caribe por la elaboración de esta valiosa publicación.

JICA y el Instituto de Floricultura mantienen una relación muy cercana. El Centro Tecnológico de Flori-Fruti-Horticultura (CETEFFHO) fue establecida por JICA en 1977, con el objetivo de asistir en tecnología agrícola a los inmigrantes japoneses. En 1995, fue reubicada en el sitio actual del INTA y luego transferida al INTA como Instituto de Floricultura, en el año 2004.

Desde entonces, el Instituto de Floricultura, se ha posicionado como un referente regional en la temática. Participa activamente en programas nacionales impulsados por el gobierno argentino, alcanzando significativos resultados hasta la fecha. Además de las actividades de investigación en mejoramiento y desarrollo de nuevas variedades, también promueve la asistencia técnica y desempeña un papel central en el desarrollo del sector florícola en Argentina. En los últimos años, el Instituto promueve la articulación con empresas privadas japonesas obteniendo resultados ventajosos.

JICA en conjunto con el Gobierno Argentino, impulsa la cooperación triangular con el Instituto de Floricultura, y en los últimos 10 años, ha implementado el programa de capacitación para terceros países, en el marco del Programa de Asociación entre Japón y Argentina (PPJA), compartiendo su experiencia y conocimientos con los investigadores de América Latina y Caribe.

Esta publicación es una muestra concreta de la eficacia de la cooperación internacional. Felicitaciones a los ex-participantes del curso, por continuar con sus investigaciones y compartir los resultados en esta publicación.

JICA continuará brindando su apoyo al Instituto de Floricultura, porque es un socio estratégico para la divulgación de la cooperación japonesa en la región, y porque es un actor central en las investigaciones en floricultura de América Latina y El Caribe.

Deseamos el mayor de los éxitos al INTA y a los ex-participantes del curso y sus instituciones.

JICA Argentina

Representante Residente

Takeda, Hiroyuki

Los gobiernos de Argentina y Japón vienen trabajando conjuntamente hace más de 40 años en el desarrollo de las capacidades de las instituciones argentinas. En esta oportunidad, cabe destacar que el Instituto de Floricultura del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, tiene un vínculo histórico con la cooperación japonesa y se ha transformado en un referente regional en la temática.

Acompañar iniciativas como esta publicación que compila las experiencias hacia la puesta en valor de los recursos genéticos es para la Cancillería Argentina una gran oportunidad para felicitar al Instituto de Floricultura por el trabajo desarrollado y un desafío para continuar acompañando la proyección del intercambio de experiencias y la construcción de capacidades en la región y en el mundo.

Desde la Dirección General de Cooperación Internacional se coordinan, conjuntamente con las instituciones que llevan adelante actividades de cooperación, los programas y proyectos internacionales que acompañan el desarrollo de las prioridades sectoriales establecidas por el Gobierno Nacional.

El trabajo conjunto con la cooperación japonesa del que esta publicación da cuenta, es una muestra de la dedicación y la labor diaria que el Instituto de Floricultura lleva a cabo desarrollando conocimientos, tecnologías y la formación profesional en la producción de flores y plantas.

Dirección General de Cooperación Internacional

Cancillería Argentina

La publicación de este libro, fruto del destacado estudio de investigadoras e investigadores y de agendas compartidas de INTA – JICA, marca un significativo aporte para el desarrollo de recursos genéticos para la floricultura a nivel regional e internacional.

Extendemos nuestras más sinceras felicitaciones y respeto a quienes han sido parte de este proceso; en particular a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, al equipo del Instituto de Floricultura del CIRN, al Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional como así también a todas las personas que han participado y mancomunado esfuerzos en representación de América Latina y el Caribe.

Esta propuesta se presenta en un contexto que requiere adaptarnos a los constantes cambios y desafíos, tanto de las regiones como de las circunstancias de la pandemia. Se hizo posible gracias a la sólida articulación con JICA, que, entre otros acontecimientos, dio lugar a la creación del Instituto de Floricultura en 2004. Ha permitido a su vez la formación de recursos humanos locales, que ahora comparten sus conocimientos en otros países.

Esta publicación aborda la cuestión del acceso, uso y distribución equitativa de beneficios en sintonía con el Convenio de Biodiversidad, un caso testigo a nivel mundial. Ello nos permite dimensionar el potencial de las flores y plantas nativas con valor ornamental en la calidad de vida, generando nuevos enfoques y proyectar nuevos nichos gracias al aporte de los recursos genéticos.

Sigamos promoviendo el camino de la cooperación y de la investigación, con mirada inclusiva, cosechando frutos y flores para poner en valor la flora latinoamericana.

Susana Mirassou

Presidenta INTA

***Caracterización del potencial
ornamental del germoplasma
latinoamericano:
Hacia el desarrollo de *nuevos cultivos****



GERMOPLASMA NATIVO CHILENO CON POTENCIAL ORNAMENTAL: EXPERIENCIAS EN SU PROPAGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

Constanza Rivas¹, Danilo Aros, Marcela Toledo, Nicasio Torres, Katherina Aguirre, Carla Céspedes, Ma. Antonieta Santander, Loreto Prat.

Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

¹Autor para correspondencia: constanzarivas@u.uchile.cl

RESUMEN

Diversos autores han identificado un alto potencial ornamental y de bioprospección en el germoplasma nativo, en el cual, aún queda mucho por explorar. En este sentido, la utilización de plantas nativas supone varias ventajas sobre las plantas introducidas por su importante adaptación a condiciones edafoclimáticas adversas. El objetivo de este trabajo es presentar una recopilación de estudios realizados por el Grupo de Investigación en Floricultura (GIFLOR) de la Universidad de Chile, en cuanto a la propagación de las especies nativas chilenas: *Pasithea coerulea*, *Salpiglossis sinuata*, *Malesherbia linearifolia*, *Schizanthus hookeri* y *Junellia spathulata*. Además, dada la importancia de este atributo en el área ornamental se presenta un trabajo promisorio realizado en la caracterización de color (HPLC, espectrofotómetro y carta de colores) en *P. coerulea*. En los estudios de propagación se aplicaron diferentes técnicas de escarificación y estratificación, presencia o ausencia de luz, en el caso de las semillas, y diferentes condiciones de cultivo ex vitro e in vitro, utilizando explantes nodales vegetativos. En cuanto a la germinación, se obtuvo como mejores resultados: la combinación de escarificación con H₂SO₄ y estratificación en frío para *P. coerulea* (93%); estratificación con GA₃ en *S. sinuata* (85%); estratificación con GA₃ en *M. linearifolia* (25,6%); tratamiento en oscuridad para *S. hookeri* (86,7%). En la propagación in vitro a partir de segmentos nodales de *J. spathulata*, se obtuvo una media de 8,2 brotes activos, combinando BAP y Kinetina. La caracterización del color en *P. coerulea* permitió identificar compuestos flavonoides, aldehídos benzoicos, y ácidos hidroxicinámicos, los cuales serían responsables de la coloración y estabilidad del color, junto con la determinación de la intensidad colorante (longitud de onda de 620 nm), donde se obtuvieron valores relacionados con el azul. Por su lado, la evaluación visual presentó mayor frecuencia del azul violeta (RHS 94A). Si bien existen diversos factores que aún se deben estudiar para lograr la domesticación de especies nativas, los protocolos de propagación obtenidos permitirán establecer un banco de germoplasma para continuar las investigaciones con miras al mejoramiento genético de estas especies.

Palabras clave: flora nativa, germinación, técnicas de propagación, caracterización color, planta ornamental.

ABSTRACT

Various authors have identified a high ornamental and bioprospecting potential in native germplasm, in which much remains to be explored. In this sense, the use of native plants has several advantages over introduced plants due to their important adaptation to adverse edaphoclimatic conditions. The objective of this work is to present a compilation of studies carried out by the Floriculture Research Group (GIFLOR) of the University of Chile, regarding the propagation of Chilean native species: *Pasithea coerulea*, *Salpiglossis sinuata*, *Malesherbia linearifolia*, *Schizanthus hookeri* and *Junellia spathulata*. In addition, given the importance of this attribute in the ornamental area, a promising work carried out in the colour characterization (HPLC, spectrophotometer and color chart) in *P. coerulea* is presented. In the propagation studies, different scarification and stratification techniques, presence or absence of light, in the case of seeds, and different ex vitro and in vitro culture conditions were applied, using vegetative nodal explants. Regarding germination, the best results obtained were: the combination of scarification with H_2SO_4 and cold stratification for *P. coerulea* (93%); stratification with GA_3 in *S. sinuata* (85%); stratification with GA_3 in *M. linearifolia* (25.6%); dark treatment for *S. hookeri* (86.7%). In the in vitro propagation from nodal segments of *J. spathulata*, an average of 8.2 active shoots was obtained, combining BAP and Kinetin. The characterization of the colour in *P. coerulea* allowed to identify flavonoid compounds, benzoic aldehydes, and hydroxycinnamic acids, which would be responsible for the pigmentation and colour stability, together with the determination of the colouring intensity (wavelength of 620 nm), where values related to blue were obtained. On the other hand, the visual evaluation showed a higher frequency of blue violet (RHS 94A). Although there are several factors that still need to be studied to achieve the domestication of native species, the propagation protocols obtained will allow the establishment of a germplasm bank to continue this research, focusing on the breeding of these species.

Keywords: native flora, germination, propagation techniques, color characterization, ornamental plant.

INTRODUCCIÓN

La flora vascular chilena está compuesta de aproximadamente 5.000 especies nativas, de las cuales un 50% se catalogan como endémicas (Marticorena, 1990). Esta gran diversidad ha generado un creciente interés en utilizar especies nativas en vez de plantas exóticas para su cultivo ornamental. Esto debido a la gran adaptación de estas especies a condiciones edáficas y climáticas extremas, así como también frente a la escasez hídrica (Saldías, 2009). Económicamente, las plantas ornamentales constituyen un rubro creciente a nivel mundial, por lo que es imprescindible el conocimiento de su biología y propagación, generando programas de domesticación con el fin de incorporar al mercado nuevas variedades (Alonso *et al.*, 2009). Según ODEPA (2014), en Chile, el panorama económico del comercio exterior

de flores muestra una tendencia ascendente de las exportaciones e importaciones y un fuerte incremento en el consumo nacional de flores importadas. Sin embargo, aún existe una falta de conocimiento respecto a aspectos botánicos y ecológicos de las plantas nativas, esto sumado a la escasez de protocolos adecuados de propagación, que limitan el manejo de estas especies para una apropiada domesticación, que permita la conservación y utilización productiva de las mismas (Doll *et al.*, 2013). En cuanto a los métodos de propagación de especies nativas *ex situ*, además de los comúnmente conocidos, existen otros no tradicionales, como la propagación in vitro. Esta técnica cada vez más utilizada para propagar especies nativas o endémicas permite controlar las condiciones de cultivo, se puede aplicar a un amplio espectro de especies, requiere menor espacio y se obtiene una alta tasa de multiplicación (Pierik, 1997; Atarés, 2007). Dentro de las especies nativas chilenas que se describen con potencial ornamental se encuentran: *P. coerulea*, *S. sinuata*, *M. linearifolia*, *S. hookeri* y *J. spathulata* (Figura 1).



Figura 1. Flores e inflorescencias de especies nativas con potencial ornamental: *Pasithea coerulea* (A), *Junellia spathulata* (B), *Malesherbia linearifolia* (C), *Salpiglossis sinuata* (D) y *Schizanthus hookeri* (E).

Pasithea coerulea (Ruiz et Pavon) D. Don, conocida como azulillo es una especie monocotiledónea, geófito, perteneciente a un género monotípico, de la familia *Xanthorrhoeaceae*. Esta especie está descrita como nativa de Chile y Perú (Muñoz; 1966; Navas, 1973; Muñoz, 1985). En Chile, presenta una distribución geográfica que va desde la región de Antofagasta hasta la región de Los Ríos, siendo particularmente común en la zona central-mediterránea, donde crece preferentemente en el sector costero y valles interiores, (Hoffmann, 1998; Schiappacasse *et al.*, 2002). Debido a sus características morfológicas, en especial por sus tépalos azules, color poco frecuente y muy apreciado en el ámbito ornamental, el azulillo presenta un gran potencial desde el punto de vista ornamental. Por esta razón, resulta importante identificar individuos que sean interesantes para su domesticación y futuro mejoramiento genético, así como mejorar los protocolos de germinación de la especie.

Por su parte, la especie *S. sinuata*, pertenece a la familia *Solanaceae* y corresponde a una hierba perenne de hasta 80 cm de altura, que presenta un tallo erecto, con flores tubulares, que florecen durante primavera. Dentro de sus características destacan su gran diversidad de colores, además del peculiar aroma a cacao que presentarían sus tallos, siendo una especie muy atractiva desde el punto de vista ornamental (Navas, 1973).

En cuanto a la especie *M. linearifolia* (Cav.) Pers., su nombre común es estrella azul de cordillera. Es una planta endémica de Chile, que habita en las alturas de la Cordillera de los Andes, comúnmente en cerros y quebradas (Hoffmann, 1998; Navas, 2001). Es importante considerar las condiciones geográficas y climáticas por las cuales se ven afectadas las semillas por lo cual es importante evaluar métodos pregerminativos para romper la dormancia. Esta especie presenta unas llamativas flores azules/violáceas y una vistosa arquitectura, que la hacen interesante desde un punto de vista ornamental.

Schizanthus hookeri es una especie endémica de Chile y Argentina, que pertenece a la familia *Solanaceae*, la cual habita entre los 1.300 y 3.000 m de altitud. En Chile se encuentra desde la región de Coquimbo hasta la región de La Araucanía. Es una planta anual de hasta 80 cm de altura, con flores de 2 a 3 cm de largo, color violáceas, rosadas o purpuras con una gran mancha amarilla en el lóbulo central, cualidades que hacen que la especie posea un alto valor ornamental. Debido a esto, este estudio busca desarrollar un método eficiente de propagación, ya que no existen descritos en esta especie.

La especie nativa *J. spathulata* pertenece a la familia *Verbenaceae*, la cual presenta una gran distribución en Chile, desde la ciudad de La Serena hasta Talca, habitando entre los 1.900 y 2.200 m de altitud. Es una especie arbustiva de hasta 1,5 m de altura (Riedemman *et al.*, 2014), que florece entre los meses de noviembre y febrero, presentando una inflorescencia terminal, aromática y de color lila (Peralta *et al.*, 2008), cualidades que le otorgan un gran atractivo desde el punto de vista ornamental.

Respecto a la caracterización de color, la investigación se ha enfocado en estudiar en forma prospectiva a las antocianinas presentes en flores de azulillo. Estos compuestos polifenólicos otorgan color (desde el rojo al azul) a la mayoría de las flores, frutos, hojas y tallos de las plantas, constituyendo el mayor grupo de pigmentos solubles en agua del reino vegetal (Strack y Wray, 1994). Los compuestos antociánicos, así como los copigmentos, juegan un rol importante en la naturaleza, ya que, al encontrarse asociados al color, atraen polinizadores y diseminadores de semillas cuando este color se expresa en flores y frutos respectivamente (Taiz *et al.*, 2006). Desde el punto de vista del mercado ornamental y por ende del fitomejoramiento, el color de las flores es de suma importancia, uno de los atributos más apreciados por los consumidores a la hora de comprar flores, por lo que estudios prospectivos permitirían comprender de mejor forma esta característica en especies nativas con potencial ornamental (Aros *et al.*, 2015; Aros *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo, es presentar los estudios realizados por el Grupo de Investigación en Floricultura de la Universidad de Chile, resultados que se han obtenido principalmente a través de memorias de pregrado y proyectos de investigación, los cuales se han centrado en la domesticación a través de la propagación tradicional e in vitro, y la caracterización de aspectos de interés ornamental como son el color.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Para los estudios de propagación se recolectaron semillas para todas las especies, y, además, en *J. spathulata*, se recolectaron segmentos nodales de 2,0 cm de largo con dos pares de yemas axilares. Todo el material fue recolectado entre los años 2012 y 2017, desde la pre-cordillera y cordillera de la zona central de Chile. Las principales localidades fueron Farellones, en la comuna de Lo Barnechea, Pirque, El Cajón del Maipo, dentro de la región Metropolitana, y en Machalí, región de O'Higgins (en el caso de *P. coerulea*). Los experimentos fueron realizados entre los años 2012 y 2017. Para la caracterización del color, se utilizaron flores frescas de *P. coerulea*.

Propagación

***Pasithea coerulea*.** El estudio de propagación se llevó a cabo utilizando un diseño con modelo factorial 2 x 3, con dos factores: estratificación y escarificación. Los niveles fueron dos para el caso de la estratificación (con estratificación 4 °C y sin estratificación 25 °C) y tres para el factor escarificación (solución con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 98% v/v, por 1 min, lavado por flujo de agua por 72 h, y sin escarificación). El diseño fue realizado con 6 tratamientos, 3 repeticiones por tratamiento y 25 semillas por repetición. En los tratamientos de escarificación, las semillas fueron lavadas por flujo de agua durante 72 horas, o a través del sumergimiento

en una solución de H_2SO_4 (98% v/v) durante 1 minuto. Para la estratificación las semillas fueron colocadas en bolsas con arena de lampa y una solución con fungicida de Pomarsol forte 80% WP (Anasac), concentración de 2 g/L, luego fueron expuestas a una temperatura de 4 ± 1 °C, durante 4 semanas. Es importante mencionar que, para todos los tratamientos, las semillas fueron embebidas con agua destilada durante 24 h, por 24 °C, también las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio (3% v/v), durante 10 min. Posterior a los tratamientos, las semillas fueron dispuestas en placas Petri, con papel filtro en una cámara de germinación a 24 °C en total oscuridad. El riego se realizó con una solución con fungicida, Pomarsol forte (Anasac), concentración de 2 g/L. Se evaluó el porcentaje de germinación de cada placa y la velocidad de germinación durante 10 semanas para los tratamientos sin estratificación y durante 6 semanas para los tratamientos con estratificación, ya que estas últimas presentaron una rápida germinación. Para la evaluación de germinación se consideró como semilla germinada aquella que emitió radícula. Se consideró además para este ensayo la aparición de plúmula, con el fin de estimar el porcentaje de semillas que llegan al estado de plántula. La frecuencia de observación fue cada 3 días. La velocidad de germinación se midió como la relación del número de semillas germinadas por el total de días desde la siembra (Scott *et al.*, 1984). Para el análisis estadístico se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA), y en el caso de existir diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey, con una probabilidad de $p \leq 0,05$.

***Salpiglossis sinuata*.** Para la germinación de las semillas se utilizaron distintas concentraciones de AG_3 (0, 50, 150, 250 mg L^{-1}), con 3 repeticiones por tratamiento y 20 semillas por repetición, se utilizó un diseño completamente aleatorizado, las semillas fueron tratadas luego de una desinfección, con etanol al 95%, durante 5 minutos, utilizando luego cloro comercial al 10%, por 20 minutos, para posteriormente realizar 3 enjuagues con agua destilada estéril, inmediatamente se aplican los tratamientos con AG_3 , dejándolos en esta solución en movimiento por 24 horas. Se realizó una siembra en placas Petri con medio MS (Murashige y Skoog, 1962), suplementado con 30 g sacarosa L^{-1} , 7 g agar L^{-1} , pH 5,8. Se dispusieron en una cámara a 24 °C, en condiciones de luz y oscuridad. Se evaluó la germinación, durante 35 días, considerando semilla germinada aquella que emitió radícula, y luego las plantas germinadas en forma aleatoria fueron trasplantadas a tubos de ensayo con el mismo medio suplementado con distintos tipos de citoquininas: kinetina (KIN), thidiazuron (TDZ), isopenteniladenina (2ip) y bencilaminopurina (BAP). Para cada hormona se utilizaron las siguientes concentraciones: 0,1 mg L^{-1} , 0,5 mg L^{-1} , 1 mg L^{-1} , respectivamente, con cuatro repeticiones por tratamiento, una planta por unidad experimental. Transcurridos 21 días, se midieron fuera del medio y bajo cámara de flujo, el peso, la longitud y el número de hojas de cada planta. Tanto para el ensayo con semillas como plantas, se realizó un diseño completamente aleatorizado, para el análisis estadístico se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA), con Test de Tukey, con un nivel de significancia de un 5%.

***Malesherbia linearifolia*.** Las semillas se sometieron a tratamientos de escarificación y estratificación. Los niveles de escarificación fueron: testigo, H_2SO_4 al 98% v/v, por 1 minuto y lavado con flujo de agua por 72 h. Los niveles de estratificación correspondieron a: testigo, ácido giberélico (AG_3) 50 ppm por 48 h, AG_3 100 ppm por 48 h, y tratamiento de frío (0°C por 4 semanas), realizando seis repeticiones para cada uno, y 15 semillas por unidad experimental. Se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado con Estructura Factorial de Tratamientos. Se realizó una desinfección superficial de las semillas que consistió en el uso de etanol al 90% (v/v) por 10 minutos, para luego utilizar cloro comercial (5% hipoclorito de sodio) al 20% (v/v) más 1 gota de detergente industrial durante 20 minutos, con posterior enjuague. Las semillas fueron dispuestas en placas Petri en condiciones in vitro, con medio MS, suplementado con 30 g sacarosa L^{-1} , 7 g agar L^{-1} , pH 5,8, en oscuridad total, a 21°C . Se evaluó el porcentaje y velocidad de germinación cada tres días, por 90 días en total, para lo cual se consideró una semilla germinada aquella que emitió radícula. Para la velocidad, se midió el tiempo que tardaron los tratamientos en llegar al 50% de germinación. Los datos fueron evaluados con un ANDEVA con un nivel de confianza del 95%, Al existir dependencia de los niveles de los factores se realizaron varias pruebas de rango fijo de Tukey.

***Schizanthus hookeri*.** Se realizaron tratamientos para la germinación de semillas, por medio de la exposición a la luz con fotoperiodo 16/8, y tratamiento con oscuridad total. Cada tratamiento constó de 3 repeticiones, con 10 semillas por cada placa, es decir, en cada unidad experimental. Para iniciar la propagación in vitro, las semillas fueron desinfectadas superficialmente con etanol 90% (v/v) durante 15 min, cloro comercial (5% hipoclorito de sodio) al 20% (v/v) por 20 min y finalmente fueron enjuagadas con agua destilada estéril. Para la siembra se utilizaron placas Petri que contenían 25% de medio de cultivo MS, con 30 g de sacarosa L^{-1} , 7 g de agar L^{-1} y un pH ajustado a 5,7. Luego las placas se mantuvieron en una cámara de crecimiento con una temperatura de $18 \pm 1^\circ\text{C}$, para el tratamiento en oscuridad las placas se cubrieron con papel aluminio. Se evaluó el porcentaje de germinación y como criterio de evaluación se consideró como semilla germinada, aquella con una radícula de al menos 4 mm de largo. Las evaluaciones se realizaron cada 3 días, durante 4 semanas. Para el análisis estadístico se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA), con Test de Tukey.

***Junellia spathulata*.** Se realizaron 3 tratamientos pre-germinativos de estratificación para las semillas de la especie, con AG_3 : 50 mg L^{-1} por 48 h; AG_3 : 100 mg L^{-1} por 48 h; y tratamiento de frío (4°C por 4 semanas en condiciones húmedas), junto con el tratamiento testigo con agua destilada por 48 h. Se realizaron 5 repeticiones en cada tratamiento y la unidad experimental correspondió a una placa de Petri con 25 semillas cada una. Previo a los tratamientos, se realizó una desinfección superficial de las semillas que consistió en el uso de etanol al 90% (v/v) por 10 minutos, para luego utilizar cloro comercial (5% hipoclorito de sodio) al 20% (v/v), más 1 gota de detergente industrial durante 20 minutos. Posteriormente, se realizaron 5 enjuagues con agua destilada estéril. Las semillas fueron sembradas en placas Petri en un medio de cultivo $\frac{1}{4}$ MS, para posteriormente evaluar su germinación cada tres días por ocho

semanas, como criterio de evaluación se consideró como semilla germinada, aquella con una radícula. Además, se cuantificó la velocidad de germinación, midiendo el tiempo que tardaron los tratamientos en llegar al 50% de germinación, es decir, a los 1,5 milímetros de radícula.

En cuanto a los ensayos de propagación de segmentos nodales, se consideraron 6 tratamientos, utilizando un diseño completamente aleatorizado, donde en el medio de cultivo base utilizado fue MS suplementado con 30 g L⁻¹ de sacarosa y 7,5 g L⁻¹ de agar, junto con distintas concentraciones de BAP (1,0 mg L⁻¹), KIN (0,1 mg L⁻¹) y BAP (2,0 mg L⁻¹) + KIN (0,1 mg L⁻¹), según correspondiera el tratamiento (Tabla 1). Inicialmente, se realizó una desinfección superficial de los segmentos nodales, que consistió en el uso de etanol al 90% (v/v) por 10 minutos, para luego utilizar cloro comercial (5% hipoclorito de sodio) al 20% (v/v), más 1 gota de detergente industrial durante 20 minutos, luego se realizaron 5 enjuagues con agua destilada estéril. Luego del establecimiento de los segmentos, se midió el promedio de largo total de brotes (cm) y emisión de brotes secundarios activos (n°), es decir aquellos que no se encontraron deshidratados al momento de la evaluación. Las evaluaciones se realizaron una vez por semana, durante ocho semanas. Los resultados de cada ensayo se analizaron por separado a través de un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza del 95%. Al existir dependencia de los niveles de los factores se realizaron varias pruebas de rango fijo de Tukey con un nivel de significancia de un 5% para evaluar la relación de cada nivel de un factor con respecto al otro factor.

Tabla 1. Tratamientos aplicados a segmentos nodales in vitro de *Junellia spathulata*.

Tratamientos propagación in vitro por segmentos nodales (mg L ⁻¹)
0 BAP y 0 KIN
2 BAP y 0 KIN
2 BAP y 0,1 KIN
0 BAP y 0,1 KIN
1 BAP y 0 KIN
1 BAP y 0,1 KIN

Caracterización de color en *P. coerulea*. La descripción del perfil antociánico se realizó con tépalos de 5 flores de la especie, donde se analizó por medio del sistema HPLC, acoplado a un detector de fotodiodos alineados (DAD). Fueron extraídos los tépalos de las flores, y luego se realizaron extracciones con una mezcla de metanol (MeOH)-H₂O (1:1 % v/v). La muestra fue filtrada e inyectada en el cromatógrafo (Agilent, 1200). Para la determinación de la intensidad colorante del extracto se utilizó parte de la muestra anterior, la cual fue filtrada

y depositada en una cubeta de cuarzo y evaluados en el espectrofotómetro (Shimadzu, UV-1700) a tres longitudes de onda: 420, 520, 620 nm. Para la obtención del extracto no antociánico, se utilizaron 4,5 mL de la muestra del macerado obtenido que se concentraron en el rotavapor (Buchi, R-210) a 37 °C, para luego ser completado el volumen con agua destilada hasta los 10 mL. Posteriormente se realizaron 6 extracciones, las tres primeras con 10 mL éter etílico y las siguientes con 10 mL de acetato de etilo. A la mezcla se depositaron 5 g de sulfato de sodio, que luego de ser filtrada se llevaron nuevamente al rotavapor a 37 °C. La muestra seca se restituyó con 1 mL de una mezcla MeOH-H₂O (1:1% v/v). Luego fue filtrada (filtro de 0,22 µm) y finalmente se inyectan 100 µL al cromatógrafo.

Además, para la determinación del color en forma visual se utilizó una carta de colores RHS *Mini Colour Chart* (Royal Horticultural Society, UK), en flores de *P. coerulea* con los tépalos completamente extendidos de 60 flores. Se evaluó la frecuencia de repetición de los colores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones de propagación

Pasithea coerulea

Mediante la evaluación se obtuvo como resultado una mayor germinación (93,3%) en los tratamientos de escarificación que fueron sometidos a una posterior estratificación, los cuales se correlacionaron positivamente con la aparición de plúmula (89,3%) y la velocidad de germinación (0,40- 0,41 n° semillas/día) (Tabla 2). Esto indicaría que la interacción entre estos tratamientos pre-germinativos afectaría significativamente la germinación en las semillas.

Tabla 2. Porcentaje de germinación, porcentaje de aparición de plúmula y velocidad de germinación de semillas de *Pasithea coerulea*, luego de ser sometidas a diversos tratamientos de escarificación y estratificación.

Tratamiento de escarificación	Tratamiento de estratificación (°C)	Germinación (%)	Aparición de Plúmula (%)	Velocidad de Germinación (n° semillas/día)
Sin escarificar	25 ¹	12,0 a	9,3 a	0,07 a
H ₂ SO ₄	25	69,3 c	58,7 c	0,29 bc
Lavado	25	42,9 b	36,0 b	0,20 b
Sin escarificar	4 ²	69,3 c	64,0 c	0,33 cd
H ₂ SO ₄	4	93,3 d	89,3 d	0,40 d
Lavado	4	93,3 d	89,3 d	0,41 d

Con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

¹Semillas permanecieron a 25 °C durante 4 semanas.

²Semillas permanecieron a 4 °C, durante 4 semanas.

Revisando la literatura se encuentra que similar resultado obtuvo Sun *et al.* (2006) en la especie *Iris lactea*, especie herbácea, geófito con semillas de estructura similar y presencia de dormancia al igual que *P. coerulea*, donde se observó una mayor germinación al usar tratamientos combinados, obteniendo un porcentaje de germinación por sobre el 80%. En este sentido, en estudios anteriores en *P. coerulea*, se logró obtener un porcentaje de germinación considerable (84%) al usar lavado o escarificación, pero este resultado se obtuvo luego de 6 semanas desde la siembra (González, 1998). Sin embargo, el uso de solo uno de estos dos métodos no sería satisfactorio para lograr un alto porcentaje de germinación, ya que el embrión, por su morfología y respuesta fisiológica a las temperaturas, necesitaría de la estratificación para lograr superar la dormancia (Zhou *et al.*, 2009). Además, uno de los tratamientos con mejores resultados fue con lavado más estratificación, lo que sugiere que los tratamientos con lavado pudieron haber removido inhibidores de la germinación, tales como compuestos fenólicos que se sitúan en el exterior de las semillas y que impedirían el paso del oxígeno al embrión, ya que estos compuestos actuarían como un filtro (Palazón *et al.*, 2001).

Salpiglossis sinuata

Para la germinación de *S. sinuata*, el mejor tratamiento fue la aplicación de 150 mg L⁻¹ de GA₃, con presencia de luz (85% de germinación), encontrando diferencias significativas respecto al tratamiento sin aplicación de AG₃ y en oscuridad (10% de germinación). Para la evaluación del crecimiento aéreo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para el peso del explante (g) y longitud (cm). Pero sí para el número de hojas, obteniéndose el mayor rendimiento en los tratamientos con BAP (1 mg L⁻¹) y KIN (0,5 mg L⁻¹) (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio del número de hojas desarrolladas por *Salpiglossis sinuata*, luego de ser tratado con distintos tipos y concentraciones de citoquininas.

Tratamientos Citoquininas		Media N° hojas
Tipo de Citoquinina	Concentración (mg/mL)	
BAP	1	20,25 a
	0,5	10,50 ab
	0,1	8,75 ab
KIN	1	5,25 b
	0,5	20,00 a
	0,1	12,25 ab
2ip	1	9,25 ab
	0,5	7,00 ab
	0,1	12,50 ab

Tratamientos Citoquininas		
Tipo de Citoquinina	Concentración (mg/mL)	Media N° hojas
TDZ	1	4,75 b
	0,5	4,75 b
	0,1	4,75 b
Control	0	4,75 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Malesherbia linearifolia

En general, en todas las evaluaciones realizadas se presentó una muy baja o nula germinación para las semillas de esta especie. El mayor porcentaje de germinación se obtuvo por medio del tratamiento sin escarificación combinado con estratificación en 100 ppm de AG_3 , por 48 horas (25,56%). Por otra parte, los tratamientos de lavado + frío; sin escarificación + frío; H_2SO_4 + frío y H_2SO_4 + remojo en 100 ppm de AG_3 , no presentaron germinación (Tabla 4). Esto pudo deberse a la alta contaminación que presentaron estos tratamientos o a la acción del H_2SO_4 , el cual posiblemente haya destruido la testa, inactivando el embrión. De esta forma, un estudio realizado por Delanoy *et al.* (2006), en especies de la familia *Passifloraceae*, que se vinculan genéticamente con *M. linearifolia*, hace referencia a que, si bien las especies evaluadas pertenecen al mismo género, su comportamiento germinativo es diferente. En este sentido, en comparación al trabajo realizado, se obtuvieron similares resultado en cuanto a los tratamientos testigo, en los cuales se obtuvieron bajos porcentajes de germinación de las especies ya que el tratamiento control consistió en un remojo por 48 horas en agua destilada y a pesar de que en el trabajo de Ellis *et al.* (1985) se menciona la utilización del embebimiento en agua destilada como tratamiento efectivo para la germinación de *Passiflora* spp se comprobó no efectivo para el caso de *Malesherbia*. En cuanto a la velocidad de germinación, el tratamiento que fue sometido a 100 ppm AG_3 por 48 h, fue el que presentó mayor velocidad de germinación a diferencia del resto de los tratamientos, logra presentar semillas germinadas a un tiempo de evaluación menor que los otros tratamientos, empezando a manifestar germinación de semillas al día 5 y llegando a un pico a los 40 días.

Tabla 4. Porcentaje de germinación en semillas de *Malesherbia linearifolia*, luego de ser sometidas a diversos tratamientos de escarificación y estratificación.

Tratamiento de escarificación	Tratamiento de Estratificación	Germinación (%)
Lavado	Frío ¹	0 a
	AG ₃ 100	8,89 ab
	AG ₃ 50	13,33 abc
	Sin	8,89 ab
Sin escarificar	Frío	0 a
	AG ₃ 100	25,56 c
	AG ₃ 50	14,44 bc
	Sin	3,34 ab
H ₂ SO ₄	Frío	0 a
	AG ₃ 100	0 a
	AG ₃ 50	2,22 ab
	Sin	2,22 ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

¹Semillas permanecieron a 0 °C, durante 4 semanas.

Schizanthus hookeri

Se observó una mayor germinación en el tratamiento sometido a oscuridad (86,67%) en contraste con el tratamiento expuesto a luz (16,67%) (Tabla 5), con diferencias significativas. Este resultado en la germinación se puede atribuir a las condiciones naturales del lugar donde se desarrolla la especie, ya que durante invierno existe sobre el suelo una capa de nieve que no permite el paso de la luz, lo cual puede estar induciendo a las semillas latentes germinar y desarrollarse a partir de primavera, cuando las condiciones ambientales son más favorables para el desarrollo de las plántulas.

Tabla 5. Evaluación del porcentaje de germinación de *Schizanthus hookeri*, bajo condiciones de luz y oscuridad.

Temperatura exposición (°C)	Tratamientos Condición luz/oscuridad	Germinación (%)
18 ± 1 °C	Luz	16,67 a
18 ± 1 °C	Oscuridad	86,67 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), para cada tratamiento.

Junellia spathulata

Según los resultados de la germinación de las semillas se evidencia un muy bajo o nulo porcentaje de germinación de todos los tratamientos. Con los resultados obtenidos se realizó un test de viabilidad sobre el total de las semillas no germinadas de los tratamientos. A partir de este total se procedió a hacer el test bioquímico del tetrazolio, obteniendo como resultado que solo un 3,14% de las semillas se encontraron viables. En cuanto a la evaluación de los segmentos nodales in vitro, la emisión de brotes secundario muestra que hubo una interacción entre las fitohormonas BAP y KIN, por lo tanto, hay dependencia entre estos los factores. Es así, como los tratamientos con esta combinación, a las 4 semanas de evaluación se obtuvo una media de 4,6 brotes activos, esta tendencia se sostuvo hasta las 8 semanas, donde se obtuvo un promedio de 8,2 brotes activos (Figura 2).

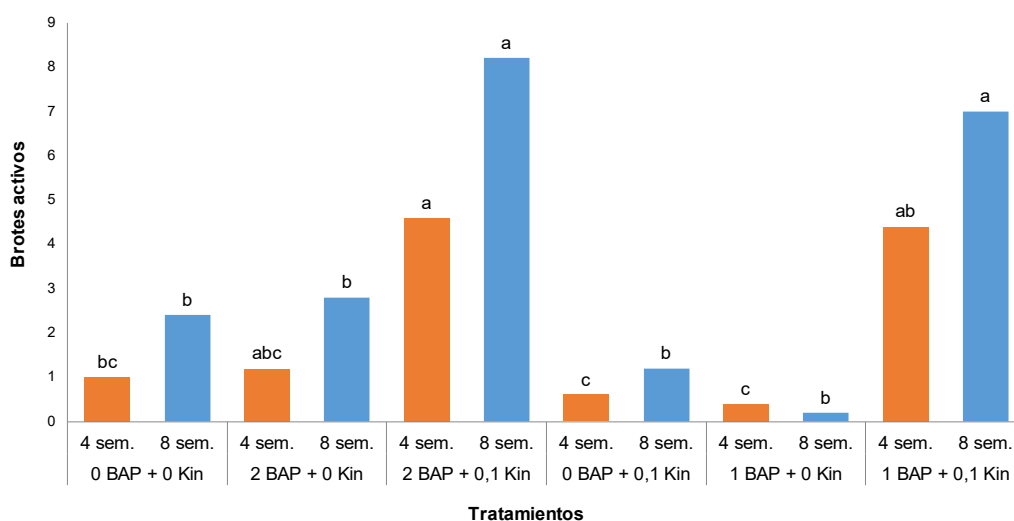


Figura 2. Promedio de brotes activos cultivados in vitro a las 4 y 8 semanas de *Junellia spathulata*. Medias con una letra común verticalmente no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La efectividad de BAP sobre KIN radicaría en la capacidad de proliferación de brotes, dado a sus efectos en el rompimiento de la dominancia apical e inducción de la proliferación de yemas axilares en explantes cultivados in vitro: Además, el BAP es una citoquinina que los tejidos vegetales metabolizan de manera más eficiente que otros reguladores hormonales sintéticos (Delgado y Sánchez, 2014).

En cuanto al largo de brotes a las 4 semanas no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. A las 8 semanas se obtuvo interacción entre los factores BAP y KIN, ya que se observó una mayor respuesta en los tratamientos donde se utilizó la combinación de las dos citoquininas, obteniéndose una mejor respuesta en el tratamiento donde se utilizó la mayor concentración de BAP en combinación con KIN (2 mg L^{-1} BAP + $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ KIN), con una longitud de brotes promedio de 2,02 cm.

Caracterización de color en *P. coerulea*

Composición Antociánica. En el cromatograma tipo realizado mediante HPLC-DAD (520 nm) se obtuvo el perfil de antocianos de extractos de *P. coerulea*. En el cromatograma tipo por HPLC-DAD (280 nm) obtenido mediante análisis de HPLC (Figura 3) fue posible identificar aldehídos benzoicos como la p-vainillina (*peak* 1), ácidos hidroxicinámicos como los ácidos p-cumárico y ferúlico (*peaks* 2 y 3 respectivamente), compuestos flavonoides derivados de la quercetina, miricetina y kaempferol (*peaks* 4-11) y Di-OH-flavonol (picos 12 y 13).

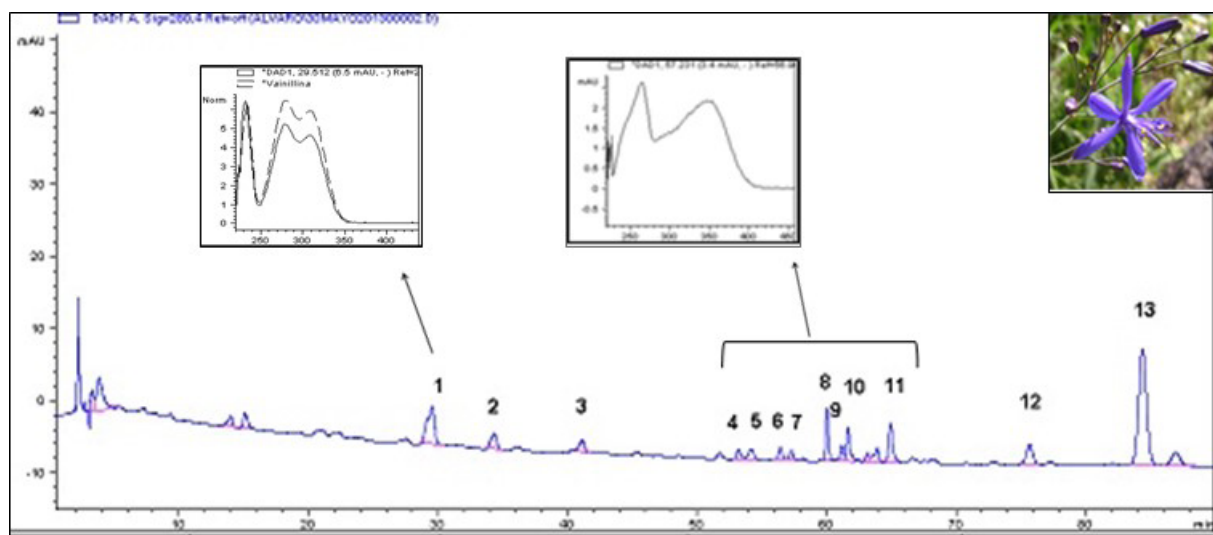


Figura 3. Cromatograma tipo obtenido por medio de HPLC-DAD de tépalos de *Pasithea coerulea*. Los compuestos identificados son: p-vainillina (1), ácido p-cumárico (2), ácido ferúlico (3), flavonoides derivados de quercetina, miricetina y kaempferol (4-11) y Di-OH-flavonol (12 y 13).

Los resultados de absorbancia obtenidos por medio del espectrofotómetro para las longitudes de onda 420, 520, 620 nm fueron 0,1370, 0,3646, 0,6177, respectivamente. Se puede apreciar que existe mayor valor de absorbancia para longitud de onda de 620 nm, que se relaciona con el color azul del espectro reflejado, seguido de 520 nm, relacionado con el color rojo y por último compuestos de bajo peso molecular que presentaron la absorbancia con la longitud de onda de 420 nm relacionada con la radiación reflejada que expresa el color amarillo (Taiz *et al.*, 2006).

Por último, para la determinación de color mediante la carta de colores se obtuvo una mayor frecuencia (33 flores) para el color azul violeta (RHS 94A).

CONCLUSIONES

La domesticación y caracterización de especies nativas con potencial ornamental es el primer paso para comenzar con programas de mejoramiento genético de estas especies. Por medio de los estudios realizados se estableció un protocolo eficaz y rápido de propagación por medio de semillas de *P. coerulea*, utilizando un método combinado de estratificación (4°C) y escarificación (H_2SO_4 o lavado). En *S. sinuata*, la condición de luz es más favorable para la germinación, así como altas concentraciones de AG_3 , lo que puede tener clara relación con las bajas temperaturas a las que se ve expuesta en su hábitat durante el invierno. En cuanto a *M. linearifolia*, la evaluación realizada no es suficiente para llegar a una conclusión de los resultados obtenidos, es posible que se requiera utilizar otros métodos, como por ejemplo dosis más elevadas de AG_3 , o con el fin de domesticar la especie utilizar individuos clonales. En el caso de *S. hookeri*, los resultados obtenidos en este estudio son una primera aproximación a un método de propagación masiva para la especie. En *J. spathulata*, si bien no se lograron resultados favorables para la propagación de semillas, y se deben realizar mayores estudios al respecto, sí se obtuvo un resultado favorable para establecer un sistema de propagación in vitro a partir de segmentos nodales, mediante la acción combinada de BAP y KIN. Por último, según el análisis realizado se pudo determinar por un lado la composición antocianica de *P. coerulea*, además de otros compuestos de bajo peso molecular asociados, los cuales podrían ser copigmentos. Dado el resultado de la absorbancia existiría relación entre ellos y antocianos que actúan directamente en el color de las flores, específicamente el espectro que refleja el color de azul a violeta de *P. coerulea*. Si bien existen diversos factores que aún se deben estudiar para lograr la domesticación de especies nativas, los protocolos de propagación obtenidos permitirán establecer un banco de germoplasma para continuar las investigaciones con miras al mejoramiento genético de estas especies.

AGRADECIMIENTOS

CONICYT N.º 77777, FONDECYT de Iniciación N.º 11130325, ANID. Gobierno de Chile. Programa U-inicia, Vicerrectoría de Asuntos Académicos, Universidad de Chile.

REFERENCIAS

ALONSO, S.; NUCIARI, M.; GUMA, I.; VAN OLPHEN, A. 2009. Flora of an area of the Sierra La Barrosa (Balcarce) and phenology of species with ornamental potential. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo 41(2), 23-44.

- AROS, D.; SPADAFORA, N.; VENTURI, M.; NÚÑEZ- LILLO, G.; MENESES, C.; METHVEN, L. 2015. Floral scent evaluation of segregating lines of *Alstroemeria caryophyllaea*. *Scientia Horticulturae* 185, 183-192.
- AROS, D.; GARRIDO, N.; RIVAS, C.; MEDEL, M.; MÜLLER, C.; ROGERS, H.; ÚBEDA, C. 2020. Floral scent evaluation of three cut flowers through sensorial and gas chromatography analysis. *Agronomy* 10(1), 131.
- ATARÉS A. 2007. El cultivo in vitro de plantas: ventajas y aplicaciones. Jornadas de divulgación científica. Valencia, España: Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas, Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.scribd.com/doc/16584088/Tecnicas-de-cultivo-in-vitro-de-plantas>, verificado 02/12/2020.
- DELANOY, M.; VAN DAMME, P.; SCHELDEMAN, X.; BELTRAN, J. 2006. Germination of *Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey, *Passiflora tricuspid* Mast. and *Passiflora nov* sp. seeds. *Scientia Horticulturæ* 110(2), 198-203.
- DELGADO, L.; SÁNCHEZ, R. 2014. Clonal multiplication in vivo and in vitro of the native forest species *Aniba perutilis* Hemsl. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. *Acta Agronómica* 65(2), 190-196.
- DOLL, U.; FREDES, V.; SOTO, V. 2013. Efecto de distintos tratamientos pregerminativos sobre la germinación de seis especies nativas de la región mediterránea de Chile. *Idesia, Arica* 31(3), 71-76.
- ELLIS, R., HONG, T.; ROBRECHTS, E. 1985. Handbook for seed technology for genebanks. Vol. 2: Compendium of specific germination. Information and test recommendation. Rome, Italy: International Board for Plant Genetic Resources. 715 p
- GONZÁLEZ, M. 1998. Estudios de domesticación de Azulillo *Pasithea coerulea* (R. et P.) D. Don. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 48 p.
- HOFFMANN, A. 1998. Flora Silvestre de Chile, zona central. 3ra ed. Santiago, Chile. Fundación Claudio Gay. 255p.
- MARTICORENA, C. 1990. Contribución a la estadística de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 47(3-4), 85-113.
- MUÑOZ, C. 1966. Sinopsis de la Flora Chilena. Claves para la identificación de familias y géneros. 2.º ed. Santiago, Chile: Editorial Universidad de Chile. 176 p.
- MUÑOZ, M. 1985. Flores del Norte Chico. 2.º ed. Santiago, Chile: Editorial Dirección de Bibliotecas Archivos y Museos. 24 p.

- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum* 15(3), 473-497.
- NAVAS, L. 1973. Flora de la Cuenca de Santiago de Chile. 1.º ed. Santiago, Chile. Ediciones de la Universidad de Chile y Editorial Andrés Bello. 301 p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile). 2014. Boletín de flores: precios y comercio exterior mayo 2014. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2014/05/boletinflores_mayo2014.pdf, verificado 02/12/2020.
- PALAZÓN, J.; CUSIDÓ, R.; MORALES, C. 2001. Metabolismo y significación biológica de los polifenoles del vino. *ACE: Revista de Enología* 9,1.
- PERALTA, P.; MÚLGURA DE ROMERO, M.; DENHAM, S.; BOTTA S. 2008. Revisión del Género *Junellia* (*Verbenaceae*). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 95, 338-390.
- PIERIK, R. 1997. In Vitro Culture of Higher Plants. 4.º ed. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 348 p.
- RIEDEMANN, P.; ALDUNATE, G.; TEILLIER, S. 2014. Arbustos nativos de la zona centro-sur de Chile. Guía de Campo. 1.º ed. Concepción, Chile. Ed. Corporación Chilena de la Madera, 308 p.
- SALDÍAS, G. 2009. Las especies ornamentales como factor de identidad regional en Chile. *Chloris Chilensis*. Año 12; N.º 1. <http://www.chlorischile.cl/ARBOLIDENTIDADSALDIAS/SALDIAS%20Identidad%20Regional%20Corregido.htm>, verificado 09/12/2020.
- SCHIAPPACASSE, F.; PEÑAILILLO, P.; YAÑEZ, P. 2002. Propagación de bulbosas chilenas ornamentales. 1.º ed. Talca, Chile: Editorial Universidad de Talca. 65 p.
- SCOTT, S.; JONES, R.; WILLIAMS W. 1984. Review of Data Analysis Methods for Seed Germination. *Crop Science* 24(6), 1192-1199.
- STRACK, D., WRAY, V. 1994. The Anthocyanins. En: HARBORNE, J. B. *The Flavonoids: Advances in Research*. Londres, Inglaterra. Editorial Chapman and Hall, pp.135-158.
- SUN, Y.; ZHANG, Y.; WANG, K. 2006. NaOH Scarification and Stratification Improve Germination of *Iris lacteal* var. *chinensis* Seed. *Hort Science* 41(3), 773-774.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. 2006. Fisiología vegetal. Tomo 1. 3º ed. Castellón, España. Editorial Universitat Jaume I, 576 p.
- ZHOU, Z.; BAO, W.; WU, N. 2009. Dormancy and germination in *Rosa multibracteata* Hemsl. & E. H. Wilson. *Scientia Horticulturae* 119(4), 434–441.

ESPECIES FORESTALES ORNAMENTALES EN PARAGUAY

Maura Isabel Díaz Lezcano¹, Cynthia Carolina Gamarra Lezcano², Maura Lezcano Acosta²

¹ Carrera de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Investigadora Categorizada Nivel 1 PRONII, CONACYT, Paraguay

² SIPyC Consultores

¹ Autor para correspondencia: maura.diaz@agr.una.py

RESUMEN

Los recursos genéticos vegetales provenientes de los bosques para uso ornamental constituyen elementos importantes en los paisajes urbanos de todas las ciudades de Paraguay. En este sentido, adornando las calles, paseos, avenidas, jardines, plazas y parques se encuentran diversas familias botánicas epífitas y terrestres como las *Bromeliaceae*, Karaguatá (*Bromelia balansae*) y clavel del aire (*Tillandsia* spp) y *Orchidaceae* (*Oncidium* spp), especies perennes herbáceas como las *Heliconiaceae* (*Heliconia* sp), enredaderas de tipo arbustivo como las pertenecientes a las *Nyctaginaceae* (*Bougainvillea spectabilis*). Las *Poaceae*, como el bambú (*Guadua* sp) y las *Arecaceae*, el mbokaja (*Acrocomia aculeata*) constituyen complementos de diseño de exteriores en centros comerciales. Los árboles ornamentales que son aquellos que se cultivan por la belleza de sus flores, follaje y tronco, o por lo llamativo de sus frutos, y a diferencia de otras especies, otorgan a las estancias un efecto de confort y equilibrio, vinculándolas con la naturaleza. Bien utilizados, añaden perfección y lujo a los diseños arquitectónicos. Por la singularidad de flores de diversos colores como los lapachos (*Handroanthus* spp) que desprende una explosión de matices que van desde el blanco, amarillo y rosados. Por la peculiaridad de su porte embudibiliforme como es el caso del samu'u (*Ceiba chodatii*), otros como el pino Paraná (*Araucaria angustifolia*) cuya forma de la copa aparasolada es semejante a un candelabro. Los algarrobos (*Prosopis* spp) son escogidos debido a la gran cobertura de copa que poseen y la naranja hai (*Citrus aurantium*) muy apreciada por sus frutos con su bonito azahar y su exquisito aroma. En las especies siempreverdes las coníferas son apreciados los pinos (*Pinus* spp) y los cipreses (*Cupressus* spp). En los campos santos es muy habitual ver *Salicaceae* como los sauces (*Salix humboldtiana*). La composición florística de las especies forestales de uso ornamental en plazas y parques de Paraguay muy variada, siendo las especies de las familias *Fabaceae*, *Bignoniaceae* y *Arecaceae* las más representativas.

Palabras clave: forestal, ornamental, Paraguay.

ABSTRACT

Plant genetic resources from forests for ornamental use constitute important elements in the urban landscapes of all the cities of Paraguay. They represent an important component in the conservation of plant genetic resources, a mitigator of greenhouse gases, regulation of temperature and noise, preservation of biodiversity, the evocation of memories associated with landscapes, a source of inspiration for artists, a way out commercial for the production chain associated with activities such as gardening and landscaping. In this sense, adorning the streets, promenades, avenues, gardens, squares and parks are various epiphytic and terrestrial botanical families such as the *Bromeliaceae*, Karaguatá (*Bromelia balansae*) and *Orchidaceae* (*Oncidium* spp), herbaceous perennial species such as *Heliconiaceae* (*Heliconia* sp) Shrub-like vines such as those belonging to *Nyctaginaceae* (*Bougainvillea spectabilis*). *Poaceae*, such as bamboo (*Guadua* sp) and *Arecaceae*, mbokaja (*Acrocomia aculeata*) are complements of exterior design in shopping centers. The ornamental trees that are those that are cultivated for the beauty of its flowers, foliage and trunk, or for the striking of its fruits, and unlike other species, ornamental trees give the rooms an effect of comfort and balance, linking them with nature. Well used, they add perfection and luxury to architectural designs. For the uniqueness of flowers of various colors such as lapachos (*Handroanthus* spp) that gives off an explosion of nuances ranging from white, yellow and pink. Due to the peculiarity of its embudibilibiform bearing as is the case of the samu'u (*Ceiba chodatii*), others such as the Paraná pine (*Araucaria angustifolia*) whose shape of the sun-kissed crown is similar to a chandelier. The mesquite (*Prosopis* spp) are chosen due to the great crown coverage they have and the hai orange (*Citrus aurantium*) highly appreciated for its fruits with its beautiful orange blossom and its exquisite aroma. In evergreen conifers, pines (*Pinus* spp) and cypresses (*Cupressus* spp) are appreciated. In the holy fields it is very common to see *Salicaceae* species like willows (*Salix humboldtiana*). The floristic composition of the forest species for ornamental use in squares and parks in Paraguay is very varied, with the species from the *Fabaceae*, *Bignoniaceae* and *Arecaceae* families being the most representative.

Keywords: ornamental, forest, Paraguay.

INTRODUCCIÓN

Paraguay está situado en el centro de América del Sur, entre las latitudes 19° 18' y 27° 31' S y los meridianos 54° 15' y 62° 38' W. El Trópico de Capricornio pasa casi por la parte media de su territorio. Paraguay limita al norte con Brasil y Bolivia, al este con Brasil y Argentina, al sur con Argentina y al oeste con Bolivia y Argentina. La superficie total del país es de 406750 km².

El clima del Paraguay es tropical a subtropical, con temperatura media de 22 °C; presenta una gran variabilidad climática, húmedo mesotermal, con índices máximos de humedad en los departamentos de Alto Paraná, Itapúa y Canindeyú, limítrofes con Brasil y Argentina. La

mayor parte de las precipitaciones del país son de tipo convectivo. La variación espacial de la precipitación media anual es muy fuerte. Las isohietas tienen sentido meridional y varían desde un mínimo de 400 mm en el noroeste del Chaco a más de 1700 mm en el este de la Región Oriental, cuatro veces más de un extremo del país al otro. Las precipitaciones también tienen una gran variación estacional (FAO, 2015).

Según Lima *et al.* (1994), un área verde es todo espacio con predominio de vegetación arbórea, englobando plazas, jardines públicos y parques urbanos. También incluyen los prados y jardines de bandejones centrales en vías públicas.

Las áreas verdes urbanas son todos aquellos espacios de propiedad y acceso público, que se caracterizan por una alta cobertura de vegetación ya sea naturales o implantadas, como los parques, las zonas boscosas y las áreas naturales. Estas áreas pueden o no estar diseñadas o planificadas, o tener un carácter más natural. En general, son espacios destinados al esparcimiento y reposo.

Según Schipperijn *et al.* (2010), áreas verdes urbanas son todos aquellos espacios de propiedad y acceso público, que se caracterizan por un alto grado de cobertura vegetal como parques, zonas boscosas y áreas naturales. Estas áreas pueden o no estar diseñadas o planificadas, o tener un carácter más natural. En general, son espacios destinados al esparcimiento y reposo. Desempeñan una función importante en el mejoramiento de la calidad del ambiente urbano, considerando la cobertura vegetal, además de los múltiples beneficios ecológicos, destacándose: la reducción de la intensidad de las islas de calor (Akbari y Konopacki, 2005), el secuestro de CO₂ y la reducción de la contaminación del aire (McPherson, 1998; McPherson y Simpson 1998; Nowak *et al.*, 2006).

Según Ballaster y Morata (2003), existen varias clasificaciones de espacios verdes urbanos, en las cuales se observan disparidad de criterios. Esta clasificación incluye arbolado de acompañamiento diario, arbolado de alineación, arbolado en calles peatonales, jardines de acompañamiento, jardines entre edificios de viviendas, bulevares, jardines de hospitales, jardines de escuelas, cementerios-parque, jardines zoológicos, jardines botánicos, parques urbanos, parques regionales o metropolitanos, plazas y plazoletas.

Los parques urbanos son áreas de cierto tamaño no abarcable con la vista, con árboles y prados, con aspecto de bosque o selva según la ubicación geográfica, utilizadas por los ciudadanos de algunos barrios o de toda la ciudad para distintos usos: lugar de encuentro y descanso, práctica de deportes, juegos infantiles, con obras de arte, espejos de agua, instalaciones deportivas y recreativas. Funcionan como reguladores ambientales.

Los parques regionales o metropolitanos son grandes espacios verdes con amplias arboledas y abundante sombra, vinculantes de grandes centros urbanos, que cubren necesidades de fin de semana. Tienen por lo general complejos polideportivos, espejos de agua, recorridos de aventuras, lugares para acampar, etc.

Las plazas son espacios verdes abarcables con la vista, generalmente de una a cuatro manzanas o hectáreas, con contornos definidos y limitados generalmente por calles. Son apropiadas para la circulación, la recreación pasiva con lugares de estar, con árboles y arbustos distribuidos para fomentar reuniones y juegos de niños. Algunas tienen lugares de actividades cívicas por la cercanía de edificios públicos y quiosco de retreta. En general sus diseños son independientes del tránsito peatonal y vehicular, de las calles que las rodean.

Las plazoletas son pequeñas superficies verdes, menores de una hectárea, generalmente ubicadas en las esquinas de manzana o partes de manzanas irregulares, muchas veces son prolongaciones de los circuitos peatonales.

Los árboles son esenciales para mejorar el clima creando un microclima agradable alrededor de ellos. Los árboles estratégicamente colocados pueden reducir la temperatura del aire de entre 2 a 8 °C además de que pueden reducir la necesidad de uso energético de hasta el 30% en las casas y edificios que resguardan (McDonald *et al.*, 2016).

Los árboles ornamentales son aquellos que se cultivan por la hermosura de sus flores, follaje y tronco, o por lo llamativo de sus frutos. Existen una gran variedad, y se emplean para dar vida y belleza a jardines, plazas, avenidas, parques, y cualquier proyecto paisajístico.

Los árboles son elementos arquitectónicos del paisaje urbano. Los árboles, por sus características propias, presentan un gran potencial para ofrecer atributos de calidad a los espacios, públicos y privados, abiertos. Las formas estructurales naturales de los árboles, por su altura y corpulencia, permiten dividir y jerarquizar espacios, alcanzando a crear una imagen y organización urbanas únicas con valores naturales. Conjuntamente, son elementos dinámicos que se transforman continuamente a través de su fenología, con lo cual nos ofrecen, a lo largo del año, una variedad de texturas, coloración y densidad de follaje, presencia de flores y frutos, transformando estacionalmente la apariencia de un mismo lugar.

Otras finalidades de plantar árboles son resaltar un panorama, servir de fondo, suavizar las líneas de edificios, recubrir un área deforestada o servir como realce alrededor de edificios o monumentos, cubrir una pendiente en un camino para protegerla de la erosión, proveer sombra en áreas desarrolladas. Cualquiera que sea el propósito, la selección de especies debe ser la adecuada para una determinada área, cumpliendo, además, los principios básicos de forma, tamaño, color y textura que deben de armonizar con el ambiente. Asimismo, con los árboles, gracias a la diversidad de especies, con variedad en formas, tamaños, texturas y volúmenes, se puede experimentar de múltiples maneras para eliminar las formas abstractas y monótonas de las construcciones y calles de la ciudad (Flores, 2005).

Los recursos genéticos vegetales provenientes de los bosques representan un componente importante en la conservación como bancos de germoplasma, mitigador de gases de efecto invernadero, regulación de la temperatura y ruidos, preservación de la biodiversidad, la evocación de los recuerdos asociados a paisajes, fuente de inspiración para los artistas, una salida comercial para la cadena productiva asociada a actividades como jardinería y paisajismo.

La importancia de la presente investigación radica en la necesidad de contar con la descripción de la composición florística de especies forestales de uso ornamental en Paraguay a fin de ser utilizada como herramienta en planificación urbana.

El objetivo de esta investigación fue determinar la composición florística de especies forestales de uso ornamental de Plazas y Parques de diversas ciudades de la República del Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada fue exploratoria y descriptiva. Previo al trabajo de campo, se recopiló, analizó y evaluó la información existente sobre el área de estudio, consecutivamente se efectuó el reconocimiento del mismo que comprenden la ubicación de las plazas y los parques de 7 Municipios de la República del Paraguay, siendo las 6 primeras ciudades pertenecientes a la Región Oriental y la última de la Región Occidental, en un periodo comprendido entre el 2018 y el 2020.

Se realizó el inventario de las especies forestales maderables y no maderables con fines ornamentales en 61 plazas (Italia, De los desaparecidos, De la libertad, De los héroes, Uruguay, De la democracia, Plaza Asunción, De las Américas, Manuel Ortiz Guerrero y José Asunción Flores, Batallón 40, Mburicao, Celsa Speratti, Teniente Cesar Lemos Maldonado, Los laureles, Hogar Centra, Carancho, Agricultor paraguayo, Madres paraguayas, Vidal Sánchez, Infante Rivarola, De las Armas, Juan E O'Leary, De la independencia, Eligio Ayala, Batallón Mariscal López, Constitución, Pedro Juan Caballero, República del Perú, Defensores del Chaco, Naciones Unidas, Héroes del Chaco, De las Residentas, Hugo Pistilli, Valenzuela, Profesor Herminio Giménez, Olímpica, Luis María Argaña, 34 Curuguateños, España, Walt Disney, Julio Cesar Franco, De la Justicia, Mirador Recoleta, Bolivia, Mujer paraguaya, Carmen de Lara Castro, Villa Campeona, Plazoleta Sargento Gauto, De los Comuneros) y parques de Asunción (Pavetti, Urbano, Ñu Guazú, Solidaridad, Carlos Antonio López, De la Victoria, Bernardino Caballero, De la Salud, La Costanera, Seminario, Jardín Zoológico y Botánico, Guazú Metropolitano), 3 plazas de Fernando de la Mora (De las madres, De la amistad, De la salud), 2 de San Lorenzo (Marcelina Insfrán, Cerro Cora), 2 de Capiatá (La Cumbre, Capiatá), 1 de Katueté (María Auxiliadora), 1 Curuguaty (34 Curuguateños), 2 de Encarnación (De Armas, Mariscal López), 1 de Salto del Guaira (De las Madres), 1 de San Juan Bautista (Boquerón), 1 de Pedro Juan Caballero (Pedro Juan Caballero), 1 de Santaní (Coronel Vicente Mongelós), 1 de Caacupé (Teniente Fariña) y 1 de Filadelfia (Filadelfia), totalizando 80 unidades de estudio.

Se efectuó la caracterización e identificación observando las características dendrológicas y taxonómicas como tipo y forma y disposición de hojas, presencia de glándulas, tricomas, flores, estipulas, espinas, pubescencia, frutos, tallo, estípote, tronco porte y otros elementos

citados en las claves de identificación conforme a la literatura de referencia. La nomenclatura científica de las especies identificadas fue actualizada mediante la base de datos del Instituto de Botánica Darwinion, Flora del Cono Sur y la Base de Datos Trópicos del Missouri Garden.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron registradas 29 familias, 61 géneros y 67 especies de árboles y arbolitos forestales ornamentales, de las cuales 60% son nativas, cuyo detalle se describe en la Tabla 1.

Las características y potenciales ornamentales de las especies forestales nativas fueron descriptas por López *et al.* (1987); Ortega Torres *et al.* (1989); Pérez de Molas, (2016); Peña *et al.* (2006); McDonald *et al.* (2016) y Rob *et al.* (2016).

Tabla 1. Composición florística de especies forestales ornamentales presentes en Plazas y Parques en el área de estudio de la República del Paraguay.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Procedencia
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i> sp	Mango	Introducida
Annonaceae	<i>Rollinia emarginata</i>	Aratiku'i	Nativa
	<i>Tabernaemontana</i>		
Apocynaceae	<i>catharinensis</i> .	Sapirangy	Nativa
	<i>Plumeria rubra</i>	Jazmín magno	Introducida
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	Pino Paraná	Nativa
	<i>Acrocomia aculeata</i>	Cocotero/mbokajá	Nativa
Arecaceae	<i>Copernicia alba</i>	karanda y	Nativa
	<i>Roystonea regia</i>	Palmera real	Introducida
	<i>Chamaedorea elegans</i>	Palmera de salón	Introducida
	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lapacho negro con floración rosada	Nativa
	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lapacho negro con floración blanca	Nativa
	<i>Handroanthus pulcherrimus</i>	Lapacho rosado	Nativa
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Lapacho amarillo	Nativa
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Nativa
	<i>Tabebuia aurea</i>	Paratodo	Nativa
	<i>Spathodea campanulata</i>	Tulipán de la India	Introducida
	<i>Tecoma stans</i>	Tecoma	Introducida
Boraginacea	<i>Cordia glabrata</i>	Guajayvi	Nativa

Familia	Nombre científico	Nombre común	Procedencia
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia catappa</i>	Sombrilla de playa	Introducida
<i>Cupressaceae</i>	<i>Cupressus</i> spp	Ciprés	Introducida
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Sapium haematospermum</i>	Kurupika y	Nativa
	<i>Amburana cecaerensis</i>	Trébol	Nativa
	<i>Bauhinia variegata</i>	Lluvia de orquídeas	Introducida
	<i>Calliandra foliolosa</i>	Niño Azote	Nativa
	<i>Erythrina crista-galli</i>	Ceibo	Nativa
	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	Introducida
	<i>Tipuana tipu</i>	Tipa	Introducida
	<i>Albizia niopoides</i>	Yvyra ju	Nativa
	<i>Inga vera</i>	Inga	Nativa
<i>Fabaceae</i>	<i>Pterogyne nitens</i>	Yvyraro	Nativa
	<i>Laburnum anagyroides</i>	Lluvia de oro	Introducida
	<i>Delonix regia</i>	Chivato	Introducida
	<i>Caesalpinia</i> spp	Sivipiruna	Introducida
	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Kurupa'y kuru	Nativa
	<i>Peltophorum dubium</i>	Yvyra pyta	Nativa
	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Kurupa'y ra	Nativa
	<i>Prosopis alba</i>	Algarrobo blanco	Nativa
	<i>Prosopis nigra</i>	Algarrobo negro	Nativa
	<i>Samanea tubulosa</i>	Manduvira	Nativa
<i>Lamiaceae</i>	<i>Vitex megapotamica</i>	Taruma	Nativa
<i>Lauraceae</i>	<i>Nectandra</i> sp	Laurel	Nativa
<i>Malvaceae</i>	<i>Ceiba</i> sp	Samu'u	Nativa
<i>Meliaceae</i>	<i>Melia azedarach</i>	Paraíso	Introducida
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus enormes</i>	Guapo'y morotí	Nativa
	<i>Eucalyptus</i> spp	Eucalipto	Introducida
	<i>Hexachlamys edulis</i>	Yvhai	Nativa
	<i>Eugenia uniflora</i>	Ñangapiry	Nativa
<i>Myrtaceae</i>	<i>Plinia cauliflora</i>	Yvapuru	Nativa
	<i>Myrtus</i> spp	Mirto	Introducida
	<i>Syzygium cumini</i>	Mbopi namichai/ Jambolán	Introducida
	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Introducida
<i>Paulowniaceae</i>	<i>Paulownia tomentosa</i>	Kiri	Introducida
<i>Polygonaceae</i>	<i>Triparis gardneriana</i>	Villetana	Introducida
<i>Pinnaceae</i>	<i>Pinus</i> spp	Pino	Introducida
<i>Proteaceae</i>	<i>Grevillea robusta</i>	Grevilea	Introducida
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Hovenia dulcis</i>	Hovenia	Introducida

Familia	Nombre científico	Nombre común	Procedencia
Rosaceae	<i>Eryobotria japonica</i>	Níspero	Nativa
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	Ñandypa guazu	Nativa
	<i>Citrus limon</i>	Limón	Introducida
Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i>	Mandarina	Introducida
	<i>Citrus aurantium</i>	Naranja hai	Introducida
Salicaceae	<i>Salix humdboliana</i>	Sauce	Introducida
	<i>Allophylus edulis</i>	Koku	Nativa
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	Casita	Nativa
	<i>Melicocus lepidopetalus</i>	Yvapovo	Nativa
	<i>Matayba</i> spp	Jaguarata'y	Nativa
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i>	Amba'y	Nativa

Tal como se puede observar en la Figura 1, la mayor parte de las especies forestales nativas e introducidas utilizadas en la arborización de Plazas y Parques de Paraguay son de origen nativo.

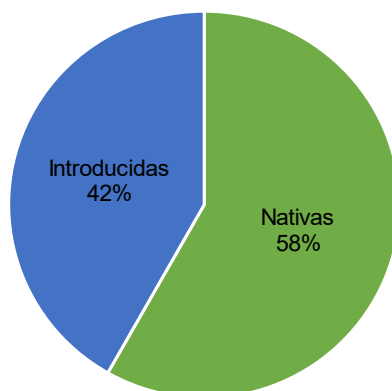


Figura 1. Especies forestales nativas e introducidas utilizadas en la arborización de plazas y parques de Paraguay.

Dentro de las especies forestales no maderables fueron identificadas especies de *Bromeliaceae* como *Karaguatá* (*Bromelia balansae*) y clavel del aire (*Tillandsia* spp) y *Orchidaceae* (*Oncidium* spp), especies perennes herbáceas de *Heliconiaceae* (*Heliconia* sp), enredaderas de tipo arbustivo como las pertenecientes a las *Nyctaginaceae* (*Bougainvillea spectabilis*) y las *Poaceae*, como el bambú (*Guadua* sp).

La conservación de estas áreas debe realizarse de manera apropiada, teniendo en cuenta las actividades urbanas y obras de desarrollo que podrían alterar el ambiente natural. Las medidas de restauración, compensación y mitigación deben ir de la mano en cada actividad u obra que

se realicen dentro o cerca de ellas, teniendo siempre en cuenta criterios técnicos para que la arborización cumpla realmente con sus funciones, como por ejemplo la de purificador de agentes contaminantes en las ciudades y los aportes asociados al clima.

Según MADES/PNUD/FMAM (2019) en el Jardín Botánico y Zoológico de Asunción se encuentra uno de los últimos remanentes de bosque nativo del Área Metropolitana de Asunción (AMA) y en éste pueden verse algunas especies típicas de los bosques riparios de la cuenca del río Paraguay y Paraná como por ejemplo: taruma (*Vitex megapotamica*), yvapovo (*Melicoccus lepidopetalus*), ñandypa guasu (*Genipa americana*); así como algunas de las especies leñosas típicas de los bosques estacionales más australes: kurupa'y kuru (*Anadentanthera colubrina*), jukyry vusu (*Pisonia zapallo*), yvyra ju (*Albizia niopoides*) junto a las más occidentales del Bosque Atlántico del Alto Paraná–BAAPA: inga'í (*Inga marginata*) pykasu rembí'u (*Chrysophyllum marginatum*); cedrillo (*Trichilia palida*).

Además, se pueden observar leñosas del Chaco húmedo como el labón (*Tabebuia nodosa*), *Coccoloba* sp; *Capparis* sp y de los bosques-matorrales de las sabanas arboladas tatara (*Chloroleucon tenuiflorum*), ñanduvay (*Prosopis affinis*) sapirangy (*Tabernaemontana catharinensis*). Otra área que mantiene gran parte de su cobertura boscosa natural es el Cerro Lambaré, en donde dominan elementos del bosque estacional, principalmente el kurupa'y kuru (*A. colubrina*). Además, en el AMA existen todavía algunas formaciones naturales de leñosas en zonas inundables y riparias que mantienen algunas de las especies nativas locales, como por ejemplo el área de influencia del río Salado, que incluye especies de las sabanas hidromórficas del Chaco húmedo, como los palmares de karanday (*Copernicia alba*), junto con leñosas de los humedales como jakare pito (*Aporosella chacoensis*), yvyra ne (*Microlobius foetidus*) y kurupika'y (*Sapium haematospermum*).

La arborización adecuada en las ciudades ayuda a mantener el rol ecológico asociado a los animales silvestres urbanizados. Hay que tener en cuenta que mientras más árboles haya en una ciudad, los animales asociados a ellos podrán desarrollarse y reproducirse causando menos daños a la infraestructura urbana, como casas, edificios, etc.

Los resultados del potencial de este eje estratégico muestran que actualmente la superficie total de áreas verdes de Asunción es de 23.396.490,62 m² y hacen que se tenga 45,38 m² de área verde por habitante (público y privado); de donde el área verde pública en Asunción es de 26,03 m² por habitante y 19,35 m² de áreas verdes privadas, siendo lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud entre 10 a 12 m² de áreas verdes por habitante (MADES/PNUD/FMAM, 2019).

Además del uso ornamental de las especies con distribución en varias ciudades del Paraguay, más arriba mencionadas, se destaca su empleo multipropósito como es comestibles, medicinales, maderables, industrial y forrajero, el cual se presenta a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Usos adicionales comunes de las especies inventariadas además del ornamental.

Nombre científico	Nombre común	Uso adicional
<i>Mangifera</i> sp	Mango	Comestible
<i>Rollinia emarginata</i>	Aratiku'i	Medicinal
<i>Araucariaceae</i>	Pino Paraná	Maderable
<i>Acrocomia aculeata</i>	Cocotero/mbokajá	Comestible, industrial
<i>Handroanthus</i> sp	Lapacho	Maderable
<i>Cordia glabrata</i>	Guajayvi	Maderable
<i>Cupressus</i> spp	Ciprés	Maderable
<i>Amburana cecaerensis</i>	Trébol	Maderable
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	Forrajero
<i>Inga vera</i>	Inga	Comestible
<i>Pterogyne nitens</i>	Yvyro	Maderable
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Kurupa'y kuru	Maderable
<i>Peltophorum dubium</i>	Yvyra pyta	Maderable
<i>Parapiptadenia rígida</i>	Kurupa'y ra	Maderable
<i>Prosopis</i> spp	Algarrobo	Maderable
<i>Nectandra</i> sp	Laurel	Maderable
<i>Eucalyptus</i> sp	Eucalipto	Maderable
<i>Eugenia uniflora</i>	Ñangapiry	Comestible
<i>Plinia cauliflora</i>	Yvapuru	Comestible
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Comestible
<i>Pinus</i> spp	Pino	Maderable
<i>Grevillea robusta</i>	Grevilea	Maderable
<i>Eryobotria japonica</i>	Níspero	Comestible
<i>Citrus limon</i>	Limón	Comestible
<i>Citrus reticulata</i>	Mandarina	Comestible
<i>Citrus aurantium</i>	Naranja hai	Comestible
<i>Allophylus edulis</i>	Koku	Medicinal
<i>Cecropia pachystachya</i>	Amba'y	Medicinal

Entre las especies nativas del Paraguay hay vistosos arboles ornamentales de gran belleza. Algunas de las especies nativas y exóticas son: lapacho rosado (*Handroanthus impetiginosus*), lapacho amarillo (*Handroanthus albus*), jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*), chivato (*Delonix regia*), sombrilla de playa (*Terminalia catappa*), lapachillo (*Tecoma stans*).

Las especies más usadas como cercos vivos son: naranja amarga (*Citrus aurantium*), guayabo (*Psidium guayaba*), eucalipto (*Eucalyptus* spp), grevillea (*Grevillea robusta*), pino (*Pinus taeda* y *P. elliotti*) son comunes en los Departamentos de Alto Paraná e Itapúa. Algunas especies menores como malvavisco (*Hibiscus rosa-sinensis*), niño azote (*Calliandra tweedii*) y tacuara (*Guadua angustifolia*) también son muy utilizadas (Enciso, 2001).

Existen varias especies de la diversidad biológica local utilizadas ancestralmente de las diferentes ecorregiones con diferentes grados de extracción y representan importantes fuentes de alimentación de las poblaciones locales. Entre ellas se distinguen las especies arbóreas frutales nativas como *Psidium guajava*, *Acrocomia aculeata*, *Prosopis* spp (FAO, 2008).

De Egea Elsam *et al.* (2018) mencionan que *Annona emarginata* está bien representada y adaptada a ambientes modificados en el Paraguay.

CONCLUSIONES

La composición florística de especies forestales con fines ornamentales en plazas y parques de Paraguay es muy variada, siendo las especies de las familias *Fabaceae*, *Bignoniaceae* y *Arecaceae* las más representativas, asimismo su manejo constituye una herramienta fundamental que complementa los programas de planificación urbana y restauración paisajística.

REFERENCIAS

AKBARI, H. S.; KONOPACKI, S. 2005. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33:6, 721-756.

DE EGEA ELSAM, J.; CÉSPEDES G.; PEÑA-CHOCARRO, M.; MERELES, F.; ROLÓN MENDOZA, C. 2018. Recursos Fitogenéticos del Paraguay: Sinopsis, Atlas y Estado de Conservación de los Parientes Silvestres de Especies de Importancia para la Alimentación y la Agricultura (Parte I). *Rojasiana Serie Especial* 4, 1-228.

ENCISO, V. 2001. *Arboles fuera del bosque en Paraguay*. Santiago, Chile.

FAO. 2008. Informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación. Paraguay, estado de los recursos genéticos. Asunción, Paraguay. 104 p.

FAO. 2015. Núcleo de Base de Datos principal de AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FLORES, G.J.A. 2005. El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. Ciencia UANL. 8(1), 20-32.

LIMA, A.M.L.P.; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUSA, M.A.L.B.; FIALHO, N.; DEL PICCHIA, P.C.D. 1994. Problemas de utilização na Conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. En: Congreso Brasileiro sobre Arborizacao urbana, 2., 1994, São Luiz. Anais. São Luiz: EMATER/MA, 1994, p. 539-550.

LÓPEZ, J. A.; LITTLE, E. L.; RITZ, G. F.; ROMBOLD, J. S.; HANS, W. J. 1987. Árboles comunes del Paraguay “Ñande Yvyra mata Kuera”. Cuerpo de Paz, colección e intercambio de información. 425 pp.

MADES/PNUD/FMAM. 2019. Guía de Arborización Urbana para el Área Metropolitana de Asunción. Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”. Asunción, Paraguay. 114 p.

MCDONALD, R.; KROEGER, T.; BOUCHER, T.; LONGZHU, W.; SALEM, R. 2016. Planting Healthy Air. The Nature Conservancy. Virginia, Estados Unidos. 136 pp.

MCPHERSON, E. G. 1998. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24 (4), 215-223.

MCPHERSON, E. G.; SIMPSON, J. R. 1998. Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24 (4), 224-234.

NOWAK, D.; CRANE, D.; STEVENS, J. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry & Urban Greening 4 (4), 115-123.

ORTEGA TORRES, E., STUTZ DE ORTEGA, L.; SPICHIGER, R. 1989. Noventa especies forestales del Paraguay. Flora del Paraguay: Serie especial (3). Suiza, Ginebra.

PEÑA, M.; DE EGEA JUVINEL, J.; VERA, M.; MATURO, H.; KNAPP, S. 2006. Guía de árboles y arbustos del Chaco húmedo. Guyra Paraguay. Asunción, Paraguay. 291 pp.

PÉREZ DE MOLAS, L. 2016. Manual de Familias y Géneros de árboles del Paraguay. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). San Lorenzo, Paraguay. 216 pp.

SCHIPPERIJN, J. 2010. Influences on the use of urban green space - A case study in Odense, Denmark. Urban Forestry and Urban Greening 9 (1), 25-32.

CORDYLINE SP PARA USO COMO FOLLAJE ORNAMENTAL: CARACTERIZACIÓN Y POSCOSECHA

María de los Ángeles Rodríguez-Elizalde^{1*}; Vivian Loges²; Simone Santos Lira Silva²; Alejandro Alarcón³; Ronald Ferrera-Cerrato³; Mateo Vargas-Hernández¹ y Juan José Almaraz Suárez³

¹Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230. ²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900, Brasil. ³Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados. Km 36.5, Carr. México-Texcoco. Montecillo, Edo. de México. C.P. 56230.

*Autor para correspondencia: roelyma@gmail.com

RESUMEN

El género *Cordyline* comprende árboles y arbustos que presentan hojas que pueden medir hasta 40 cm, lanceoladas y de diversos colores (verde, rojo, amarillo, púrpura, crema, combinadas y en ocasiones jaspeadas o variegadas). Dada la diversidad de colores suelen utilizarse con fines ornamentales en la arquitectura del paisaje, como plantas para interiores y follaje de corte en arreglos florales. En el Estado de Pernambuco -Brasil- las condiciones climáticas de la región favorecen la floración y la obtención de flores y follajes de buen color, tamaño y calidad. Sin embargo, a pesar de la belleza de las hojas de *Cordyline* y de la facilidad que tienen para adaptarse a climas tropicales, pocas veces se utilizan como follaje ornamental debido al desconocimiento de la especie para dicho uso por lo que en el presente trabajo se realizó la caracterización y evaluación poscosecha de hojas de cinco variedades del género *Cordyline* para su uso en diseño floral, comercialización y posible exportación. Para ello se cosecharon 20 hojas de cinco variedades brasileñas (Cinza, Tricolor, Nevada, Mumbecas y Fiusha) que se limpiaron y describieron de acuerdo a su forma y color. Posteriormente diez se colocaron en espuma fenólica (Oasis®) humedecida con agua de grifo a una temperatura de 18 °C (Tratamiento Testigo) y diez en un pulso de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) al 5% por 14 h y al finalizar este tiempo también se colocaron en espumas fenólicas (Oasis®) con idénticas condiciones que el Testigo. Se midieron parámetros como largo, ancho, peso inicial, porcentaje de pérdida de peso (cada dos días), síntomas visuales de senescencia y duración poscosecha en espumas fenólicas. Los resultados se analizaron mediante la Teoría del Modelo Lineal General con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2015) y Comparaciones Múltiples de Medias usando la diferencia significativa honesta de Tukey con nivel de significancia al 5%. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre ancho, largo, peso inicial, así como también en el porcentaje de pérdida de peso. La vida poscosecha de Cinza y Mumbecas para ambos tratamientos, con y sin pulsado de sacarosa, fue de 18 días y de 12 días para Fiusha, mientras que las variedades Tricolor y Nevada incrementaron en dos días su vida poscosecha con adición de sacarosa. Además, independientemente de la variedad, las hojas que recibieron el pulsado presentaron menores signos visuales de senescencia (pérdida de color, enrollamiento

de hojas y necrosamiento) que las hojas no tratadas. Estos resultados permiten concluir que las hojas cortadas de las variedades locales de *Cordyline* sp presentan una prolongada vida poscosecha durante la cual mantienen su calidad estética, siendo un recurso económico muy interesante para los productores y también para los mercados nacionales e internacionales.

Palabras clave: sacarosa, vida en florero, hojas, decoración.

ABSTRACT

The *Cordyline* genus includes trees and shrubs that have leaves that can measure up to 40 cm, lanceolate and of various colors (green, red, yellow, purple, combined and sometimes mottled or variegated). Given the tonality and diversity of colors, they are often used for ornamental purposes in landscape architecture, as indoor plants and cut foliage in flower arrangements. In the State of Pernambuco -Brazil- the climatic conditions of the region favor flowering and the obtaining of flowers and foliage of good color, size and quality. However, despite the beauty of *Cordyline* leaves and the ease they have to adapt to tropical climates, they are rarely used as ornamental foliage. In this research, the characterization and postharvest evaluation of the leaves of five varieties of the *Cordyline* genus for use in floral design, commercialization and possible export was carried out. For this, 20 leaves of five local varieties (Cinza, Tricolor, Nevada, Mumbecas and Fiusha) were collected; which were cleaned and described according to their shape and color. Subsequently ten leaves were placed in floral foam (Oasis®) moistened with tap water at 18 °C (control treatment) and ten in a pulse of sucrose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) at 5% for 14 hours and at the end of this time also they were placed in phenolic foams (Oasis®) with identical conditions as the Control. Parameters such as length, width, initial weight, percentage of weight loss, visual symptoms of senescence and postharvest duration in phenolic foams were measured. The results were analyzed using General Linear Model Theory with the GLM procedure of SAS (SAS Institute, 2015), and Multiple Comparisons of Means using Tukey's honest significant difference with a significance level of 5%. The statistical analysis showed significant differences between width, length, initial weight as well as in the percentage of weight loss. The post-harvest life of Cinza and Mumbecas for both treatments, with and without sucrose pulse was 18 days and 12 days for Fiusha, while Tricolor and Nevada increased their post-harvest life by two days with the addition of sucrose. Regardless of the variety, the leaves that received the pulse showed less visual signs of senescence (loss of color, curly and necrosis) than the untreated leaves. These results allow to conclude that the cut leaves of the local varieties of *Cordyline* sp they have a long post-harvest life during which they maintain their aesthetic quality, being a very interesting economic resource for the producers and also for the national and international markets.

Keywords: sucrose, vase life, leaves, decoration.

INTRODUCCIÓN

En la horticultura ornamental el aprovechamiento de especies vegetales incluye flores de corte, follajes ornamentales y plantas de contenedor de diferentes tamaños, incluyendo árboles, arbustos y especies cubresuelos (Munguía Lino *et al.*, 2010). Sin embargo, debido a que es una industria cambiante que exige de novedades anuales para ofrecer a los consumidores, es necesaria la búsqueda de nuevas especies ornamentales que puedan ser de la preferencia del mercado mundial. Así, el desarrollo de variedades con fines ornamentales mediante el germoplasma nativo, basados en la experiencia de los productores e hibridadores locales quienes por décadas han seleccionado especies por su belleza y utilidad, constituyen una oportunidad para el progreso de países megadiversos en flora como Brasil, Colombia, Argentina y México (Botto y Mata, 2014; Munguía Lino *et al.*, 2010; Heiden *et al.*, 2006).

Dentro de los recursos genéticos se estima al menos 1.000 especies de follajes ornamentales que son utilizadas en el mundo con fines estéticos (Chen *et al.*, 2005; Chen y Henny, 2008). Dentro de esta categoría se incluye al género *Cordyline*, constituido por diversas especies pertenecientes a la familia *Asparagaceae* de gran similitud a las *Dracaenas*. El género *Cordyline* es originario de América del Sur, Nueva Zelanda, zonas de Asia, Nueva Guinea, las islas del Pacífico, Mauricio y Australia (Beever, 1986). Algunas de sus especies más conocidas son *C. australis*, *C. fruticosa*, *C. rubra* y *C. terminalis*.

De acuerdo a The International *Cordyline* Society (2020) existen 558 variedades registradas y comercializadas en el mundo, caracterizándose por presentar hojas vistosas de diferentes longitudes, colores y filotaxia, las que se utilizan en paisajismo, diseño de interiores y en jardines tropicales (Henschke *et al.*, 2016; EU Market survey, 2004; VBN, 2020).

En la zona Nordeste de Brasil existen las condiciones climatológicas y edafológicas adecuadas que favorecen a incrementar la calidad de diversas flores tropicales y follajes, por lo que para satisfacer la creciente demanda de consumo nacional e internacional es necesario buscar nuevas especies que puedan utilizarse dentro de la horticultura ornamental (Loges *et al.*, 2005). Así las hojas de *Cordyline* sp. constituyen una opción de expansión para la comercialización de follajes, ya que son llamativas y presentan diversos colores y tamaños, lo que las hace adecuadas para su uso dentro del diseño floral. No obstante, en el país existe poca información relacionada con las variedades locales, como es el caso de *Cordyline* sp, por lo que es necesario la caracterización, descripción y comportamiento poscosecha para su uso comercial.

Dentro de la literatura, autores como Favero *et al.* (2011) reportaron 21 días de poscosecha en *C. terminalis* mientras Espinosa *et al.* (2009) mencionaron que las hojas de *Cordyline* sp pueden tener una vida en florero de hasta 10 días dependiendo del manejo agronómico. En otras investigaciones se han utilizado reguladores de crecimiento como el ácido giberélico, citocininas y el sulfato de 8-hidroxiquinolina además del uso del tiosulfato de plata (STS)

como inhibidor del etileno en esta especie (Ferrante y Francini 2006; Subhashini *et al.*, 2011). También se han usado ceras y diversas temperaturas de almacenamiento para preservar las hojas (Favero *et al.*, 2011). Sin embargo, no se han encontrado resultados positivos ya que los productos antes mencionados implican gasto de recursos, son costosos y en algunos países se ha prohibido su uso debido a la toxicidad y daños al ambiente (Favero *et al.*, 2011). El objetivo del presente trabajo fue caracterizar y evaluar el comportamiento poscosecha de hojas cortadas de cinco variedades brasileñas del género *Cordyline* para su uso dentro del diseño floral, comercialización y posible exportación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron hojas de cinco variedades locales de *Cordyline* sp (Cinza, Mumbecas, Nevada, Tricolor y Fiusha) (Figura 1) las que se obtuvieron en un área de producción de flores y follajes tropicales (7 ° 56' S; 34 ° 55' W, 14 m s.n.m., Zona de la Selva Atlántica) ubicada en el municipio de Paulista (Pernambuco - Brasil).



Figura 1. Variedades locales de *Cordyline* sp cultivadas en Paulista, Pernambuco-Brasil y evaluadas en el experimento: A. Cinza; B. Mumbecas; C. Nevada; D. Tricolor y E. Fiusha.

Se cosecharon 20 hojas totalmente expandidas de cada variedad con características semejantes en longitud, tamaño y turgencia, las que se describieron de acuerdo a su forma y color mediante la carta de colores de la Royal Horticultural Society (2015). Además, se midió con regla metálica normalizada el largo y ancho en la parte media de la lámina.

Para la evaluación poscosecha, se uniformaron a 5 cm. el largo de los pecíolos, mediante corte neto a bisel con tijera. Diez hojas se colocaron en espuma fenólica previamente humedecidas con agua de grifo y drenadas (Sin Pulso, SP) y diez se colocaron en un pulso de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$, Química Moderna®) al 5% por 14 h (Con Pulso, CP). Al finalizar este tiempo también se colocaron en espumas fenólicas (previamente humedecidas con agua de grifo y drenadas) en condiciones de laboratorio a 25°C de temperatura ambiente, 66% de humedad relativa, fotoperiodo de 14 horas de luz y 15 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luminosidad.

En las cinco variedades se determinó el peso cada dos días y los síntomas visuales de senescencia hasta su descarte (cambio de color, deformaciones en las hojas y aparición de manchas necróticas). Con los datos del peso tomados durante nueve evaluaciones, se calculó el porcentaje de pérdida de peso (% pérdida de peso = $100 \times \text{Peso observado} / \text{Peso inicial}$).

Los resultados se analizaron mediante ANOVA; se realizaron Comparaciones Múltiples de Medias usando la diferencia significativa honesta de Tukey con nivel de significancia al 5% y se usó la Teoría del Modelo Lineal General con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2015; Montgomery, 2012).

RESULTADOS

Las cinco variedades locales que se utilizaron en el experimento presentaron las siguientes características de acuerdo a su forma y dimensiones:

Variedad Cinza. Presenta limbos de color verde azulado oscuro (133 A) y nervadura verde amarillo claro (145 D). El color del lado interno del peciolo es rojo violáceo oscuro (N79 C) (Figura 1A). Dimensiones promedio de 11,50 cm de ancho y 39,42 cm de largo (Tabla 1).

Variedad Mumbecas. Láminas foliares que presentan tres colores: rojo violáceo oscuro (N79 C) como color principal, verde azulado oscuro (133 A) como color secundario distribuido en el margen de las hojas y blanco amarillento (NN 155 A) como color terciario en la parte media. El color del lado interno del peciolo es idéntico al color principal (N79 C) (Figura 1B). Dimensiones promedio de 8,40 cm de ancho y 32,30 cm de largo (Tabla 1).

Variedad Nevada. Láminas foliares que presentan dos colores: blanco (NN 155 C) como color principal y verde azulado oscuro (133 A) distribuido en la parte media. El color del lado interno del peciolo es NN 155 C (blanco) (Figura 1C). Dimensiones promedio de 9,75 cm de ancho y 32,20 cm de largo (Tabla 1).

Variedad Tricolor. Láminas foliares que presentan tres colores: verde azulado oscuro (133 A) como color principal, blanco (NN 155 B) distribuido en los márgenes de las hojas y rojo violáceo oscuro (N79 C) distribuido en la parte media. El color del lado interno del peciolo es blanco (NN 155 B) (Figura 1D). Dimensiones promedio de 6,50 cm de ancho y 23,22 cm de largo (Tabla 1).

Variedad Fiusha. Láminas foliares que presentan dos colores: rojo violáceo oscuro (N79 B) como color principal y púrpura grisáceo oscuro (N92 A) distribuido en la parte media. El color del lado interno del peciolo es rojo violáceo oscuro (N79 B) (Figura 1E). Dimensiones promedio de 6,77 cm de ancho y 26,00 cm de largo (Tabla 1).

Se encontraron diferencias estadísticas entre variedades para el ancho y longitud de las hojas de *Cordyline* (Tabla 1). Así, las variedades con mayores valores de ancho y longitud de la hoja fueron Cinza y Nevada; mientras que las variedades que presentaron menores valores fueron Tricolor y Fiusha (Tabla 1). Para el peso, las variedades con mayores valores fueron Cinza y Nevada; en tanto Tricolor y Fiusha presentaron los valores más bajos (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las hojas de variedades locales de *Cordyline* sp cultivadas en Paulista, Pernambuco - Brasil.

Variedad	Ancho de la hoja (cm)	Longitud de la hoja (cm)	Peso (g)
Cinza	11.50 a	39.42 a	7.98 a
Mumbecas	8.40 c	32.30 b	5.50 b
Nevada	9.75 b	34.20 b	7.80 a
Tricolor	6.50 d	23.22 d	2.68 c
Fiusha	6.77 d	26.00 c	3.15 c
DMS	0.82	1.97	1.31

DMS = Diferencia mínima significativa; Letras diferentes en la misma columna, muestran diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$), n = 20.

La calidad visual de las hojas de *Cordyline* se fue deteriorando por el transcurso del tiempo en ambos tratamientos (Figura 2); sin embargo, las hojas que no recibieron el pulsado de sacarosa presentaron el mayor daño. Los signos visuales de senescencia hasta el descarte fueron en la variedad Cinza, pérdida general del color, enrollamiento en los bordes de las hojas y decoloración de la nervadura central; en Mumbecas, manchas de color oscuro en el contorno de las hojas y necrosamiento del peciolo. En Nevada se notó la aparición de manchas de color oscuro en los bordes de las hojas, en Tricolor, se evidenciaron diversas manchas de color oscuro que abarcaron un 30% de la hoja, enrollamientos de los bordes, daños y pérdida general del color y en Fiusha se presentó enrollamiento de los bordes, pérdida del color desde la base siguiendo el borde de la hoja y manchas cafés en la parte púrpura grisáceo.

Trat/Var	Cinza		Mumbecas		Nevada		Tricolor		Fiusha	
Días	0	18	0	18	0	16	0	12	0	16
SP										
Días	0	18	0	18	0	18	0	14	0	16
CP										

Figura 2. Signos de deterioro observados durante la poscosecha de hojas de cinco variedades locales de *Cordyline* sp en espuma fenólica sin (SP) y con pulsado de sacarosa al 5% por 14 h (CP) cultivadas en Paulista, Pernambuco - Brasil. Trat = tratamiento, Var = variedad, SP= Sin pulsado de sacarosa y CP = Con pulsado de sacarosa.

Con respecto a la duración poscosecha en espuma fenólica, las variedades Cinza y Mumbecas mostraron 18 días de duración en ambos tratamientos (con y sin pulsado) (Figura 2). Para la variedad Nevada, las hojas que recibieron el pulsado, duraron dos días más (18 días) que aquellas donde no se realizó el pulsado (16 días) (Figura 2); mientras que, en la variedad Tricolor, las hojas que recibieron el pulsado de sacarosa incrementaron 2 días (14 días en total) la vida poscosecha de las hojas en comparación con aquellas hojas que no recibieron el pulsado (12 días) (Figura 2). Finalmente, para la variedad Fiusha, ambos tratamientos tuvieron una longevidad de 16 días (Figura 2).

Para la dinámica de porcentaje de pérdida de peso, sólo se observaron diferencias estadísticas significativas en tres de las variedades cuando se adicionó un pulsado de sacarosa, (Mumbecas, Tricolor y Fiusha) mientras que en Nevada y Cinza no se encontraron diferencias estadísticas en las diferentes fechas evaluadas.

En la variedad Mumbecas, a los 0, 4, 8, 10, 16 y 18 días no se mostraron diferencias significativas entre ambos tratamientos; en tanto que a los 2, 6, 12 y 14 días las hojas que no recibieron el pulsado de sacarosa presentaron mayor pérdida de peso (Figura 3). Para la variedad Tricolor, las hojas que recibieron el pulsado de sacarosa, presentaron menor pérdida de peso en las cinco primeras evaluaciones (0, 2, 4, 6 y 8 días); sin embargo, sólo a los 2 y 4 días hubo diferencias estadísticas. En las siguientes evaluaciones (10, 12 y 14 días) las hojas que no recibieron el pulsado de sacarosa expusieron menor pérdida de peso (Figura 3).

Para la variedad Fiusha, la pérdida de peso fue mayor en las hojas que no recibieron el pulsado de sacarosa; sin embargo sólo a los 6 y 8 días se presentaron diferencias estadísticas (Figura 3). En esta variedad se notó un mayor efecto de la sacarosa al reducirse los daños de senescencia como manchas necróticas y enrollamiento de las hojas (Figura 2).

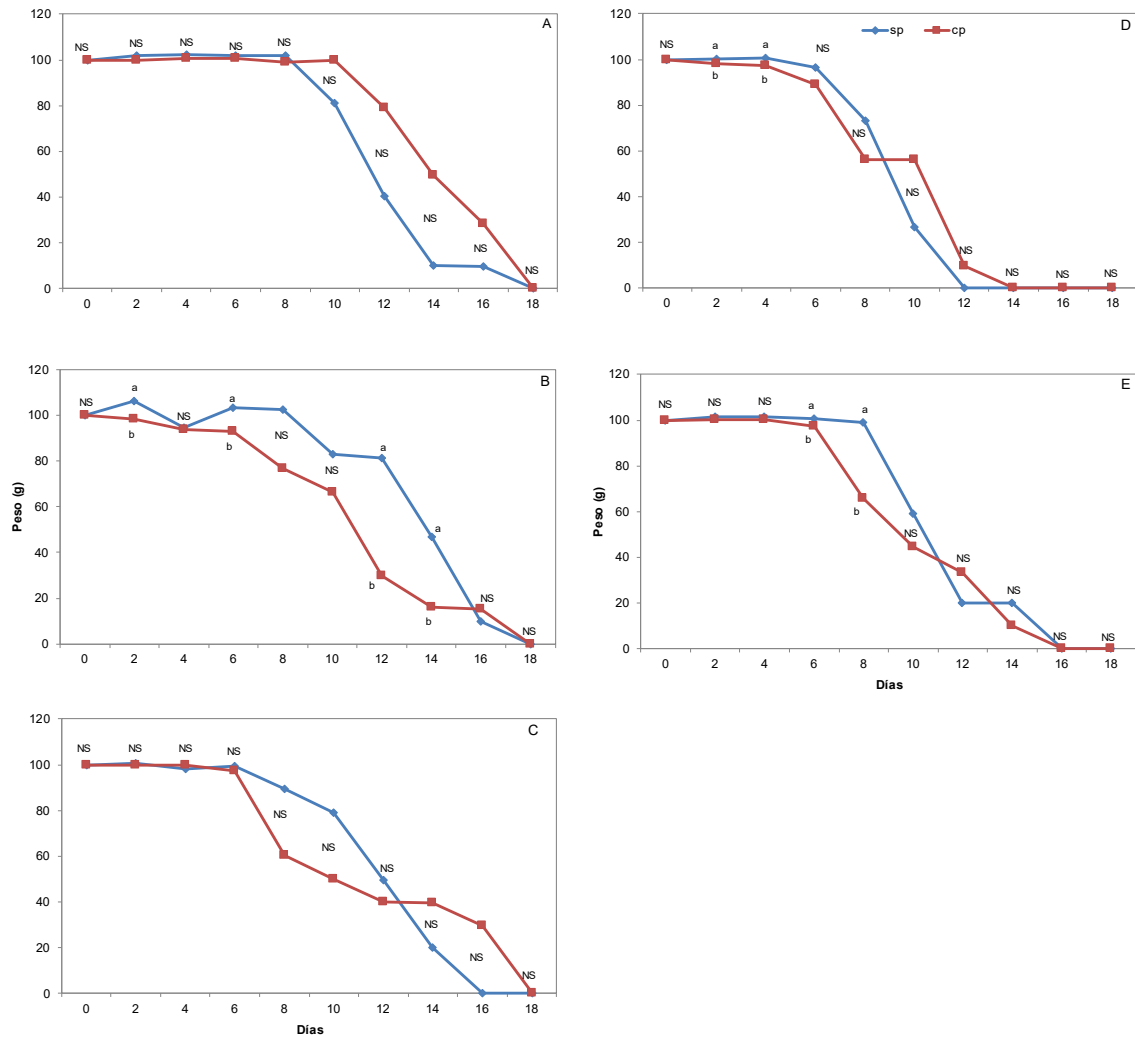


Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso en hojas de variedades de *Cordyline* sp en Paulista, Pernambuco -Brasil. Cinza (A), Mumbecas (B), Nevada (C), Tricolor (D) y Fiusha (E) mantenidas en espuma fenólica sin (SP) y con pulsado de sacarosa 5% por 14 h (CP). Letras distintas entre los dos tratamientos en la misma fecha, muestra diferencias estadísticas con $\alpha = 0.05$, $n = 10$, NS = No significativo.

DISCUSIÓN

En países donde existe alta diversidad genética (México, Brasil, Colombia, Argentina, Ecuador entre otros) es posible introducir al cultivo comercial una amplia variedad de especies nativas, silvestres o domesticadas con potencial ornamental (Ramírez y Chávez, 2014; Heiden *et al.*, 2006) por lo que la búsqueda y mejoramiento genético de especies nativas constituye un recurso invaluable para el crecimiento de la economía regional y nacional. En el caso de las variedades de *Cordyline* sp, en el municipio de Paulista (Pernambuco - Brasil), su descripción y caracterización permitirá su comercialización y uso en el diseño floral y floristería, favoreciendo directamente al productor y a la economía local. Adicionalmente, el mejoramiento genético de follajes a partir de especies nativas es una oportunidad para el país ya que la industria de la producción de follajes se ha incrementado crecientemente desde el año 2000, siendo Estados Unidos el más demandante de nuevas variedades (Chen *et al.*, 2002; Zickel y Dias, 2018; Pascale y Romano, 2017).

Por otra parte, dentro de la comercialización de nuevas especies ornamentales, existen varios factores que deben considerarse después de la cosecha. Estos se relacionan con el agotamiento de las reservas de carbohidratos por la respiración, cavitación del xilema, bloqueo de los vasos conductores por microorganismos y sus subproductos, daños mecánicos, producción de etileno y pérdida excesiva de agua (Morais *et al.*, 2015; Wijayabandara *et al.*, 2018).

En flores de corte, Ichimura (1998) considera que los carbohidratos (glucosa y sacarosa) son requeridos para la apertura de botones florales ya que son sustratos para la respiración y constituyentes de la pared celular; por lo que durante la poscosecha la adición de estos compuestos constituyen un promotor para incrementar la apertura floral. En follajes ornamentales también se ha reportado el efecto benéfico del uso de la sacarosa durante el proceso de poscosecha. Ahmad *et al.* (2018) encontraron que la combinación de 100 mg L⁻¹ de sulfato de aluminio más sacarosa promueven la longevidad de los follajes y las relaciones de absorción de agua de los tejidos en *Ruscus hypophyllum*, *Thuja orientalis*, *Phoenix rubillini* y *Syngonium podophyllum*. Otras especies donde se reporta su uso son *Asparagus plumosus*, *A. densiflorus* y *Nephrolepis exaltata* (Malakar *et al.*, 2017).

Espinosa *et al.* (2009) reportaron que las hojas de *Cordyline* sp pueden tener una vida poscosecha de hasta 10 días dependiendo del manejo agronómico mientras que, Vishnupandi y Thangaselvabai (2019), reportaron que hojas de *C. fruticosa* pueden tener hasta 12 días de duración poscosecha.

Así, durante el presente trabajo, el pulsado de sacarosa proporcionó un aumento de la vida poscosecha de las hojas a 18 días en Nevada y 14 días en Tricolor. En las variedades Cinza, Mumbecas y Fiusha, a pesar de que los días poscosecha no se incrementaron con el pulsado de sacarosa, se observaron menores daños en las hojas de *Cordyline* comparadas con aquellas hojas donde no se realizó dicho tratamiento.

Si bien, en follajes ornamentales, existen diversos trabajos que adicionan diferentes productos para prolongar la vida poscosecha de las hojas, muchos de ellos causan toxicidad y provocan daños. Un efecto claro es el amarillamiento y la pérdida de la consistencia de las hojas (Malakar *et al.*, 2017). En el presente trabajo la adición de 5% de sacarosa ayudó a que las hojas se mantuvieran más turgentes y se disminuyeron los daños por senescencia (Figura 2). Se sabe que la sacarosa aplicada exógenamente ayuda a reponer los carbohidratos utilizados en la respiración durante la poscosecha lo que evita la degradación de lípidos, proteínas y ácidos ribonucleicos, manteniendo la integridad de la membrana y, por ende, la conservación de la planta (Teixeira, 2003).

Con respecto al porcentaje de pérdida de peso durante las evaluaciones, se observó un comportamiento diferencial dependiendo de la variedad; por ejemplo, en Cinza y Mumbecas a pesar de existir diferencias numéricas no se observaron diferencias estadísticas.

En la variedad Mumbecas, el grupo que recibió el pulsado de sacarosa presentó porcentajes menores de pérdida de peso; pero sólo en 4 fechas (2, 6, 12 y 14 días) se presentaron diferencias significativas. Estos efectos pueden deberse a que el uso de sacarosa disminuye el potencial hídrico, mejora la absorción del agua e incrementa el peso fresco de las hojas (Malakar *et al.*, 2017; Wijayabandara *et al.*, 2018). Otro beneficio es el mantenimiento de la integridad de la membrana celular durante la poscosecha. Jones (1995) encontró que la aplicación de un pulsado de sacarosa al 20%, previene la desecación del follaje de *Leucadendron* var. *Silvan Red*, y por ende, la conservación durante el almacenamiento en frío.

Análogamente, la aplicación de sacarosa con hidroxiquinona (8-HQC) como germicida, promueve el cierre de los estomas, reduciéndose la transpiración en algunos follajes ornamentales como *Eucalyptus globulus* y *E. cinerea* (Wirthensohn *et al.*, 1996). Resultados similares se encontraron en helecho Boston (*Nephrolepis exaltata*) al adicionar ácido salicílico más sacarosa con hidroxiquinona, promoviendo un incremento de la vida poscosecha al incrementar la capacidad de retención del agua y reducir la transpiración (Abou Dahab *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

Las cinco variedades locales cultivadas en Paulista-Pernambuco, Brasil (Cinza, Nevada, Mumbecas, Fiusha y Tricolor) constituyen un recurso que puede utilizarse como follaje de corte en el diseño floral y floristería, ya que presenta diversos tamaños y colores, que aportan especial atractivo a los ramos y arreglos.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la vida poscosecha de las hojas de Cinza y Mumbecas, las que tuvieron 18 días de duración y para Fiusha que fue de 16 días después de cortadas.

El pulsado de sacarosa al 5% por 14 horas y la colocación en espuma fenólica incrementó en dos días la poscosecha de las variedades Nevada (18 días) y Tricolor (14 días).

Si bien, durante la vida en espuma fenólica se evidenciaron signos de senescencia, éstos fueron mayores en las hojas que no recibieron el pulsado de sacarosa

La aparición de los signos de senescencia en *Cordyline* se manifestaron dependiendo de la variedad; sin embargo, se observó en todas ellas pérdida del color, presencia de manchas necróticas, enrollamiento del borde las hojas y pérdida de peso.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT-México por el apoyo otorgado a M.A.R.E. durante sus estudios de doctorado, a la Universidade Federal Rural de Pernambuco donde se realizó la estancia académica y la presente investigación, y a M.C.F. Teixeira de la Fazenda Mumbecas por la donación de las hojas.

REFERENCIAS

ABOU DAHAB, T.A.; EL-KADY, A.F.; KHENIZY, S.A.; EL-EBRASHI, E.F. 2013. Impact of various pulsing and holding solutions on the quality and longevity of *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott cut foliage under room temperature. J. Hort. Sci & Ornamental Pl. 5, 89-99.

AHMAD, I.; HAFEEZ, M.; DOLE, J.M. 2018. Sucrose and aluminium sulfate affect longevity and water relations of selected cut foliage species. En: XXX International Horticultural Congress IHC2018: International Symposium on Ornamental Horticulture and XI International 1263, 477-486.

BEEVER, R.E. 1986. The species of *Cordyline* (*Agavaceae*) on the Poor Knights Islands, northern New Zealand. Journal of the Royal Society of New Zealand 16, 251-258.

BOTTO, F.J.; MATA, D.A. 2014. Investigación científica y plantas ornamentales. Una mirada al futuro. Ciencia Hoy 23 (177), 37-44.

CHEN, J.; HENNY, R.J. 2008. Ornamental foliage plants: Improvement through biotechnology. Recent advances in plant biotechnology and its applications. IK International Publishing House, New Delhi, India, 140-156.

CHEN, J.; HENNY, R.J.; MCCONNELL, D.B. 2002. Development of new foliage plant cultivars. En: JANICK, J.; WHIPKEY A. (Eds.). Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA, pp. 466-472.

- CHEN, J.; MCCONNELL, D.B.; HENNY, R.J. 2005. The world foliage plant industry. *Chronica Horticulturae* 45, 9-15.
- ESPINOSA, F.A.; MEJÍA, M.J.M.; COLINAS, L.M.T.; RODRÍGUEZ-ELIZALDE, M.A.; URBACZYK, P.A.E.; BELTRÁN, B.M.A. 2009. Catálogo nacional de especies y variedades comerciales de plantas y flores producidas en México. Universidad Autónoma Chapingo. México: Chapingo. 350 pp.
- EU MARKET SURVEY 2004. Cut flowers and foliage. Centre for the promotion of imports from developing countries. The Netherlands, 142 p. http://www.exportapymes.com/documentos/productos/Ci1038_survey_cut_flowers.pdf, verificado 17/10/2020.
- FAVERO, B.T.; CARMELLO, Q.A.C.; DIAS, G.M. 2011. Vase life of new tropical cut foliage: *Cordyline terminalis*. En: IV International Conference Postharvest Unlimited 945, 351-356.
- FERRANTE, A.; FRANCINI, A. 2006. Ethylene and leaf senescence. En: KHAN N.A. (Eds.) Ethylene action in plants. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 51-67.
- HEIDEN, G.; BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. 2006. Considerações sobre o uso de plantas ornamentais nativas. *Ornamental Horticulture* 12, 2-7.
- HENSCHKE, M.; PERS, K.; OPALIŃSKA, S. 2016. Post-harvest longevity of ornamental grasses conditioned in gibberellic acid and 8-hydroxyquinoline sulphate. *Folia Horticulturae* 28, 51-56.
- ICHIMURA, K. 1998. Improvement of postharvest life in several cut flowers by the addition of sucrose. *Japan Agricultural Research Quarterly* 32, 275-280.
- JONES, R.B. 1995. Sucrose prevents foliage desiccation in cut *Leucadendron* 'Silvan Red' during cool storage. *Postharvest Biology and Technology* 6, 293-301.
- LOGES, V.; TEIXEIRA, M.D.C.F.; CASTRO, A.C.R.D.; COSTA, A.S.D. 2005. Colheita, pós-colheita e embalagem de flores tropicais em Pernambuco. *Horticultura Brasileira* 23(3), 699-702.
- MALAKAR, M.; ACHARYYA, P.; BISWAS, S. 2017. Effect of certain chemicals on post harvest life of some cut foliages. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 10(2), 199-207.
- MONTGOMERY, C.D. 2012. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Inc. New York. Eighth Edition. 725 pp.
- MORAIS, M.B.; SILVA, M.M.A.; HERCULANO, L.; CAMARA, T.R.; WILLADINO, L. 2015. Postharvest senescence of *Alpinia* floral stems: Antioxidative effect of pulsing. En: X International Symposium on Postharvest Quality of Ornamental Plants 1060, 289-294.

- MUNGUÍA LINO, G.; VÁZQUEZ-GARCÍA, L.M.; LÓPEZ-SANDOVAL, J.A. 2010. Plantas silvestres ornamentales comercializadas en los mercados de la flor de Tenancingo y Jamaica, México. *Polibotánica* 29, 281-308.
- PASCALE, S.; ROMANO, D. 2017. Potential use of wild plants in floriculture. En: *International Symposium on Wild Flowers and Native Ornamental Plants* 1240, 87-98.
- RAMÍREZ, Z.G.; CHÁVEZ-SERVIA, J.L. 2014. Mejoramiento genético de ornamentales del Estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agrícola, Acuícola y Forestal del Estado de México, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, COFUPRO. Estado de México, México. 42 p.
- SUBHASHINI, R.M.B.; AMARATHUNGA, N.L.K.; KRISHNARAJAH, S.A.; EESWARA, J.P. 2011. Effect of benzylaminopurine, gibberellic acid, silver nitrate and silver thiosulphate, on postharvest longevity of cut leaves of *Dracaena*. *Ceylon Journal of Science (Bio. Sci.)* 40, 157-162.
- TEIXEIRA, S.J.A. 2003. The cut flower: postharvest considerations. *J. Biol. Sci.* 3(4), 406-442.
- THE INTERNATIONAL CORDYLINE SOCIETY, 2020. <https://www.cordylinesociety.org>, verificado el 01/09/2020.
- VERENIGING VAN BLOEMENVEILINGEN IN NEDERLAND (VBN) 2010. <https://www.vbn.nl/en/product-information-and-encoding>, verificado el 10/10/2020.
- VISHNUPANDI, S.; THANGASELVABAI, T. 2019. Effect of different nutrient formulations on growth and yield of *Cordyline fruticosa* grown in soilless culture system. *Journal of Agriculture and Ecology* 8, 24-29.
- WIJAYABANDARA, S.M.K.H.; DAMUNUPOLA, J.W.; KRISHNARAJAH, S.A.; DAUNDASEKERA, W.A. M.; WIJESUNDARA, D.S.A. 2018. Effect of different vase solutions on postharvest longevity of cut foliage *Ophiopogon japonicus*. *Ceylon Journal of Science* 47(2), 195-199.
- WIRTHENSOHN, M.G.; SEDGLEY, M.; EHMER, R. 1996. Production and postharvest treatment of cut stems of *Eucalyptus* L. Hér. foliage. *HortScience* 31(6), 1007-1009.
- ZICKEL, C.S.; DIAS, G.M. 2018. Native species for ornamental use. *Ornamental Horticulture* 24(3), 196-197.

ESTUDIOS EN EL GÉNERO *SPHAERALCEA* (MALVACEAE), UN IMPORTANTE RECURSO GENÉTICO DE LA ARGENTINA CON POTENCIAL ORNAMENTAL

Agustina Gutiérrez^{1*}, Carlos Villamil², Liliana Dascanio³, Pablo Marinangeli^{1,3}

¹ Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS) CONICET-UNS, Bahía Blanca, Argentina.

² Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, Herbario BBB - UNS, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

³ Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

*Autor para correspondencia: aguti@cerzos-conicet.gob.ar

RESUMEN

La actividad florícola en nuestro país cuenta con un particular escenario en el que las variedades ornamentales que los productores tienen a disposición han sido mejoradas fuera de nuestra región, y no están adaptadas a condiciones agroecológicas locales. De esta manera, surge el objetivo de generar nuevas variedades ornamentales adaptadas a las condiciones ambientales locales de nuestro país. A su vez, incorporarlas a los ecosistemas urbanos mediante el aumento de espacios verdes públicos con vegetación nativa que permita mitigar el proceso de degradación ambiental, conservar la biodiversidad autóctona y fauna asociada. El género *Sphaeralcea* (Malvaceae) ha sido escasamente estudiado y explorado, posee un interesante germoplasma desde el punto de vista ornamental con especies nativas como *S. australis*, *S. crispa*, *S. mendocina* y *S. bonariensis* que crecen naturalmente en la región pampeana. Se realizaron viajes a las provincias de Buenos Aires y La Pampa para coleccionar semillas de las cuatro especies nativas de *Sphaeralcea*. Se evaluó la germinación y dormición, se realizó la caracterización fenológica y fenotípica y se realizaron ensayos de preferencia del público. Se observó que *S. australis*, *S. bonariensis* y *S. mendocina* tienen diversos grados de dormición combinada (física y fisiológica) y *S. crispa* escaso grado de dormición. La escarificación mecánica fue el tratamiento más eficiente para superar la latencia. En condiciones de cultivo las plantas estudiadas de *Sphaeralcea* tuvieron una floración profusa y prolongada dependiendo de la especie. Se cuantificó una interesante variabilidad genética entre y dentro de las poblaciones. Se demostró un importante valor ornamental para las cuatro especies de *Sphaeralcea* con una alta aceptación del género como ornamental para el uso en canteros. *S. australis* fue la más destacada.

Palabras clave: caracterización, germinación, ornamental, recolección, *Sphaeralcea*.

ABSTRACT

The floricultural activity in our country has a scenario in which the ornamental varieties are improved outside our region and are not adapted to local agro-ecological conditions. In this way, the goal of generating new ornamental varieties adapted to the local environmental conditions of our country arises. At the same time, assign them to the recovery urban green spaces allowing the mitigation of the environmental degradation process and preserving the biodiversity. The genus *Sphaeralcea* (*Malvaceae*) has been little studied and explored, it has interesting native species with ornamental importance such as *S. australis*, *S. crispa*, *S. mendocina* and *S. bonariensis* that grow in the Pampean region. Trips were made to Buenos Aires and La Pampa provinces to collect seeds of the four native species of *Sphaeralcea*. Then, the species were evaluated for: germination and dormancy, phenological and phenotypic traits and examinations carried out for public preference. The results showed that *S. australis*, *S. bonariensis* and *S. mendocina* have different degrees of combinational dormancy (physical and physiological) and *S. crispa* a low degree of dormancy. Mechanical scarification was the most efficient treatment to overcome latency. In cultivation conditions, the *Sphaeralcea* plants had a profuse and prolonged flowering depending on the species. Interesting genetic variability between and within populations were quantified. An important ornamental value was demonstrated for the four species of *Sphaeralcea* with a high acceptance of the genus for use in plant beds. *S. australis* was the most featured.

Keywords: characterization, collection, germination, ornamental, *Sphaeralcea*.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, la escasa disponibilidad y diversidad de variedades ornamentales adaptadas a las diferentes condiciones agroecológicas locales generan problemas en los niveles productivo y de uso paisajista. Esto se expresa en la actividad florícola de nuestro país que depende en gran parte de variedades extranjeras poco adaptadas a las condiciones ambientales locales. Inclusive, se pagan regalías a empresas internacionales por variedades que provienen de germoplasma argentino. A esta problemática, se suman los efectos de la acción humana en los ambientes urbanos con el posterior daño ambiental y pérdida de biodiversidad (Chapin *et al.*, 2000). Estas restricciones imponen como respuesta la promoción de programas para domesticación y mejoramiento de plantas para uso ornamental a partir de recursos genéticos propios que se valgan de nuevas fuentes de variabilidad, en especial, las que provienen de especies nativas adaptadas a determinados ambientes. De esta manera, surge el objetivo de generar nuevas variedades ornamentales adaptadas a las condiciones ambientales locales de nuestro país. A su vez, destinar esas especies nativas a la recuperación de espacios verdes en las ciudades permitiría mitigar el proceso de degradación ambiental y conservar la biodiversidad autóctona (Masini y Rovere, 2015), implementando programas

de rehabilitación y/o restauración de ecosistemas dañados (Baskin y Baskin, 2014). A esto se suma la menor demanda energética en términos de mantenimiento, como resultado del uso más eficiente de los recursos y la estabilidad frente a las condiciones climáticas y variaciones meteorológicas. Desde el punto de vista genético, las especies muestran una considerable variabilidad en distintos caracteres, la cual es fundamental para seleccionar individuos con caracteres de alto valor ornamental. Al iniciar un programa de domesticación y mejoramiento de plantas nativas es fundamental conocer ciertos aspectos vinculados a la recolección del germoplasma, fenología, morfología y una idea de la potencial aptitud ornamental de cada una de las especies evaluadas.

En el Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) la familia *Malvaceae* se halla representada por 63 géneros y 533 especies de hierbas, arbustos y árboles; de las cuales 315 son nativas, 202 endémicas y 16 introducidas (Zuloaga *et al.*, 2019). Algunas especies, tanto nativas como introducidas, son económicamente importantes, incluido el algodón (*Gossypium*) como textil, así como medicinales (Martínez y Barboza, 2010) industriales y ornamentales (Krapovickas, 2003). Entre estas últimas, se incluyen los géneros nativos *Pavonia*, *Lecanophora*, *Modiolastrum*, *Rynchosida* y *Sphaeralcea* (Ponce *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2008; Sriladda *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2019). Particularmente, el género *Sphaeralcea*, que es abordado en este trabajo, exhibe un atractivo y potencial ornamental aún no explorado. El género cuenta con especies tolerantes a estrés hídrico, altas y bajas temperaturas, elevada insolación y fuertes heladas. Estos atributos las convierten en buenas candidatas para el desarrollo de materiales tolerantes a condiciones climáticas extremas y para el paisajismo urbano sustentable.

El conocimiento sobre la ecología de la germinación en la familia *Malvaceae* es escaso (Kildisheva *et al.*, 2011; Hafiz *et al.*, 2012; Fernandes de Campos *et al.*, 2015; Erickson *et al.*, 2016; Leperlier *et al.*, 2020). Numerosas especies de *Malvaceae* producen semillas latentes (Baskin y Baskin, 2014; Baskin y Baskin, 2005; Quick, 1935; Payares Díaz *et al.*, 2014). La dormición, latencia o letargo es la incapacidad de una semilla viable de germinar bajo determinadas condiciones de temperatura, humedad y aireación y es gobernada por factores ambientales y genéticos. Tiene una importante función ecológica debido a que, a través de ese mecanismo, se sincroniza el tiempo de germinación con las condiciones ambientales óptimas para la supervivencia de la plántula en un hábitat determinado (Baskin y Baskin, 1998). Así, una semilla puede permanecer inactiva en el suelo durante largos períodos de tiempo, sobrevivir a condiciones ambientales desfavorables, y perpetuarse en un sitio. Si bien en ambientes naturales las poblaciones de plantas nativas poseen una fenología determinada, se desconoce el comportamiento fenológico y rasgos morfológicos resultantes bajo condiciones de cultivo, en especial para el sudoeste bonaerense. Los tratamientos pre-germinativos son de gran importancia para mejorar la eficiencia de producción de plantines a partir de semillas que presenten algún tipo de dormición. Por otra parte, evaluar los requerimientos de germinación y del posterior cultivo, es útil para los programas de producción y utilización de especies nativas de *Malvaceae*.

El objetivo de este trabajo es coleccionar especies nativas de *Sphaeralcea* (*S. australis*, *S. crista*, *S. mendocina* y *S. bonariensis*) creciendo en la naturaleza, estudiar la germinación y dormición, la fenología, la variabilidad morfológica, evaluar el potencial ornamental y realizar ensayos de preferencia del público. Todo esto enmarcado dentro de un programa de uso racional y sustentable de los recursos genéticos nativos de la República Argentina, para el aprovechamiento y mejoramiento de su potencial ornamental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elección del material a estudiar

Previo a la recolección de germoplasma, se realizó un estudio bibliográfico, se relevaron datos de herbario y se efectuaron consultas a especialistas botánicos para obtener información sobre las especies nativas de la familia *Malvaceae* presentes en nuestra región. Se focalizó en especies con características ornamentales y agronómicas atractivas (altura de la planta, tamaño, color y abundancia de flores, período de floración, textura del follaje, atracción de fauna silvestre), con la intención de incorporar variedades ornamentales novedosas al mercado de la zona centro/sur de nuestro país. En el sudoeste bonaerense están presentes cuatro especies de *Sphaeralcea* (*S. australis* Speg., *S. bonariensis* (Cav.) Griseb., *S. crista* Hook. & Baker f. y *S. mendocina* Phil.) con diferentes características fenotípicas que les otorgan cualidades ornamentales potenciales, condición de interés para procurar la mayor incorporación de variabilidad genética útil al momento de la selección.

Área de estudio

Luego de planificar los sitios a explorar y la época del año adecuada para la colección de material, se realizaron los viajes de recolección a distintas áreas geográficas de las provincias de Buenos Aires (partidos de Tornquist sobre la ruta nacional 35 km 62 y Bahía Blanca sobre el camino de acceso a Puerto Galván) y La Pampa (partido de Caleu Caleu sobre ruta provincial 1) (Figura 1), donde se identificaron poblaciones del género *Sphaeralcea* (*S. bonariensis*, *S. australis*, *S. crista* y *S. mendocina*) creciendo espontáneamente en la naturaleza sobre rutas o caminos vecinales (Figura 2).

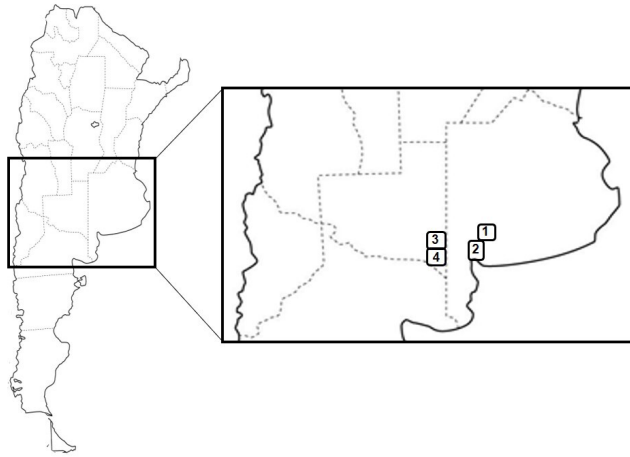


Figura 1. Sitios de colecta de las especies de *Sphaeralcea*: *S. australis* (sitio 1), *S. bonariensis* (sitio 2), *S. crispa* (sitio 3) y *S. mendocina* (sitio 4).



Figura 2. Especies de *Sphaeralcea* creciendo espontáneamente en la naturaleza.

Recolección

Para proceder a la recolección de material vegetal se contó con los permisos legales necesarios para la colecta científica en la Dirección de Flora y Fauna del Ministerio de Agroindustria para la Provincia de Buenos Aires y en la Dirección de Recursos Naturales, Subsecretaría de Asuntos Agrarios del Ministerio de la Producción para la Provincia de La Pampa.

El propágulo colectado para cada accesión fue semilla, las mismas se guardaron en sobres de papel Kraft hasta el momento de su acondicionamiento en el laboratorio. La recolección del material estuvo acompañada de un registro de colecta detallado con los siguientes datos: código específico de colecta que tiene que ver con la fecha de colecta, provincia, partido, coordenadas geográficas, nombre científico de la especie, densidad de plantas presentes, tipo de material recolectado (semilla, esquejes, planta, material de herbario) y registro fotográfico. Una vez finalizado cada viaje de colecta, se acondicionaron los materiales. Por tratarse de especies con semillas ortodoxas, los propágulos fueron conservados bajo condiciones de baja temperatura y humedad con controles periódicos de viabilidad y poder de germinativo (ISTA, 2016).

Dormición y germinación

Tratamientos pregerminativos

Se efectuaron tratamientos pre-germinativos con la finalidad de evaluar la presencia de dormición en las semillas de *Sphaeralcea*.

Se probaron los siguientes métodos: 1) Escarificación mecánica (EM), se perforó la cubierta seminal con una lanceta del lado opuesto a la chalaza; 2) Escarificación química (EQ), para lo cual se remojaron las semillas en ácido sulfúrico (98%) durante 40 min.; 3) Aplicación de ácido giberélico (GA_3), que consistió en remojar las semillas en solución de GA_3 (100 ppm) durante 24 h y 4) Combinación de tratamientos, a) EM + GA_3 y b) EQ + GA_3 . Semillas sin ningún tratamiento pre-germinativo fueron utilizadas como control.

Prueba de germinación

El experimento se realizó a través de un diseño completo aleatorizado. Para cada tratamiento se sembraron cuatro réplicas de 20 semillas cada una en placas de Petri con papel de filtro humedecido con agua destilada. Las placas de Petri se colocaron en una cámara de germinación mantenida a una temperatura constante de 25 °C. Los parámetros de la cámara se establecieron en un ciclo de 12 hs. de luz/oscuridad, utilizando tubos fluorescentes blancos fríos con una densidad de flujo de fotones entre 30 - 40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. La germinación se evaluó cada 2 días durante un lapso de 30 días. Para estimar la viabilidad final de las semillas, se realizó una prueba de tetrazolio con aquellas semillas que no germinaron tras el experimento. Las semillas que no reaccionaron al tetrazolio (no teñidas) se consideraron no viables y

las que reaccionaron (teñidas), eran semillas viables que continuaban dormidas luego del experimento (ISTA, 2016). Los parámetros de germinación evaluados fueron: a) Capacidad de germinación máxima, que corresponde al porcentaje de germinación acumulado (PGA) al final del ensayo, que se calculó mediante la ecuación $PGA = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{número de semillas totales}} \times 100$ y b) Tasa de germinación (TG) mediante la ecuación $TG = \frac{(N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n)}{(N_1 + N_2 + \dots + N_n)}$, donde N es el número de semillas germinadas no acumuladas y T es el tiempo en días.

Los datos de germinación se exploraron con un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y se compararon usando LSD de Fisher ($P < 0.05$). Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Renzo *et al.*, 2008).

Caracterización fenológica y fenotípica en canteros

Se realizó una caracterización fenológica y fenotípica de las especies de *Sphaeralcea* para obtener información útil y necesaria en futuros programas de mejoramiento centrados en el uso en canteros. Para esto se planteó un ensayo bajo condiciones de campo. Se obtuvieron plántulas germinadas en cámara, las que luego fueron transferidas a bandejas plantineras de celdas con sustrato comercial Grow Mix Multipro (Terrafertil, Argentina), bajo condiciones controladas de luz, temperatura y riego en invernáculo. Posteriormente, se efectuó el trasplante de los plantines en macetas individuales de 12 cm de diámetro con sustrato compuesto por turba, compost y perlita (1:1:1). A los 45 días y previo a la floración se realizó la plantación en cantero. Se conformaron camellones cubiertos con polietileno negro y se dispuso un sistema de riego por goteo. Para cada especie estudiada se establecieron tramos de 15 plantas, separadas a 40 cm entre sí.

Caracterización fenológica

Se realizó una caracterización fenológica para establecer la duración de las etapas vegetativas y reproductivas de cada una de las especies de *Sphaeralcea*. Los rasgos evaluados fueron: a) duración de la etapa vegetativa, medida en número de días desde el momento en que las plantas tuvieron entre 4/6 hojas hasta el inicio de la etapa reproductiva, b) duración de la etapa reproductiva, cuyo registro fue dividido en cuatro subestados: 1. Botón floral: todas las flores cerradas o en formación, 2. Floración: al menos una flor abierta, 3. Floración - Fructificación: flores visibles y flores secas con el fruto formándose, 4. Fructificación: todas las flores secas y la mayoría de los frutos formados o terminándose de formar. Se registró una vez por semana el número de plantas en cada uno de los estados vegetativo o reproductivo. Así se calculó el porcentaje de plantas en cada estado y subestado y se determinó la duración de cada etapa (Echeverría y Alonso, 2012).

Caracterización fenotípica

La caracterización del material desarrollado en los canteros se realizó con base en descriptores morfológicos siguiendo la bibliografía relacionada al género *Sphaeralcea* y los lineamientos propuestos por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales - UPOV (www.upov.int/portal/index.html.es). Se evaluaron 27 caracteres morfológicos (11 métricos o cuantitativos y 16 categóricos o cualitativos). Los 11 rasgos cuantitativos fueron: Altura de planta (cm), Diámetro de planta (cm), Ancho de hoja (cm), Largo de hoja (cm), Largo de pecíolo (cm), Número de inflorescencias, Número de flores por inflorescencia, Largo de inflorescencia (cm), Diámetro de corola (cm), Largo de pétalos (cm) y Ancho de pétalos (cm). Los 16 rasgos cualitativos fueron: Porte de la planta (erecta, semierecta, rastrera), Tipo de ramificación (basal, apical, total), Tipo de hoja (entera, poco dividida, muy dividida), Margen de la hoja (liso, levemente aserrado, muy aserrado), Forma basal de la hoja (cuneada, cordada), Superficie de la hoja (lisa, encrespada), Forma de la hoja (ovada, lanceolada, cordada), Color de la hoja (verde claro, verde oscuro, verde grisáceo), Tipo de inflorescencia (terminal, lateral), Forma de inflorescencia (simple, panoja c/flor sola, panoja c/grupo de flores), Color de los sépalos (verde claro, verde oscuro, verde grisáceo), Forma apical de los sépalos (redondeado, acuminado), Fragancia (ausente, presente), Contorno de los pétalos (liso, levemente ondulado), Disposición de los lóbulos de la corola (libres, en contacto, solapados) y Color de la corola. Los datos de las variables métricas se sometieron a un análisis multivariado (Componentes Principales, biplot) y los datos categóricos a un análisis descriptivo. Se utilizó el software Infostat (Di Renzo *et al.*, 2008). También se aplicó a los datos obtenidos de plantas de *Sphaeralcea* una Matriz de Valoración (Tabla 1) propuesta por Ramírez Hernández *et al.* (2012), desarrollada como un instrumento para la valoración del potencial ornamental de las especies nativas. Se seleccionaron ocho criterios de valoración, cada uno con tres posibles calificaciones. A partir de la suma de calificaciones totales se definen tres categorías de potencialidad ornamental: alta (19-24), media (13-18) y baja (8-12). La aplicación de los criterios señalados en esta tabla posibilita realizar una valoración cualitativa del potencial ornamental de especies vegetales nativas (Ramírez Hernández *et al.*, 2012).

Tabla 1. Matriz de valoración de criterios para la selección de plantas nativas con potencial ornamental para uso en jardines y paisajismo urbano (Ramírez Hernández *et al.*, 2012).

Criterio	Valor		
	3	2	1
Tamaño de flor o inflorescencia (se considera el menor)	>3 cm	1-3 cm	<1 cm
Color de la flor	Cálidos (rojos, amarillos, naranjas)	Fríos (azul, morado)	Neutros (blanco y tonos pasteles)

Criterio	Valor		
	3	2	1
Período de floración	> 3 meses	1-3 meses	< 1 mes
Textura del follaje (hojas cuyo tamaño es variable)	Fina (< 2 cm)	Mediana (2 a 8 cm)	Gruesa (> a 8 cm)
Altura de la planta	< 30 cm	30-100 cm	> 1m
Atracción de fauna (número de especies de insectos y aves que visitan sus flores)	Alta (> 3)	Media (2)	Poca (1)
Uso local en jardines	Alto (común en jardines)	Medio (rara vez es utilizada)	No existe en jardines

Ensayo de preferencia del público

Se realizaron encuestas de preferencia al público en general y al especializado (ingenieros agrónomos, biólogos, paisajistas, jardineros, técnicos y amateurs), para evaluar la aceptación o rechazo del germoplasma nativo y estimar el impacto del valor ornamental de cada especie. Con plantas de las 4 especies de *Sphaeralcea*, se establecieron canteros demostrativos en el Jardín Botánico de Bahía Blanca y en el campus de la Universidad Nacional del Sur, con un total de 80 plantas (10 plantas por especie en cada sitio). Las encuestas se realizaron durante la etapa de plena floración. A cada participante se le entregó una planilla para indicar los siguientes aspectos: 1) Afinidad/gusto por las plantas y jardinería (alta, media, baja); 2) Aceptación o rechazo de las especies nativas expuestas teniendo que elegir una opción entre las siguientes: Me gustó mucho, Me gustó, Me gusto algo, No me gustó; 3) Características ornamentales de preferencia apreciadas en cada especie de *Sphaeralcea* (color de flor, cantidad de flores, forma de hoja, color de hojas, tamaño); 4) Posibilidades de competencia con otras plantas florales que hay actualmente en el mercado, teniendo que elegir una opción entre las siguientes afirmaciones: a) Interesantes, pero para competir con las plantas florales tradicionales necesitan mejoramiento, b) No podrían competir con las plantas florales que hay actualmente en el mercado y c) Estéticamente son lindas sin necesidad de cambios.

RESULTADOS

Dormición y germinación

La viabilidad de las semillas luego de los tratamientos fue, en general, alta: mayor al 90% en *S. bonariensis* y *S. mendocina* y del 80% en *S. crispa* y *S. australis*. Los bajos porcentajes de germinación de semillas en los tratamientos control de todas las especies, salvo *S. crispa*, indican presencia de, al menos, un tipo de dormición (Figura 3). Si bien los tratamientos de

escarificación mejoraron significativamente la germinación de las especies con dormición, en todos los casos se observaron semillas viables sin germinar, lo que hace suponer un grado de latencia fisiológica que no pudo ser superado por la adición de giberelinas (GA_3) en la dosis evaluada. Los resultados control mostraron para la especie *S. bonariensis* el porcentaje más alto de semillas dormidas (87%). Las pruebas en *S. australis* y *S. mendocina* mostraron valores intermedios (32 y 38%, respectivamente), mientras que *S. crispa* no mostró latencia (Figura 3). El tratamiento pregerminativo más efectivo para romper la dormancia fue la escarificación mecánica (EM). Para las especies *S. bonariensis* y *S. mendocina* bajo el tratamiento combinado (EM + GA_3), se registraron los mayores valores en porcentaje de germinación, aunque sin diferencias significativas entre ambos tratamientos (Tabla 2). *S. bonariensis* tuvo una respuesta altamente significativa a ambos tratamientos (EM y EM+ GA_3) respecto a sus valores control. Respuestas intermedias se observaron en *S. australis* y *S. mendocina* con valores de germinación para los controles cercanos al 50% y valores máximos por encima del 75% con EM y EM+ GA_3 , respectivamente. Para *S. crispa* se registró un alto porcentaje de germinación en las semillas control y la máxima germinación luego de EM. El tratamiento con GA_3 , no arrojó valores superiores de porcentaje de germinación en ninguna de las especies evaluadas respecto al control. El tratamiento EQ mejoró la germinación en casi todas las especies, aunque significativamente menos que el tratamiento EM, excepto en *S. mendocina* en la que ambos valores de germinación no difirieron estadísticamente (Tabla 2). El tratamiento combinado EQ+ GA_3 fue variable, aunque su efecto no mejoró la germinación en las especies evaluadas de *Sphaeralcea*; o, al menos, no se diferenció de la EM.

Respecto a la tasa de germinación, el tratamiento pre-germinativo más efectivo para acelerar la germinación en las especies estudiadas fue EM. *S. australis* y *S. mendocina* fueron las más rápidas en germinar, demorando alrededor de 2 días, mientras que *S. crispa* y *S. bonariensis* demostraron ser más lentas, tardando 3 - 4 días (Tabla 2).

Tabla 2. Germinación acumulada (a) y Tasa de germinación (b) para el género *Sphaeralcea* con diferentes tratamientos pre-germinativos: control (C), ácido giberélico (GA_3), escarificación química (EQ), escarificación mecánica (EM), escarificación química + ácido giberélico (EQ+ GA_3) y escarificación mecánica + ácido giberélico (EM+ GA_3). Diferentes letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$) con la prueba de LSD Fisher.

a)	Variable	Tratamientos	<i>S. australis</i>	<i>S. bonariensis</i>	<i>S. crispa</i>	<i>S. mendocina</i>
Germinación acumulada (%)		C	47,5 ab	3,7 a	80,0 c	56,2 a
		GA_3	47,5 ab	5,0 a	56,2 b	62,5 ab
		EQ	55,0 b	16,2 a	43,7 b	82,7 c
		EM	77,5 c	58,7 b	98,7 d	83,7 c
		EQ+ GA_3	32,5 a	17,5 a	31,2 a	78,7 b
		EM+ GA_3	52,5 b	70,0 b	81,2 c	87,5 c

b)	Variable	Tratamientos	<i>S. australis</i>	<i>S. bonariensis</i>	<i>S. crispa</i>	<i>S. mendocina</i>
		C	10,2 b	5,2 ab	8,8 c	6,2 c
		GA	9,1 b	3,7 ab	6,1 b	4,6 bc
	Tasa de germinación (%)	EQ	4,0 a	11,1 c	3,2 a	3,0 ab
		EM	1,8 a	3,5 a	3,1 a	2,0 a
		EQ+GA3	2,7 a	9,0 bc	5,7 b	2,4 a
		EM+GA3	3,0 a	3,7 ab	3,8 ab	2,2 a

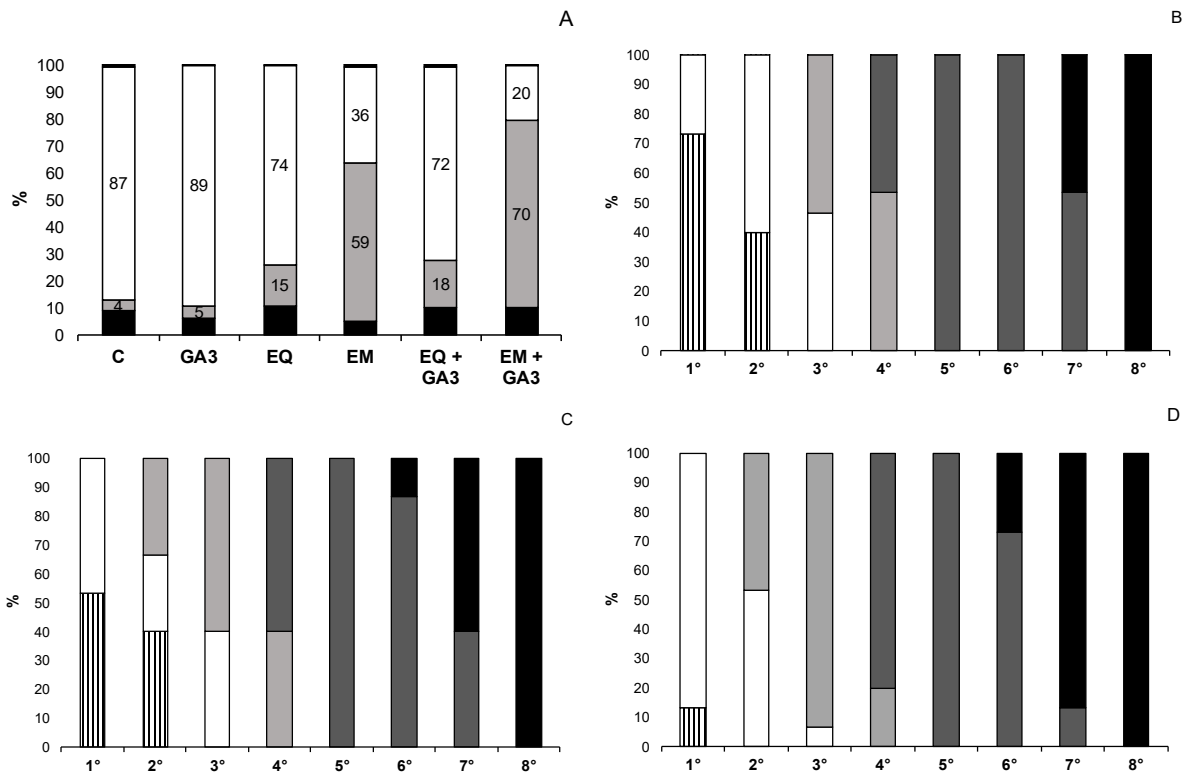


Figura 3. Porcentaje medio de semillas germinadas (barras grises), dormidas (barras blancas) e inviables (barras negras) para *S. bonariensis* (a), *S. australis* (b), *S. mendocina* (c) y *S. crispa* (d) con diferentes tratamientos pre-germinativos: control (C), ácido giberélico (GA₃), escarificación química (EQ), escarificación mecánica (EM), escarificación química + ácido giberélico (EQ + GA₃) y escarificación mecánica + ácido giberélico (EM + GA₃).

Caracterización fenológica y fenotípica en canteros

Caracterización fenológica

Etapa vegetativa: En general, las plantas de *Sphaeralcea* comenzaron a vegetar profusamente a principios de septiembre, y el crecimiento se extendió hasta noviembre, a través de la formación de nuevos vástagos, especialmente basales.

Etapa reproductiva: Se inició hacia principios de noviembre, momento en que se detectaron los primeros botones florales. Durante este mes, el estado de botón floral alcanzó al 87% de los individuos de *S. crisper* y *S. bonariensis*, al 47% de los de *S. australis* y 27% de los de *S. mendocina*. El estado de floración tuvo inicio a mediados de noviembre en todas las especies de *Sphaeralcea*, a excepción de *S. mendocina*, en la cual se registró para principios de diciembre. En el mes de diciembre, las especies apreciablemente más floridas fueron *S. crisper* y *S. bonariensis* con el 93% y 87% de floración, respectivamente. *S. australis* y *S. mendocina* exhibieron un 60% y 53% de los individuos en floración, respectivamente. En el mes de enero el 100% de las plantas de *Sphaeralcea* estuvieron en plena floración. En febrero y marzo el estado más frecuente entre las especies de *Sphaeralcea* fue el de floración/fructificación, mientras que en abril el total de los ejemplares alcanzó el estado de fructificación (Figura 4).

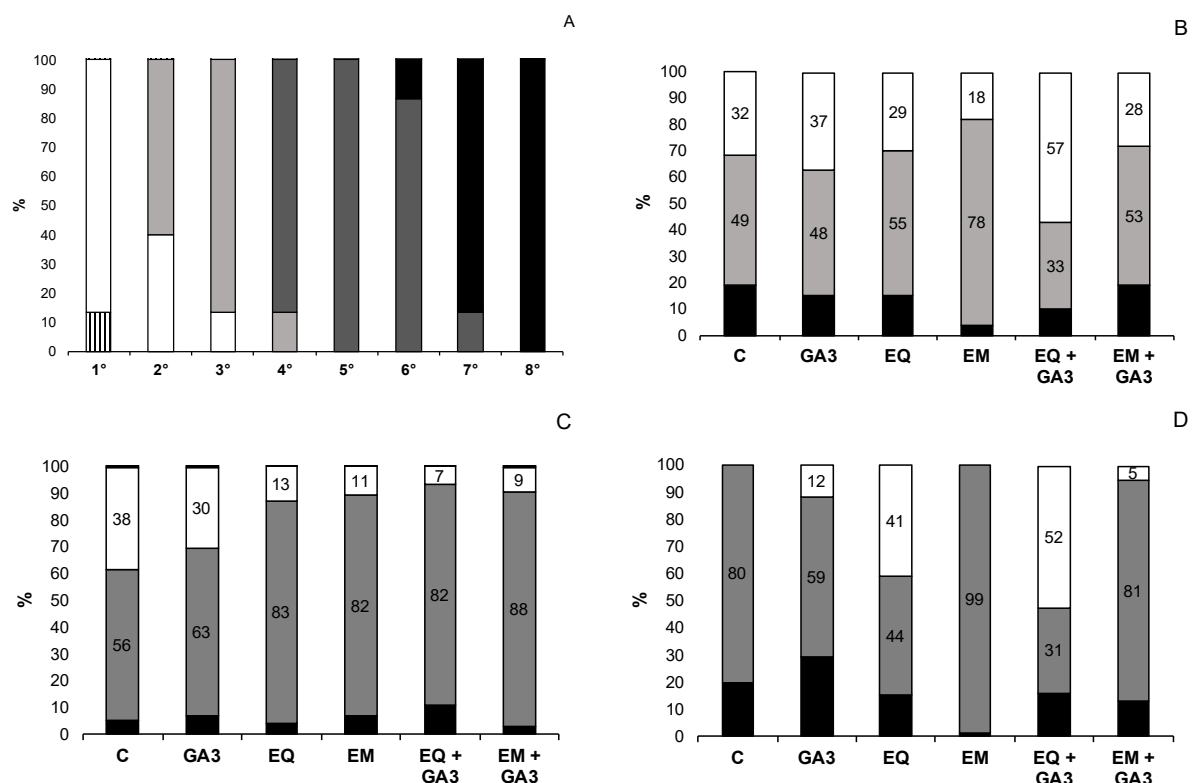


Figura 4. Porcentaje de individuos de *S. bonariensis* (a), *S. australis* (b), *S. mendocina* (c) y *S. crisper* (d) en diferentes etapas fenológicas: Estado vegetativo (barras rayadas), Botón floral (barras blancas), Floración (barras grises claro), Floración/Fructificación (barras grises oscuro), Fructificación (barras negras). Fechas de toma de datos: 1° (1/11/19), 2° (15/11/19), 3° (2/12/19), 4° (30/12/19), 5° (27/1/20), 6° (17/2/20), 7° (19/3/20), 8° (17/4/20).

Caracterización fenotípica

El análisis de Componentes Principales (biplot) basado en los 11 rasgos métricos de 60 individuos mostró una clara separación de las especies nativas de *Sphaeralcea* respecto al CP1 formando dos grupos: el primero constituido por individuos de *S. bonariensis* y el

segundo por plantas de *S. australis*, *S. crispa* y *S. mendocina* (Figura 5). Los dos primeros CP explicaron el 60,7% de la variabilidad total de las observaciones. El CP1 explicó las variables altura de planta, diámetro de planta, ancho y largo de hoja, largo del pecíolo, largo de inflorescencia, número de inflorescencias y número de flores por inflorescencia. El CP2 explicó los rasgos diámetro de corola, largo de pétalos y ancho de pétalos. La interpretación sobre las relaciones conjuntas entre observaciones y variables muestra, para la especie *S. bonariensis*, los mayores valores de altura de planta, diámetro de planta, tamaño de hoja y largo de inflorescencia. Esto confirma para *S. bonariensis* un porte significativamente mayor que el resto de las especies de *Sphaeralcea*. Por otro lado, existe una alta correlación entre dichas variables, ya que los ángulos entre los vectores que representan las variables son muy pequeños. Sin embargo, no existe correlación entre los rasgos anteriores y los florales (diámetro de corola y largo y ancho de pétalos). Los valores de estas últimas variables son mayores en *S. australis*, *S. crispa* y *S. mendocina*, aspecto al cual puede atribuirse su cualidad de ser más vistosas (Figura 5). El análisis descriptivo de los caracteres cualitativos permitió describir a las especies mostrando que, de los 16 rasgos evaluados, nueve son propios del género, puesto que no difirieron entre las *Sphaeralcea* y los siete restantes son propios de cada especie. Los nueve rasgos que caracterizaron al género fueron: 1) ramificación basal, 2) forma basal de la hoja cuneada, 3) superficie de las hojas encrespada, 4) forma de las hojas lanceolada, 5) tipo de inflorescencia terminal, 6) forma de inflorescencia en panoja con grupos florales, 7) forma apical de los sépalos acuminada, 8) contorno de los pétalos levemente ondulado y 9) disposición de los lóbulos de la corola solapados. De los siete rasgos cualitativos restantes, el porte de planta semierecto y la ausencia de fragancia caracterizaron a *S. australis*, *S. crispa* y *S. mendocina* que se diferenciaron de *S. bonariensis* especie para la cual se observaron plantas de porte erecto y con leve fragancia en sus flores. Respecto al color de las hojas y color de los sépalos correspondió al verde grisáceo en el caso de *S. australis* y *S. mendocina*, mientras que en *S. crispa* y *S. bonariensis* fue verde claro. Por otro lado, *S. mendocina* y *S. bonariensis* se caracterizaron por presentar hojas poco divididas con márgenes muy aserrados, mientras que *S. australis* y *S. crispa* cierta variabilidad en ambos caracteres, con valores de 80% y 67% de los individuos con hojas poco divididas y el resto muy divididas, respectivamente. El 80% de las plantas de *S. australis* y el 53% de las de *S. crispa*, presentaron los márgenes de las hojas poco aserrados, mientras que los individuos restantes mostraron hojas con márgenes muy aserrados. El color de las flores fue variado entre las especies: naranja para *S. australis* y *S. crispa*, rosado para *S. mendocina* y rosa salmón para *S. bonariensis*. De acuerdo con los resultados obtenidos aplicando el instrumento de valoración de la Tabla 1, el potencial ornamental para las cuatro especies de *Sphaeralcea* es alto. Se obtuvo una sumatoria total de 22 puntos para *S. mendocina*, 21 puntos para *S. australis* y *S. crispa* y 20 puntos para *S. bonariensis* (Tabla 3).

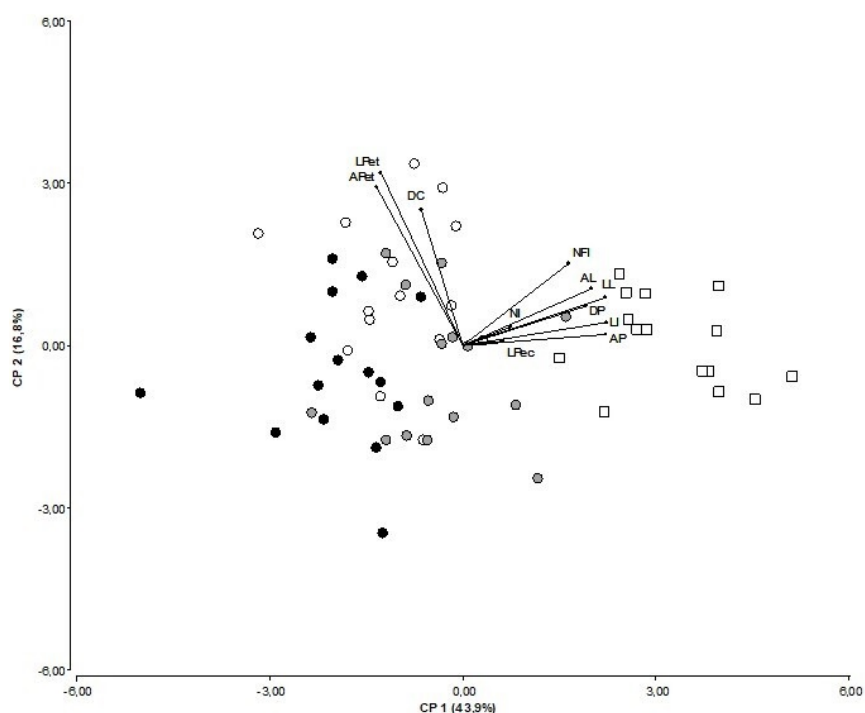


Figura 5. Análisis de componentes principales (biplot) de rasgos morfológicos métricos (Altura de planta, AP; Diámetro de planta, DP; Ancho de limbo, AL; Largo de limbo, LL; Largo de pecíolo, LP; Número de inflorescencias, NI; Número de flores por inflorescencia, NFI; Largo de inflorescencia, LI; Diámetro de corola, DC; Largo de pétalos, LPet; Ancho de pétalos, APet) en individuos de *S. australis* (círculos negros), *S. crisper* (círculos grises), *S. mendocina* (círculos blancos) y *S. bonariensis* (cuadrados blancos).

Tabla 3. Calificación del potencial ornamental de las especies nativas de *Sphaeralcea*. Criterios de valorización, referidos en la Tabla 1 (Ramírez Hernández *et al.*, 2012).

Criterio	Especies nativas de <i>Sphaeralcea</i>			
	<i>S. australis</i>	<i>S. crisper</i>	<i>S. mendocina</i>	<i>S. bonariensis</i>
Tamaño de la flor o inflorescencia	3	3	3	3
Color de la flor	3	3	3	3
Abundancia de flores	3	3	3	3
Periodo de floración	3	3	3	3
Textura del follaje	3	3	3	2
Altura de la planta	2	2	3	2
Atracción de fauna silvestre	3	3	3	3
Uso local en jardines	1	1	1	1
Suma Total	21	21	22	20
Potencial ornamental	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

Ensayos de preferencia del público

La evaluación de las encuestas arrojó una jerarquía de las especies de *Sphaeralcea* cultivadas en los canteros del Jardín Botánico de Bahía Blanca y en el campus de la Universidad Nacional del Sur de acuerdo con el criterio, gustos y preferencias tanto del público en general como del especializado en el tema. El total de personas encuestada fue de 38 (N=17 en el Jardín Botánico y N=21 en la Universidad Nacional del Sur), de ese total el 72% tenía una alta afinidad/gusto por las plantas, el 23% una afinidad/gusto medio y el 5% bajo. La aceptación del género *Sphaeralcea* como una alternativa para su uso ornamental en canteros, lideró en gusto *S. australis*, seguida por *S. mendocina*, *S. crispa* y *S. bonariensis* (Figura 6). El principal atractivo ornamental de las plantas fueron las flores (color y cantidad), seguido del porte y tipo de follaje. La mayoría del público encuestado (59% del Jardín Botánico y 81% de la Universidad Nacional del Sur) consideró que ninguna de las cuatro especies nativas necesitaría cambios en su estética ornamental para uso en canteros. Sin embargo, el 41% de las personas en el Jardín Botánico y el 5% de la Universidad Nacional del Sur, consideraron que, para competir con las plantas florales tradicionales, necesitarían un cierto grado de mejoramiento (Figura 7).

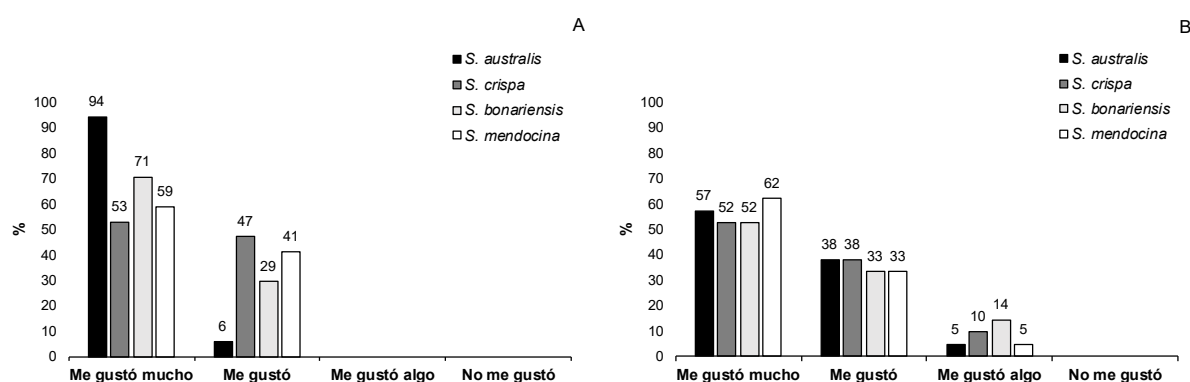


Figura 6. Porcentaje de personas encuestadas en el Jardín Botánico de Bahía Blanca (A) y Campus de la Universidad Nacional del Sur (B) sobre la aceptación y preferencia de las *Sphaeralcea*.



Figura 7. Porcentaje de personas encuestadas en el Jardín Botánico de Bahía Blanca y Campus de la Universidad Nacional del Sur (UNS) sobre las siguientes afirmaciones de las *Sphaeralcea*: A) Para competir con las plantas florales tradicionales necesitan mejoramiento, B) No podrían competir con las plantas florales del mercado y C) Estéticamente son lindas sin necesidad de cambios.

DISCUSIÓN

Se logró recolectar y estudiar cuatro especies nativas del género *Sphaeralcea*: *S. australis*, *S. crispa*, *S. mendocina* y *S. bonariensis* en las provincias de Buenos Aires y La Pampa, que representan el 28,6% del total de las especies de *Sphaeralcea* del Cono Sur (Zuloaga, 2019). A los efectos de contar la mayor variabilidad genética, se planteó el estudio sobre la base de la colecta de sus semillas. La escarificación mecánica fue el tratamiento pre-germinativo más eficiente para superar la dormición en las especies de *Sphaeralcea*, con un valor medio de velocidad de germinación de 2 a 4 días según la especie. Si bien los tratamientos de escarificación mejoraron significativamente la germinación de las semillas de *Sphaeralcea* con dormición, en todos los casos quedaron semillas viables sin germinar, lo que sugiere un grado de latencia fisiológica que no pudo ser superada por la adición de giberelinas en la dosis evaluada. Por lo tanto, se podría asumir que las semillas de estas especies presentan dormición combinada causada por la cubierta seminal impermeable (latencia física) y la latencia fisiológica del embrión. La dormición combinada ocurre en algunos miembros herbáceos de Malváceas (Baskin y Baskin, 2005). Cabe señalar que la aparición de semillas con latencia combinatoria en un género no significa necesariamente que esto sea cierto para todos los miembros del género (Quick, 1935). Esto se relaciona con lo observado en las plantas de *Sphaeralcea* donde *S. australis*, *S. bonariensis* y *S. mendocina* poseen dormición combinada y *S. crispa* demostró tener un muy bajo grado de dormición en sus semillas. Un porcentaje de germinación acumulada por encima del 75% es considerado un valor óptimo para la propagación y repoblación de diversas áreas (Payares Diaz *et al.*, 2014). Así, la especie *S. crispa* que posee una latencia insignificante o nula, puede considerarse como aceptable candidata para su uso en repoblación de áreas urbanas. Por su lado, los resultados obtenidos para *S. australis*, *S. mendocina* y *S. bonariensis* indican que es necesario profundizar en la investigación de los mecanismos de latencia y desarrollar técnicas de germinación confiables antes de que las semillas puedan usarse de manera efectiva.

En condiciones de cultivo las *Sphaeralcea* vegetaron durante aproximadamente entre 70 y 80 días hasta que a mediados de la primavera las plantas comenzaron a florecer. Durante el verano se mantuvieron con una floración profusa y prolongada por más de cuatro/cinco meses dependiendo de la especie. Las plantas presentaron valor ornamental desde la brotación y desarrollo del follaje hasta la dispersión de los frutos. Los vástagos florales fructificados mantuvieron sus receptáculos florales hasta el final de otoño, lapso en el cual se verificó el desprendimiento progresivo de los propágulos o semillas. El follaje se mantuvo durante el invierno en las cuatro especies de *Sphaeralcea*, aunque en diferentes condiciones. *S. australis* fue la que mantuvo el follaje más denso.

Tanto el análisis multivariado de los caracteres morfológicos métricos como el descriptivo, permitieron identificar y explorar las similitudes y diferencias entre las plantas y especies de *Sphaeralcea*. Se logró cuantificar una interesante variabilidad genética entre y dentro

de las poblaciones, condición esencial para el inicio de un programa de domesticación y mejoramiento de recursos genéticos nativos. El instrumento de matriz de valoración propuesto por Ramírez Hernández *et al.* (2012) del potencial ornamental de las especies nativas, arrojó valores altos en casi todas las categorías evaluadas. Los resultados mostraron un importante valor ornamental para las cuatro especies de *Sphaeralcea*.

Los ensayos de preferencia del público en general y el especializado llevados a cabo en el Jardín Botánico de Bahía Blanca y en el campus de la Universidad Nacional del Sur, permitieron conocer el interés y las preferencias del consumidor. Los resultados mostraron una alta aceptación del género *Sphaeralcea* como opción de uso ornamental para su aplicación en canteros. Desde esta perspectiva, la especie más destacada fue *S. australis*. La medición del grado de preferencia es un complemento interesante a las evaluaciones de aptitud ornamental.

CONCLUSIÓN

Los resultados preliminares en el estudio de las especies nativas *S. australis*, *S. crispa*, *S. mendocina* y *S. bonariensis* permitieron valorar el germoplasma de las cuatro especies del género *Sphaeralcea* con miras a dos objetivos fundamentales: a) su introducción en el mercado con fines comerciales y b) su aprovechamiento en los espacios verdes públicos urbanos desde la óptica ecológica o ambiental. Si bien la aceptación de las plantas de *Sphaeralcea* por parte del público encuestado fue alta y el mayor porcentaje de las personas consideró que no eran necesarios cambios en términos de su estética ornamental, para un segmento de los encuestados el mejoramiento proporcionaría a las especies la capacidad de competir con las especies tradicionales. Por lo tanto, con base en la variabilidad existente en el género, se considera oportuno dar continuidad al estudio de la biología reproductiva en las especies de *Sphaeralcea* como fase subsiguiente de un plan de domesticación.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional del Sur (proyecto “Valorización de plantas nativas para su uso ornamental” PEU2018 resolución CSU-237/19) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

REFERENCIAS

- BASKIN, C.; BASKIN, J. 1998. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press.
- BASKIN, C.; BASKIN, J. 2005. Chapter 9: Seed Dormancy in Wildflowers. En: Flower Seeds Biology and Technology. Edited by McDonald MB and Kwong FY. CABI Publishing. Cambridge USA, 372 pp.
- BASKIN, C.; BASKIN, J. 2014. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Elsevier.
- CHAPIN, F.; ZAVALA, E.; EVINER, V.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P.; REYNOLDS, H.; HOOPER, D. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405, 234-242.
- DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ECHEVERRÍA, M.; ALONSO, S. 2012. Initial growth of *Chrysolaena flexuosa* (Sims) H. Rob., native *Asteraceae* with ornamental potential value. *Rev. FCA UNCUIYO* 44(2): 89-98.
- ERICKSON, T.; MERRITT, D.; TURNER, S. 2016. Overcoming physical seed dormancy in priority native species for use in arid-zone restoration programs. *Australian J. of Botany* 64, 401–416.
- FERNANDES DE CAMPOS, K.; SAPATINI, J.; PEDROSO DE MORAES, C. 2015. Superação de dormência em sementes de *Bombax malabaricum* D.C. (*Malvaceae*). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*. 17 (4), 515-520.
- GUTIERREZ, A.; VILLAMIL, C.; MARINANGELI, P. 2019. De la naturaleza al mercado: cómo lograr una nueva planta ornamental a partir de flora nativa. *Revista Bordeu* 20-21.
- HAFIZ, H.; TANVEER, A.; NADEEM, M. 2012. Evaluation of some seed dormancy breaking methods on germination of *Rhynchosia capitata* (Roth DC). *Pakistan. Journal of Weed Science Research* 18(4), 423-432.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION – ISTA. 2016. International rules for seed testing. Bassersdorf, Switzerland.
- KILDISHEVA, O.; DUMROESE, K.; DAVIS, A. 2011. Overcoming dormancy and enhancing germination of *Sphaeralcea munroana* seeds. *HortScience* 46(12), 1672-1676.
- KRAPOVICKAS, A. 2003. Malváceas. Familia de la Rosa de la China. En: Kiesling, R. (Ed.) *Flora de San Juan, República Argentina, Volumen II. Dicotiledóneas dialipétalas (Segunda parte): Oxalidáceas a Umbelíferas*: 105-135. Estudio SIGMA, Buenos Aires.

- LEPERLIER, C.; RIVIERE, J.; LACROIX, S.; FOCK BASTIDE, I. 2020. Overcoming germination barriers in four native *Malvaceae* shrub species of Reunion island to improve restoration in arid habitats. *Global Ecology and Conservation* 21: 00855.
- MARTÍNEZ, G.; BARBOZA, G. 2010. Natural pharmacopoeia used in traditional Toba medicine for the treatment of parasitosis and skin disorders (Central Chaco, Argentina). *Journal of Ethnopharmacology* 132, 86-100.
- MASINI, C.; ROVERE, A. 2015. Requerimientos germinativos de *Sphaeralcea mendocina* Philippi (*Malvaceae*), especie ruderal endémica de Argentina. In book: Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina 2. Publisher: IADIZA. Editors: E. Martínez Carretero, A. D. Dalmaso
- PAYARES DÍAZ, I.; MARIO CONTRERAS, O.; MEDRANO VÉLEZ, M.; MILLÁN ROMERO, E. 2014. Germination and seedling growth of *Myroxylon balsamum* (L.) Harms in the department of Sucre. *Colombia Forestal* 17(2), 193-201.
- PONCE, M.; VIDELA, E.; FIORETTI, S.; GALAT, E. 2006. Propagation of *Lecanophora heterophylla*. A native species with ornamental potential. *Revista FCA UNCuyo*. Tomo XXXVIII 2, 91-100.
- QUICK, C. 1935. Notes on the germination of *Ceanothus* seeds. *Madrono* 16, 23-30.
- RAMÍREZ HERNÁNDEZ, S.; PÉREZ VÁZQUEZ, A.; GARCÍA ALBARADO, J.; GÓMEZ GONZÁLEZ, A.; DE LA CRUZ VARGAS MENDOZA, M. 2012. Criterios para la selección de especies herbáceas ornamentales para su uso en paisajismo. *Revista Chapingo Horticultura* 18(1), 71-79.
- SRILADDA, C.; KRATSCH, H.; LARSON, S.; KJELGREN, R. 2012. Morphological and Genetic Variation among Four High Desert *Sphaeralcea* Species. *Hortscience* 47(6), 715-720.
- TORRES, Y.; LONG, A.; ZALBA, S. 2008. Reproduction of *Pavonia cymbalaria* (*Malvaceae*), a native species with ornamental potential. *Phyton* 77, 151-160.
- ZULOAGA, F.; BELGRANO, M.; ZANOTTI C. 2019. Actualización del catálogo de las plantas vasculares del cono sur. *Darwiniana* 7(2), 208-278.

PLANTAS NATIVAS DEL CENTRO OESTE ARGENTINO CON APTITUD ORNAMENTAL: EXPERIENCIAS EN MENDOZA

Graciela Cuesta², Sonia Fioretti¹, Inés Lorello^{1,2}, Alicia Pereyra^{2*}, María Teresa Gutiérrez¹, Juan Martín Cabral¹, Gabriel Pisi², Carla Baglio², Cecilia Di Renzi¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Centro Regional Mendoza-San Juan. Argentina.

*Autor para correspondencia: pereyra.alicia@inta.gob.ar

RESUMEN

En el oeste árido argentino crece una gran cantidad de especies nativas con potencial valor ornamental. Estas plantas están adaptadas a un clima con fuerte déficit hídrico anual, gran alternancia de temperaturas, tanto diarias como anuales, y baja humedad relativa a lo largo del año. La introducción de estas especies a cultivo, su domesticación y obtención de variedades comerciales, permitirá su empleo en proyectos de xeripaisajismo, responsables y coherentes con su entorno natural, que ayudarán a preservar recursos (plantas nativas y agua) cada vez más afectados por causas naturales o por acción antrópica. En Mendoza, desde la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, y el INTA se trabaja en la introducción de especies nativas y la evaluación de su potencial ornamental desde hace 15 años. En los últimos años se incorporó la evaluación por sus propiedades aromáticas. Se presentan los resultados obtenidos acompañados por la descripción de cada una de las especies estudiadas. Se evaluaron especies pertenecientes a cuatro géneros de la familia Asteráceas (*Solidago*, *Hysterionica*, *Verbesina*, *Grindelia*); una de Verbenáceas (*Glandularia*); dos de Malváceas (*Sphaeralcea*, *Lecanophora*); uno de Solanáceas (*Schizanthus*).

Palabras claves: nativas, xeripaisajismo, oeste argentino.

ABSTRACT

A large number of native species with ornamental potential grow in the arid west of Argentina. These plants are adapted to a climate characterized by extreme annual water deficit, large variations in daily and annual temperatures, and low relative humidity throughout the year. The domestication, cultivation and commercial varieties of these species will allow xeriscape landscaping projects to be designed in accordance with the natural environment. This will help conserve resources (native plant and water) that have been becoming increasingly limited by natural or human-made causes. For the last 15 years in Mendoza, the Faculty of Agrarian Sciences and INTA have worked on the identification and evaluation of native species for their ornamental potential. This work has more recently included the evaluation of their aromatic properties. A brief description of the species studied is presented along with a summary of the

results obtained from these efforts. These studies have addressed genera of the *Asteraceae* (*Solidago*, *Hysterionica*, *Verbesina*, *Grindelia*) genus of *Verbenaceae* (*Glandularia*), genera of *Malvaceae* (*Sphaeralcea*, *Lecanophora*); genus of *Solanaceae* (*Schizanthus*).

Keywords: native, xeriscape, argentine west.

INTRODUCCIÓN

En el oeste árido argentino existe un número importante de especies nativas con potencial valor ornamental, lo cual, sin dudas, ofrece ventajas en cuanto a su uso en jardines xéricos, debido a su adaptación a las condiciones de sequía locales. Existen numerosos trabajos sobre la flora nativa del oeste argentino pero pocos estudios evalúan su aptitud como plantas ornamentales. En este contexto se intenta identificar aquellas especies de la flora nativa con posibilidades de cultivo y uso con objetivo ornamental, así como también las que, por sus propiedades aromáticas, son muy demandadas en la nueva gastronomía. La utilización de estas plantas en proyectos de paisajismo, permite diseñar escenarios sobre la base de requerimientos coherentes con el entorno natural donde se ejecutarán, y así conservar la flora de nuestra región. En Mendoza, desde la Facultad de Ciencias Agrarias y del INTA se desarrollan proyectos de investigación que abordan la evaluación e introducción de especies nativas ornamentales desde hace 15 años. Los estudios se centran en la adaptación a cultivo y domesticación con distintos fines ornamentales, de especies pertenecientes a las familias Asteráceas (*Solidago*, *Hysterionica*, *Verbesina*, *Grindelia*), Verbenáceas (*Glandularia*), Malváceas (*Sphaeralcea*, *Lecanophora*), Solanáceas (*Schizanthus*).

El objetivo de este trabajo fue recopilar información sobre introducción y domesticación al cultivo de especies nativas del oeste argentino de bajos requerimientos hídricos con potencial ornamental. En base a observaciones a campo y revisión bibliográfica de trabajos realizados en Facultad de Ciencias Agrarias y del INTA, se realizó el listado de 8 especies agrupadas por género. Se indicó el ciclo de crecimiento y desarrollo y evaluaciones cuya finalidad fue estudiar su adaptación a un cultivo comercial.

Mendoza: características edafoclimáticas y vegetación predominante

La provincia de Mendoza se encuentra a más de 1.000 km del océano Atlántico y a solo 170 del Pacífico. El 96% de su territorio está constituido por espacios áridos no irrigados, mientras que el 4% restante corresponde a los oasis bajo riego, en los que se ha sistematizado el uso del agua superficial procedente de los ríos de deshielo de la Cordillera de los Andes (Alegre, 2015). La superficie de la provincia es de 166.900 km², de los cuales un tercio corresponde a la Cordillera de los Andes. En el resto del territorio predominan planicies con leve pendiente hacia el este (Capitanelli, 1967).

En la planicie el clima varía de árido a semiárido con precipitaciones de régimen estival. Las lluvias no superan los 200 mm anuales, mientras que la evapotranspiración alcanza los 800 mm anuales, lo que se traduce en un fuerte déficit hídrico. Existe gran amplitud térmica diaria y estacional. Las temperaturas medias anuales varían de 15 a 17 °C en el noreste de la provincia, y de 12 a 13 °C en el suroeste. La humedad relativa es generalmente menor al 50%. La radiación es intensa y la nubosidad baja (Pereyra, 2003).

Los suelos son heterogéneos, con predominio de aridisoles, pobres en materia orgánica y salinos, con frecuentes afloramientos rocosos y pedregosidad (Burkart *et al.*, 1999).

Según la Clasificación de Cabrera y Willink (1980), en las planicies predomina la Provincia fitogeográfica del Monte, con una vegetación de estepa arbustiva xerófila y halófila, acompañada por bosques de Algarrobos en áreas de napas freáticas poco profundas. Las especies características son las jarillas y el retamo (Cabrera y Willink, 1980).

La zona montañosa corresponde a la Provincia fitogeográfica de los Altos Andes y se caracteriza por su vegetación adaptada a las condiciones ambientales extremas. Se compone de especies perennes que forman matas bajas, rastreras o en cojín (*Azorella monantha*, *Adesmia subterranea*, entre otras), con gran desarrollo de órganos subterráneos; o anuales que a menudo crecen al abrigo de las rocas (Burkart, 1999; Méndez, 2009). En contraste con la aridez, dentro de la región Altoandina, es frecuente encontrar vegas siempre verdes que se desarrollan en fondos de quebradas, valles o depresiones, sobre suelos hidromorfos, con alta provisión de agua subterránea y escurrimientos superficiales permanentes. Son sitios de alta productividad y riqueza de especies vegetales (Carretero y Ontivero, 2016).

Hacia el sur de la provincia, en la región denominada Payunia, son característicos los fuertes vientos del oeste, las precipitaciones de invierno, los veranos secos y la ocurrencia de heladas casi todo el año (Pereyra, 2003). Aquí se produce el encuentro de tres distritos florísticos, el Monte Occidental, la Estepa Patagónica y la Región Altoandina (Roig *et al.*, 1980; Ruiz Leal, 1972). La forma de vida dominante son las fanerófitas (árboles o arbustos con yemas de renuevo a más de 25 cm del suelo). Dentro de las caméfitas, *Grindelia chilensis* es su principal representante (Teillier *et al.*, 2004). A partir de los 1.500 m de altitud predominan las plantas en cojín (Prina y Alfonso, 2002).

La gran heterogeneidad de la provincia en cuanto a microclimas, suelos y topografía posibilita la existencia de una significativa diversidad de especies con potencial ornamental. La mayoría de estas especies desarrolla estrategias adaptativas propias de climas áridos en cuanto a su morfología, anatomía y fisiología. A nivel radicular se destaca el desarrollo de un amplio sistema de exploración superficial en paralelo a otro profundo, que permite captar tanto el agua de lluvia estacional, como la subterránea. La arquitectura de la planta, la disminución foliar, el grosor de la cutícula, los tallos fotosintéticos, la presencia de pelos o sustancias resinosas, evitan la evapotranspiración. Para acumular agua algunas especies desarrollan órganos reservantes carnosos y suculentos; las espinas, hojas duras y punzantes son de utilidad para defenderse de los herbívoros.

Especies nativas del oeste argentino con potencial uso ornamental

Género *Glandularia* J.F. Gmel., verbenas, Familia *Verbenaceae*

Este género presenta especies endémicas en la precordillera y vegeta en suelos pedregosos. Las especies de *Glandularia* son generalmente plantas de hábito rastrero o decumbente, con hojas de lámina dividida y apéndices glandulares en las anteras. En algunos casos presentan ramas floríferas erectas, con estilo tres veces más largo que el ovario, inflorescencias en espigas umbeliformes en la antesis, con el raquis alargado o no en la fructificación. El número cromosómico básico es $x=5$ (Troncoso, 1974). Estas plantas atraen abejas, mariposas y otros artrópodos por lo que su uso también beneficia al ecosistema (O'Leary y Peralta, 2007).

Muchas especies de este género han sido citadas por su valor ornamental. Hacia mediados del siglo pasado, Covas y Schnack (1944) destacan en particular a *Glandularia perakii* Covas & Schnack, como especie con potencial ornamental.

Otras especies del género fueron evaluadas en techos verdes. *Glandularia híbr.*, material de la colección de trabajo del programa de mejoramiento de la Universidad Católica de Córdoba, alcanzó el máximo porcentaje de cobertura en 86 días y mantuvo su floración por 5 meses en primavera verano (Cáceres *et al.*, 2018), en ensayos realizados en la ciudad de Córdoba.

En las experiencias a partir de esquejes colectados de poblaciones espontáneas de Mendoza, San Luis y Chile, se obtuvieron plantas *G. peruviana* (Figura 1) y *G. tenera*. Se cultivaron en parcelas con suelo franco arcilloso, provistas de riego por goteo en la localidad de Chacras de Coria, provincia de Mendoza, comportándose bajo estas condiciones como anuales o bienales. En el mismo ensayo se evaluó el comportamiento de *Glandularia híbr.*, hibridación espontánea identificada en Mendoza, resultante del cruzamiento entre plantas de *G. tenera* con flores moradas y plantas de la misma especie con flores rosas. Este híbrido manifestó mayor tamaño de flor, coloración intermedia, mayor resistencia al frío invernal ($-8\text{ }^{\circ}\text{C}$) y mayor longevidad en cultivo, el cual se extendió durante 8 años. Tanto *G. tenera* como *Glandularia híbr.* resisten heladas (Videla *et al.*, 2010).

En *G. perakii* la aplicación de hormonas, AIB 4000 ppm, indujo un 70% de enraizamiento de esquejes, mientras que solo se observó un 35% en el testigo sin hormonas (Ponce, 2002).



Figura 1. (A). *Glandularia perakii* (flor lila) y *G. peruviana* (flor roja) cultivadas con riego por goteo en la localidad de Chacras de Coria, Mendoza, Argentina. (B) Clones en desarrollo del Instituto de Floricultura INTA Castelar, con muy buena respuesta en Mendoza, Izquierda 13-224#4, derecha 13-230#6.

Cuando se realizaron ensayos comparativos entre clones y variedades comerciales de *Glandularia*, obtenidas en el Instituto de Floricultura, INTA. Los clones evaluados, especialmente el 13-224#4 y el 13-230#6, mostraron una respuesta favorable y un comportamiento vegetativo anual para las condiciones de Mendoza. Por otro lado, en ensayos con tres láminas de riego (200, 400 y 800 mm), las variedades comerciales desarrollaron mayor diámetro que los clones. La variedad comercial Alba INTA fue indiferente a los tratamientos, mientras que Natalí Rosa INTA y Extrema Roja INTA disminuyeron su crecimiento con menor lámina de riego. Entre los clones, el 13-230#5 manifestó mejor adaptación a las condiciones del ensayo, y no mostró diferencias entre los tratamientos de 400 mm y 800 mm de riego. En todos los materiales el número de flores aumentó en relación a un mayor aporte hídrico (Videla *et al.*, 2015) (Figura 1).

Género *Solidago* L, Familia *Asteraceae*

Solidago chilensis var. *chilensis* Meyen, vara de oro o penacho amarillo es una planta herbácea perenne rizomatosa, que alcanza una altura de 40 cm a 1 m, tiene tallos erectos, delgados, densamente hojosos hasta la inflorescencia. Hojas alternas, lineal lanceoladas, enteras y glabras. Sus abundantes flores se disponen formando una vara amarilla de donde deriva el nombre vulgar. Los capítulos son radiados, amarillos, muy numerosos y perfumados, dispuestos en panojas con ramas secundarias curvadas, con sus capítulos orientados hacia arriba. Las flores marginales son cortamente liguladas y las del centro tubulosas. Presenta una abundante floración durante el verano y otoño. El fruto es un aquenio ligeramente pubescente, con papus blanco. Prefiere suelos arenosos y húmedos, pero también crece en sitios áridos (Green y Ferreyra, 2012). Se encuentra distribuida en toda América Austral donde forma extensos y densos parches de vegetación (Green y Ferreyra, 2012). Las especies *S. altissima* L. subsp. *altissima*, *S. gigantea* Aiton y *S. speciosa* Nutt conocidas como *goldenroad*, habitan

en el hemisferio norte donde son valoradas como ornamentales (Wiersema y León, 2013). La utilidad de esta especie no se limita a lo ornamental, se citan estudios que confirman su valor medicinal, mencionado también por los pueblos originarios (Gastaldi, 2016).

Las especies de este género se consideran maleza en muchas regiones del mundo debido a la agresividad de sus rizomas que son capaces de colonizar rápidamente suelos disturbados (Global Invasive Species Database, 2011). Sin embargo, bajo condiciones de cultivo raramente alcanzan densidades problemáticas (Werner *et al.*, 1976; Whitson *et al.*, 2004).

En Mendoza, *S. chilensis* se distribuye ampliamente a orillas de arroyos, acequias y canales de riego (Ruiz Leal, 1972) (Figura 2).

Con respecto a la multiplicación de la especie, (Cuesta *et al.*, 2005) encontraron que la misma se puede propagar por semilla aunque el poder germinativo es variable y disminuye con la edad de la misma. Se obtuvo mayor porcentaje de germinación cuando se aumentó la temperatura a 40 °C. En la producción de plantines, se observó una marcada diferencia en la altura de las plantas cultivadas en envases con distinto volumen de sustrato, por el contrario, no se observó efecto del tamaño del envase sobre el número de hojas. En bandejas multicelda con un volumen de sustrato de 30 cm³ los plantines alcanzaron el tamaño adecuado para el repique a los 55 días de la siembra. Luego del repique, se observó que el tamaño del envase afectaba el crecimiento y el aspecto ornamental, obteniéndose plantas de mayor diámetro, altura y número de vástagos en envases de mayor tamaño (3 L). La especie es tolerante a la salinidad (Cuesta *et al.*, 2006). En invernáculo, se observó muy buena respuesta en siembras al voleo con semilla cosechada en febrero (2019) y sembrada en la misma época. Los plantines alcanzaron el tamaño óptimo para su repique a los 6 meses luego de la siembra, y el tamaño comercial cuatro meses después del repique (maceta de 3 L) (Figura 2). Las plantas presentaron buena respuesta al trasplante (Fioretti, inédito), y cultivadas en canteros de cemento de 0,50 cm de profundidad, llegaron a una altura de entre 1 a 1,5 m a los 90 días del trasplante, formando una mata compacta y con floración desde fines de diciembre hasta marzo (Cuesta, inédito). En función de la agresividad que posee para invadir suelos a través de sus rizomas, se aconseja su cultivo en canteros.

Cuando se la evaluó para su aptitud como flor de corte, se encontró que su conservación pos cosecha alcanzó 7 días cuando se cortaron las varas con flores abiertas y 14 días cuando el corte se realizó con flores apenas mostrando color. Las varas despiden un aroma agradable durante la poscosecha (Cuesta *et al.*, 2006). También es posible su utilización como flor seca, para ello las varas deben cortarse con flores apenas abriendo.

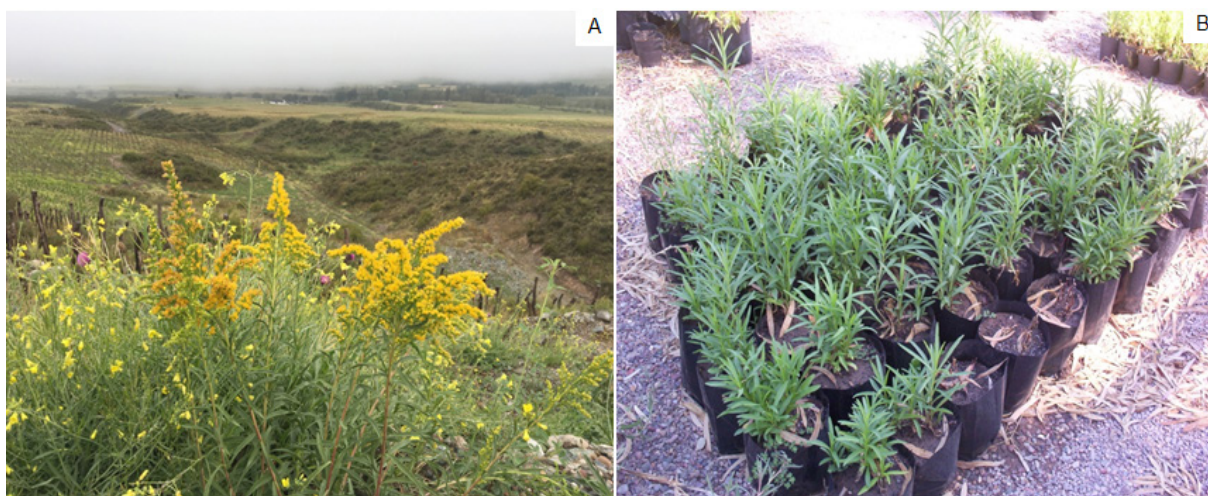


Figura 2. (A) *Solidago chilensis* en Las Carreras, Tupungato, Provincia de Mendoza. (B) Lote de plantas de *Solidago* listas para la venta.

Género *Hysterionica* Willd., Familia Asteraceae

Las plantas del género *Hysterionica*, conocidas vulgarmente como botón de oro, son hierbas anuales o perennes, hemicriptófitas o caméfitas pulvinadas. Presentan tallos simples y poco ramificados, escapiformes. Hojas alternas, a veces arrosetadas en la base. Capítulos radiados, involucre semiesférico, generalmente 3-seriado. Flores marginales amarillas o blancas. En el centro oeste argentino habitan 6 especies y solo dos en Mendoza (Espinar, 1980).

Hysterionica cabreræ Ariza, se encuentra en el noroeste de Mendoza, donde crece formando manchones en fisuras de rocas, también en San Juan y La Rioja. Las hojas tienen pelos cortos (1 mm). Su capacidad de crecer en grietas entre las rocas (Long, 2018; Espinar, 1980) indica su posible adaptación a jardines de rocallas.

Hysterionica jasionoides Willd, frecuente en baldíos y campos incultos. Es la más difundida ya que se extiende desde Santa Cruz hasta el norte del país, llegando a Uruguay. Es una especie polimorfa en cuanto a pilosidad y tamaño de las hojas. Inflorescencias en capítulos solitarios en el ápice de los tallos de unos 2 cm de diámetro, con flores de color naranja en el capítulo inmaduro que se tornan doradas al abrirse. Flores centrales hermafroditas y periféricas femeninas. Florece desde octubre a febrero. Alcanza una altura de 15 a 30 cm, con tallos erectos, cubiertos densamente por largos pelos blancos y ásperos. Fructifica desde noviembre a marzo (Ábalos, 2016). Se diferencia de *H. cabreræ* por presentar hojas con pelos o cerdas blancas de 2 a 4 mm (Espinar, 1980).

En ensayos con semillas de cuatro orígenes diferentes se obtuvo un porcentaje de germinación de semillas entre 20 a 40%, y aumentó entre un 25 y 60% cuando la semilla fue desinfectada con hipoclorito de sodio al 5%. Se logró un establecimiento del 80% de las plantas luego del repique.

En ensayos de introducción a cultivo, se observó que la especie tiene aptitud para ser cultivada en macetas y en canteros. El inicio de floración se produjo 60 a 75 días después de la siembra. La floración fue permanente durante el verano y hasta fines de otoño llegando a tener hasta 20 flores/planta en plena floración (Figura 3). El capítulo cambia de color a medida que desarrolla dando un aspecto llamativo en esta etapa. Se observó mejor crecimiento de las plantas en canteros que en macetas de 14 cm de diámetro; aunque en éstas también se manifestaron los caracteres ornamentales de la especie. Bajo cultivo en canteros, se verificó que los tallos fueron más fuertes, de crecimiento más erecto, y tuvieron un buen rebrote luego de una poda invernal. La conservación media de las flores cortadas fue de 5 días (Cuesta *et al.*, 2007 a).

Género *Verbesina* L., Familia *Asteraceae*

Verbesina encelioides (Cav.) Bentham & Hooker fil. ex Gray. mirasolillo, es una herbácea anual, con inflorescencias corimbiformes cuyos capítulos grandes de color amarillo (6cm) recuerdan a un pequeño girasol. Presenta flores femeninas marginales y hermafroditas en el centro del capítulo. Florece desde noviembre a febrero y sus frutos ovoides y alados de 5mm de largo, se agrupan en cabezuelas esféricas. El tallo es erecto, ramoso, estriado, pubescente y hojoso hasta el ápice (Ábalos, 2016). Alcanza una altura de 20 a 60 cm. Crece en zonas abiertas, en suelos arenosos y disturbados; es indicadora de destrucción de ambientes naturales (Ábalos, 2016), muy resistente a la sequía.

Se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina, Río Negro. Posee propiedades medicinales como antihemorrágica y cicatrizante. También se cita como forrajera (Figura 3).



Figura 3. *Verbesina encelioides*, mirasolillo.

En ensayos de germinación las semillas cosechadas en diciembre, febrero y abril presentaron un 19-25% de germinación con luz. La aplicación de diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio elevó este porcentaje a 56% en semillas cosechadas en diciembre. La respuesta al repique en vivero fue del 73% (Cuesta, 2005).

Género *Grindelia* Willd., Familia *Asteraceae*

En la Argentina habitan 20 especies de este género con cuatro variedades. Son plantas perennes (anuales y bienales en América del Norte), herbáceas, subarborescentes o arbustos. Presentan hojas alternas, sésiles o pecioladas, lineares, elípticas, obovadas, ovadas, pinnatilobadas o pinnatisectas, enteras, dentadas o aserradas. Capítulos solitarios o agrupados en el extremo de las ramas, radiados o discoides. Flores liguladas pistiladas, con la corola amarilla, subentera o trilobada en el ápice. Flores del disco perfectas, tubulosas, con el limbo 5-dentado. Aquenios comprimidos o prismáticos, glabros. Poseen glándulas resiníferas ubicadas en las hojas, tallos y brácteas florales. Su número cromosómico es $x=6$ (Bartoli y Tortosa, 1999).

El valor ornamental de este género radica en los llamativos capítulos amarillos dorados. Cáceres y colaboradores (2018), destacan la aptitud ornamental de *Grindelia cabreræ* Ariza especie que habita en Córdoba, para su empleo en techos verdes, donde manifestó un alto porcentaje de supervivencia, mantuvo buen aspecto durante al menos 5 meses y una floración prolongada.

Las especies más comunes en Mendoza son *G. pulchella* Dunal y *G. chiloensis* (Cornel.) Cabrera. Esta última, conocida vulgarmente como botón de oro o melosa, prospera hacia el sur de la provincia. Las dos especies presentan plantas de hábito erecto con capítulos solitarios. Según Beider (2012), *G. pulchella* es una planta que coloniza rápidamente áreas totalmente degradadas y mejora las condiciones del lugar para el establecimiento de otras especies.

Cuesta *et al.*, (2005) encontraron en ensayos con frutos que el poder germinativo de aquenios colectados en dos fechas distintas en Mendoza (febrero y abril) resultó bajo. Los plantines obtenidos presentaron buena respuesta al repique (67% de plantas establecidas) a diferencia de lo citado por Beider (2012) quien indica que los aquenios de *G. pulchella* carecen de dormición y pueden colectarse desde diciembre a abril

Si bien no se han realizado experiencias de multiplicación por esquejes en Mendoza, Wassner y Ravetta (2000) lograron obtener más de 64% de enraizamiento con esquejes herbáceos tomados sobre el 6.º al 8.º nudo. Los esquejes por debajo del 6º nudo no enraizaron.

Las especies de *Grindelia* que crecen en Mendoza, no se han evaluado por su aptitud para techos verdes, pero se espera una respuesta similar a la obtenida en la Provincia de Córdoba con *G. cabreræ*.

Género *Sphaeralcea* A. St.-Hil, malviscos, Familia *Malvaceae*

El género *Sphaeralcea* comprende más de 50 especies cortamente perennes, nativas de regiones áridas en el sur de Sudamérica, especialmente en Argentina, suroeste de EE.UU. y noroeste de México. Exhibe características como tolerancia a sequía, profusa floración y producción de semillas, por lo que resulta de interés para su uso en la revegetación de sitios áridos disturbados (Pendery, 1990). La floración y el color de las flores le dan también valor ornamental, existiendo cultivares para este fin en el mercado de semillas, aunque no se aclara a qué especie pertenecen. Según Krapovickas (1949), en el país habitan 12 especies, la mayoría concentradas en los sistemas de las Sierras Pampeanas y de Precordillera. En Mendoza se cita la presencia de *S. miniata* (Cav.) Spach, *S. mendocina* Phil. (Figura 4) y *S. philippiana* Krapov. (Ambrosetti *et al.*, 1986; Roig, 1976). Las tres especies muestran un período de floración desde primavera hasta fines de verano. Barrionuevo *et al.* (2006) destacan el valor ornamental de algunas especies de este género para su utilización en rocallas.

Las evaluaciones preliminares indican que la propagación de la especie por semilla presenta algunas dificultades. No se observaron diferencias significativas en el poder germinativo de *S. mendocina* en respuesta a distintas temperaturas, exposición a la luz o inmersión en agua caliente. Tratamientos con ácido sulfúrico 1 N durante 2 a 6 minutos permitieron aumentar el porcentaje de germinación de 1% a 50% (Cuesta *et al.*, 2013). Sin embargo, Videla *et al.* (2007), obtuvieron 56% de germinación a 22 °C para *S. miniata*, sin ningún tratamiento para semillas cosechadas en el mes de octubre, en plena floración. Cuando se cosecharon los frutos hacia fines de noviembre, en plena fructificación, el poder germinativo desciende a valores del 6%. Los porcentajes de germinación de semillas cosechadas en primavera de 2008 fueron superiores a los de la cosecha de otoño 2009 (15% y 9% respectivamente); a su vez, estos valores resultaron mucho más bajos que los de la cosecha 2005. Según Baskin y Baskin (1998) el estrés hídrico durante el proceso de maduración de la semilla afecta la germinación pudiendo aumentar la dormición. En este sentido y comparando ambos años de recolección, 2004-2005 con 275 mm de precipitación y 2008-2009 con 150,8 mm, puede concluirse que en años secos la semilla presenta dormición, provocando una escasa o nula germinación. En esta misma especie se obtuvo un 10% de germinación y plántulas normales a partir de un lote de semillas conservadas en condiciones ambientes durante 8 años. Ensayos de enraizamiento de esquejes en ambas especies mostraron porcentajes de enraizamiento entre 6 y 55% (Cuesta *et al.*, 2010). También se obtuvo enraizamiento de esquejes in vitro (Hidalgo, 2013; Cuesta *et al.*, 2009) (Figura 4).



Figura 4. *Sphaeralcea miniata* (A) y *S. mendocina* (B), esquejes enraizados (C) plantas in vitro (D).

Observaciones realizadas en flores en diferentes estados de desarrollo, indican que en *S. mendocina* los granos de polen se liberan antes de la apertura floral y el estigma está receptivo en los pimpollos (burbujeo con peróxido de hidrógeno 40 vol. al 3%), por lo que sería posible realizar cruzamientos antes que se abra el pimpollo (Cuesta, inédito).

Género *Lecanophora* Speg. malvisco violeta, Familia *Malvaceae*

Lecanophora heterophylla (Cav.) Krapov es una herbácea perenne que ocupa el área semidesértica desde el norte de la Patagonia (Río Negro y Neuquén) hasta Tucumán (Kiesling, 2003). Posee una gran amplitud ecológica, encontrándose en comunidades muy diversas de la llanura o de la montaña (Roig, 1981). Notable por sus hermosas flores, de unos 4 cm de diámetro, color rosado fuerte con el centro rojo vinoso, alcanza una altura de 15-40 cm. Las láminas foliares son muy variables: desde hojas basales lobadas hasta superiores trilobadas, laciniadas, hastadas o lineares. Desarrolla pocas flores de antesis secuencial, agrupadas en racimos terminales (Roig, 1981) (Figura 5).

En ensayos de germinación, se observaron diferencias significativas entre los porcentajes de germinación según la época de recolección de frutos. La germinación es muy baja cuando los frutos maduros se recolectan a comienzos de la floración (11%), aumenta en plena floración (87%), para disminuir hacia el final de la misma (59%) (Videla *et al.*, 2005). La máxima germinación se alcanza cuando los frutos son recolectados en plena floración para decaer después en el otoño (Ponce, 2006).



Figura 5. *Lecanophora heterophylla*, (A) detalle de la flor, (B), plantas en cantero en plena floración (a la izquierda del cantero, de flor amarilla, *Hysterionica jasionoides*).

Ensayos realizados para evaluar aptitud ornamental indicaron dos etapas fenológicas de valor ornamental para la especie. La primera, entre los 90 y 180 días, se destaca por el desarrollo de hojas grandes, lobuladas, pubescentes, dispuestas en roseta y de color verde intenso. La segunda, entre los 200 y 240 días, se destaca por la cantidad y color de las flores sobre un tallo postrado (Figura 5). Como aspectos negativos se menciona el crecimiento inicial lento que hace que el cantero permanezca mucho tiempo sin cubrir restándole valor ornamental (Cuesta *et al.*, 2007b).

Género *Schizanthus* Ruiz et Pav., mariposita, Familia *Solanaceae*

El género *Schizanthus*, endémico en América del Sur, se distribuye entre los 22° y 40° de latitud sur. Son plantas herbáceas, anuales o bienales, con hojas profundamente divididas, pinnatisectas o rara vez enteras o subenteras. Las Inflorescencias terminales presentan flores con dos brácteas pequeñas de tamaño desigual en la base del pedicelo, cáliz 5-partido, corola zigomorfa, bilabiada, con 5 segmentos profundamente laciniados: uno anterior, dos laterales y dos posteriores fusionados formando la quilla, de uno a varios colores. Cápsulas septicidas, bivalvas y numerosas semillas. En el país se cita la presencia de *Schizanthus grahamii* Gillies y *S. hookeri* Gillies ex Graham, sólo la primera especie se encuentra en Mendoza (Hunziker y Cosa, 2019) (Figura 6).

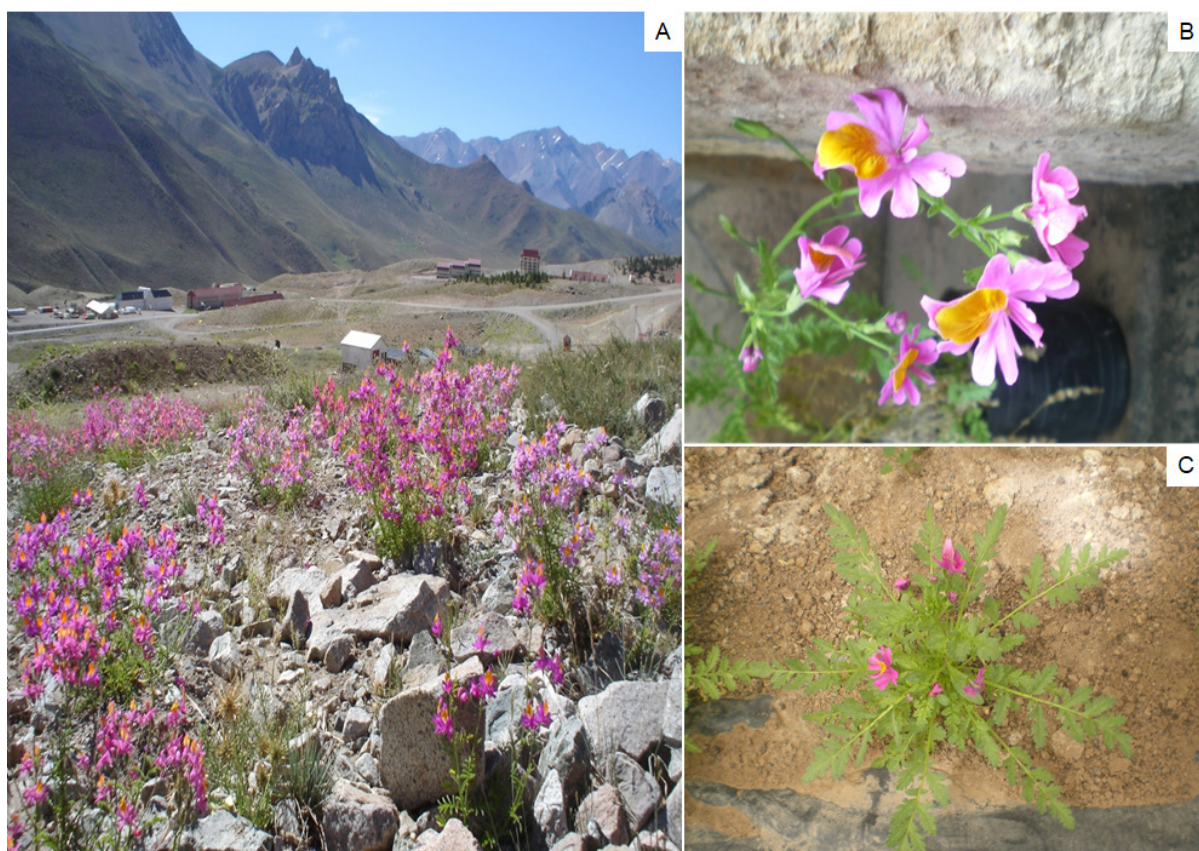


Figura 6. *Schizanthus grahamii*, en Malargüe, Provincia de Mendoza (A), *S. grahami* en maceta (B) y en suelo (C).

Ensayos realizados para evaluar su adaptación a cultivo y valor ornamental mostraron que plantas cultivadas en suelo tienen mayor altura que en su hábitat natural ($50,8 \pm 15,5$ cm y $34,8 \pm 9,4$ cm, respectivamente), pero se produce menor ramificación y por lo tanto el diámetro de la planta es menor ($32,7 \pm 8,5$ cm y $46,4 \pm 13,4$ cm, respectivamente). El desarrollo de la planta en macetas de 14 cm fue limitado, se observó mayor elongación de entrenudos y se pierde el valor ornamental. Tanto en las poblaciones naturales como en las plantas cultivadas en canteros, se observó variabilidad en color, tamaño, forma de las flores y hojas, y en el vigor de las plantas, indicando que es posible seleccionar líneas de diferente aspecto (Figura 6). La vida poscosecha de las flores cortadas fue de 7 días ($\pm 2,8$) (Cuesta *et al.*, 2008).

REFERENCIAS

- ABALOS, R. 2016. Plantas del monte argentino. Guía de campo. Ecoval ediciones. 219 p
- ALEGRE, F. 2015. Avance urbano en el piedemonte del Gran Mendoza. Centro de Cartografía del Medio Ambiente (CCMA). Facultad de Filosofía y Letras, UNCu. <http://geografiaccma.blogspot.com/2015/08/avance-urbano-en-el-piedemonte-del-gran.html>, verificado: 17/06/2020.
- AMBROSETTI, J.; DEL VITTO L. A.; ROIG, F. 1986. La vegetación del paso de Uspallata, Mendoza, Argentina. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel 91: 141-180.
- BARRIONUEVO, V.; PLANCHUELO, A.; FUENTES, E. 2006. Evaluación de plantas nativas para decorar nuestros jardines. Agro Sur 34(1-2), 45-47.
- BARTOLI, A.; TORTOSA R. D. 1999. Revisión de las especies sudamericanas del género *Grindhilaelia* (Asteraceae, Astereae). Kurtziana 27, 327-359.
- BASKIN, C.; BASKIN, J. 1998. Types of seed dormancy. En: Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Ed. Academic Press, San Diego, California. pp: 27-47.
- BEIDER, A. 2012. Viverización de Especies Nativas de Zonas Áridas. IADIZA-CONICET-UGAP (Unidad de Gestión Ambiental Payunia) Fundación CRICYT, Mendoza. <https://inta.gob.ar/documentos/viverizacion-de-especies-nativas-de-zonas-aridas>, verificado: 18/05/2020.
- BURKART, R.; BÁRBARO, N.; SÁNCHEZ, R.; GÓMEZ D. 1999. Eco-regiones de la Argentina. Adm. Parques Nacionales. Sec. Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación. <https://sib.gob.ar/ecorregiones>, verificado: 15/06/2020.
- CABRERA, A.L.; WILLINK, A. 1980. Biogeografía de América Latina. 2ª edición corregida. Monografía 13. Serie de Biología. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington DC. EEUU. 120 pp.
- CÁCERES, N.; IMHOF, L.; SUÁREZ, M.; HICK, E.; GALETTO, L. 2018. Evaluating Native germplasm for extensive green roof systems for semiarid regions. Ornamental Horticulture 24, 466-476.
- CAPITANELLI, R. G. 1967. Climatología de Mendoza. Boletín de estudios geográficos N° 54-57- Vol XIV. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11181/01-capitanelli.pdf, verificado: 15/06/2020.
- COVAS, G.; SCHNACK. B. 1944. Tres nuevas especies de *Glandularia* de la flora argentina. Revista Argentina de Agronomía 11 (2), 89-97.

CUESTA, G.; VIDELA, E.; FIORETTI, S. 2005. Recolección y evaluación preliminar de 5 especies nativas de Mendoza con posible valor ornamental. VII Jornadas Nacionales de Floricultura. Trevelin. Chubut. Argentina.

CUESTA, G.; VESPA, J.; SANCHEZ, L.; VIDELA, E.; FIORETTI, S.; CIALLI, C. 2006. Estudios preliminares sobre la adaptación de penacho amarillo (*Solidago chilensis*) con fines ornamentales. 3° Congreso Argentino de Floricultura. VII Jornadas Nacionales de Floricultura. La Plata, Buenos Aires.

CUESTA, G.; ARACENA, D.; TOLLER, F.; OCCHIUTO, P.; GALMARINI, C.R. 2007a. Nativas del Oeste: Evaluación de *Hysterionica jasionoides* Wild "Botón de oro" para su uso con fines ornamentales. XXX Congreso Argentino de Horticultura. La Plata, Argentina.

CUESTA, G.; FIORETTI, S.; VIDELA, E.; ARACENA, D.; TOLLER, F.; ASPRELLI, P. 2007b. Nativas del oeste: evaluación preliminar de *Lecanophora heterophylla* (Cav.) Krapovickas como ornamental en cantero. III Jornadas Nacionales de Flora Nativa. IV Encuentro de Cactáceas. Córdoba. Argentina. Libro de resúmenes pag. 95.

CUESTA, G.; FOSCHI, L.; PONCE, M.; TOLLER, F.; VIDELA, M.E.; FIORETTI, S.; GALMARINI, C.R. 2008. Nativas del Oeste: aptitud de *Schizanthus grahamii* para ser utilizada con fines ornamentales. XXXI Congreso Argentino de Horticultura. Argentina.

CUESTA, G.; PONCE, M. T.; RIQUELME, A.; FACCIUTO, G.; GALMARINI, C. R. 2009. Micropropagación de *Sphaeralcea* sp., nativa del oeste argentino con uso potencial en paisajismo. XVII Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais. IV Congresso Brasileiro de Cultura de Tecidos de Plantas, Brasil.

CUESTA, G.; FOSCHI, L.; VIDELA, M. E.; FACCIUTO, G.; GALMARINI, C. R. 2010. Recolección y domesticación de poblaciones nativas de *Sphaeralcea* sp. Evaluación para su utilización con fines ornamentales. V Congreso Argentino de Floricultura y Plantas Ornamentales. Entre Ríos, Argentina.

CUESTA, G.; PACHECO, D.; MUNDACA, S.; HIDALGO, R. 2013. Efecto de la estratificación y escarificación en la germinación de *Sphaeralcea miniata* (Cav) Spach. II Taller Regional sobre rehabilitación y restauración en la diagonal árida de Argentina. Mendoza, Argentina.

ESPINAR, L. 1980. Las especies centro argentinas de *Hysterionica* (*Compositae*). Darwiniana 22(4), 537-549.

FIORETTI, S. 2020. Techos verdes en regiones áridas y semiáridas. 5° Jornadas de Concientización en Paisajismo de regiones áridas.

GASTALDI, B.; MARINO, G.; ASSEF, Y.; CATALÁN, C.; GONZÁLEZ, S. B. 2016. Infusión de *Solidago chilensis* Meyen: actividad antioxidante y efecto antiproliferativo en células derivadas de cáncer de colon (T84). Dominguezia 32, 38-39.

GLOBAL INVASIVE SPECIES DATABASE. 2011. Invasive Species Specialist Group (ISSG). SSC- Species Survival Commission. International Union for Conservation of Nature. <http://www.iucngisd.org/gisd/>, verificado: 15/02/2020.

GREEN, L.; FERREYRA, M. 2012. Flores de la Estepa Patagónica: Guía para el reconocimiento de las principales especies de plantas vasculares de estepa. Ed: Vázquez Mazzini. Buenos Aires. 1.º ed. 288 p.

HIDALGO, R. 2013. *Sphaeralcea miniata*: Ajuste de una técnica para su micropropagación. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Agronomía. Facultad de Ingeniería, UNSJ. En biblioteca de la Facultad de Ingeniería, UNSJ.

HUNZIKER, A. T.; COSA, M. T. 2019. *Schizanthaeae*. En A. M. Anton & F. O. Zuloaga (directores), Flora Argentina. <http://www.floraargentina.edu.ar/>, verificado: 13/06/2020.

KIESLING, R. 2003. Reseña de "Flora de San Juan 2. Dicotiledóneas Dialipétalas (Segunda parte): Oxalidáceas a Umbelíferas" de R. Kiesling (ed.). Darwiniana 41, 105-135.

KRAPOVICKAS, A. 1949. Las especies de *Sphaeralcea* de Argentina y Uruguay. Lilloa 17, 179-222.

MARTINEZ CARRETERO, E.; ONTIVERO, M. 2016. Vegas. Ecosistema altoandino de importancia biológica, ecológica y socio-económica. En San Juan Ambiental. Capítulo XI. p. 199-213. Martínez Carretero. 1.º ed. 494 p. https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/upload/San_Juan_ambiental.pdf, verificado: 15/06/2020.

LONG, M. A. 2018. Especies comunes y raras en la flora de las sierras australes bonaerenses: Causas históricas, ecológicas y ambientales. Tesis doctoral, UNSur. 381 pp.

O'LEARY, N.; PERALTA, P. 2007. Nuevas combinaciones en el género *Glandularia* (*Verbenaceae*). Darwiniana 45, 218-230.

PENDERY, B.M.; RUMBAUGH, M.D. 1990. Survival and growth of globemal low [*Sphaeralcea*] species in dry land spaced-plant nurseries. J. Range Manage. 43, 428-432.

PEREYRA, F. X. 2003. Ecorregiones de la Argentina. Anales 37. 208 p. Bs As, Servicio Geológico Minero Argentino. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2953>, verificado: 15/06/2020.

PONCE, M.; VIDELA, E.; FIORETTI, S.; CIRRINCIONE, M.; MARINO C. 2002. Propagación por estacas de especies nativas: *Glandularia perakii*. IV Jornadas Nacionales de Floricultura. Argentina.

- PONCE, M.; VIDELA, E.; FIORETTI, S.; GALAT, E. 2006 Propagación de *Lecanophora heterophylla*. Especie nativa con potencial ornamental. Revista F.C.A, U.N. Cuyo. Tomo XXXVIII. N.º 2. Año 2006. 91-100.
- PRINA, A.; ALFONSO G. 2002. La importancia de las prospecciones florísticas en Biología de Conservación. Una experiencia en el árido del centro-oeste de Argentina. Ecosistemas 11(3). Asociación Española de Ecología Terrestre URL. <http://www.aeet.org/ecosistemas/.htm> verificado: 14/06/2020.
- ROIG, F.A. 1976. Las Comunidades vegetales del piedemonte de la precordillera de Mendoza. Ecosur 3 (5), 1- 45.
- ROIG, F.A. 1981. Flora de la Reserva Ecológica de Ñacuñán. Cuaderno Técnico IADIZA 3-80: 90-91.
- ROIG, F.A.; DE MARCO, G.; WUILLOUD, C. 1980. El límite entre las provincias fitogeográficas del Monte y de la Patagonia en las llanuras altas de San Carlos, Mendoza. Bol. Soc. Arg. Bot. 19, 331-338.
- RUIZ LEAL, A. 1972. Los confines boreal y austral de las provincias Patagónica y Central, respectivamente. Bol. Soc. Arg. Bot. 13, 89-118.
- TEILLIER, S.; PRINA, A.; ALFONSO, G.; LUEBERT, Y. F. 2004. Aporte al conocimiento de la flora de los Andes del suroeste del Departamento de Malargüe, Argentina. Chloris Chilensis, Año 7. N.º 1.
- TRONCOSO, N. 1974. Los Géneros de Verbenáceas de Sudamérica extratropical (Argentina, Chile, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Sur de Brasil). Darwiniana 18(3/4), 295-412.
- VIDELA, E.; FIORETTI S.; PONCE, M. 2001. Introducción al cultivo de especies nativas: *Glandularia perakii*. III Jornadas de Floricultura. 2001. IDR. Fundación Rural. Mendoza.
- VIDELA, E.; FIORETTI, S.; PONCE, M.; CARRIERI, S. 2005. Determinación de la época de recolección de semillas de *Lecanophora heterophylla*. VII Jornadas Nacionales de Floricultura. Trevelin. Chubut. Argentina.
- VIDELA, E.; DI CENZI, C.; FIORETTI, S.; PONCE M.; CARRIERI, S. 2007. Estudios preliminares sobre la germinación de *Sphaeralcea miniata*, nativa con interés ornamental. IX Jornadas Nacionales de Floricultura. Salta. Libro de resúmenes 112-114.
- VIDELA, E.; FIORETTI, S.; CARRIER, S.; AGUILAR, M.; OLIVA, R. 2010. Aspecto ornamental de especies de *Glandularia* cultivadas bajo riego por goteo. XXII Jornadas de Investigación. UNCuyo. Libro de resúmenes pág. 76.

- VIDELA, E.; FIORETTI, S.; BALLONI, A.; FAMA, F.; SORROCHE, L.; PONCE, M. 2015. Aspecto ornamental de *Glandularia* en respuesta a diferentes láminas de riego. Chacras de Coria, Mendoza. En XXXVIII Congreso Argentino de Horticultura. Bahía Blanca. Libro de resúmenes pág. 272
- WASSNER, D.; RAVETTA, D. 2000. Vegetative propagation of *Grindelia chiloensis* (*Asteraceae*). Industrial Crops and Products – Ind. Crops Products 11, 1: 7-10.
- WERNER, P.A.; PLATT, W.J. 1976. Ecological relationships of co-occurring goldenrolds (*Solidago: Compositae*). Amer. Nat. 110:959- 971.
- WHITSON, T.; BURRILL, L.; DEWEY, S.; CUDNEY, D.; NELSON, B.; LEE, R.; PARKER, R. 2004. Weeds of the West. Western. Ed: Society of Weed Science. University of Wyoming Press, Laramie. 9thEd. 630 p.
- WIERSEMA, J.H.; LEÓN, B. 2013. World economic plants: a standard reference. Ed. CRC Press. 2.º ed. 1336 p.

FOTOMORFOGENESE NA GERMINAÇÃO IN VITRO DE EMBRIÕES ZIGÓTICOS DE ABRICÓ-DE-MACACO (*COUROUPITA GUIANENSIS*)

Christian Aparecido Demétrio¹, Jéssica Fernanda de Oliveira Jacob¹, Guilherme Bovi Ambrosano¹, Charleston Gonçalves², Paulo Hercílio Viegas Rodrigues^{1*}

¹Laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas Ornamentais (LCTPO) – Departamento de Produção Vegetal – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, S/N – São Dimas CEP 13418-900 – Piracicaba, SP – Brasil.

²Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) – IAC - Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Horticultura. Av. Barão de Itapura – Botafogo CEP 13020902 - Campinas, SP – Brasil

*Autor para correspondência: phrviegas@usp.br

RESUMO

Plantas nativas com potencial ornamental, muitas vezes são comercializadas de forma clandestina causando danos ao meio ambiente e grandes prejuízos na cadeia produtiva de plantas ornamentais. A América Latina concentra a maior biodiversidade com potencial para uso ornamental, grande parte dessa reserva encontra-se inexplorada. A primeira dificuldade para a micropropagação é o estabelecimento das plantas nativas in vitro. Adicionalmente, problemas relacionados a nutrição das plantas in vitro, podem inviabilizar a domesticação de plantas com potencial ornamental. As condições de cultivo em sala de crescimento, com o uso de fontes de luz de LED (*Light emitting diode*), proporcionam desde o aumento de produtividade e qualidade dos explantes, até a possibilidade de induzir a rizogênese empregando combinações de espectros de luz de LED vermelho e azul. Sendo assim, o presente capítulo aborda métodos inovadores na multiplicação de Abriçó-de-Macaco (*Couroupita guianensis*), uma planta lenhosa nativa brasileira, com potencial ornamental. Os resultados obtidos indicam que o espectro de luz de LED na combinação de azul e vermelho induziu a formação de raízes secundárias nas plântulas e não houve diferença significativa quanto aos diferentes tipos de meio de cultivo avaliados.

Palavras-chave: germinação in vitro, enraizamento, floricultura, espectro de luz.

ABSTRACT

Native plants with ornamental potential are often traded clandestinely, causing damage to the environment and major losses in the ornamental plant production chain. Latin America concentrates the greatest biodiversity with potential for ornamental use, a large part of this reserve is unexplored. The first difficulty for micropropagation is the establishment of native plants in vitro. Besides, problems related to plant nutrition in vitro may make the domestication of plants with ornamental potential unfeasible. The growing conditions in the growth room,

with the use of LED light sources, provide everything from increased productivity and quality of explants to the possibility of inducing rhizogenesis using red and blue LED light spectra. Therefore, this chapter discusses innovative methods for the multiplication of Abraco-de-Macaco (*Couropita guianensis*), a native Brazilian woody plant with ornamental potential. The results obtained show that the LED light in the combination of blue and red spectrums, induced the formation of secondary roots in the seedlings and there was no significant difference regarding the different types of culture medium obtained.

Keywords: in vitro germination, rooting, floriculture, light spectra.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma expressiva biodiversidade de plantas ornamentais ainda inexplorada. A região de maior ocorrência dessas plantas é a amazônica, com extensas áreas de floresta tropical. Uma das plantas desse bioma, o abricó-de-macaco (*Couropita guianensis*), é utilizada como ornamental em jardins e praças (Pinheiro *et al.*, 2009). A madeira é muito utilizada em construção de interiores, marcenaria e caixotaria. No interior do Brasil é utilizada no fabrico de brinquedos e artefatos leves. A árvore em florescimento emite pelo tronco uma miríade de flores desde o solo até as ramificações superiores. Apesar de ser planta amazônica, desenvolve-se muito bem em terrenos secos do Centro Sul do Brasil (Sobrinho, 1999).

Em alguns países como a Índia, essa planta, denominada Cannon ball tree é utilizada como planta medicinal. O seu uso indiscriminado, na medicina popular dessa planta exótica pelos indianos, reduziu drasticamente sua população (Shekhawat e Manokari, 2016). No Brasil o desmatamento é a causa da redução na população dessa planta da família *Lecythidaceae*, ano após ano.

Na natureza, a propagação de *C. guianensis* é muito lenta, sendo restrita a germinação das sementes, que são recalcitrantes e, assim, de difícil armazenamento (Gousia *et al.*, 2013). Desse modo, a cultura de tecidos compreende um conjunto de técnicas com expressivo potencial para a propagação em larga escala dessa espécie.

A seleção do explante é condição básica para estabelecer um protocolo de propagação in vitro ou método de conservação in vitro (Jiang *et al.*, 2012). Outro fator a ser considerado é a concentração de sais no meio de cultivo. O meio de cultivo Murashige e Skoog (1962) (MS), inicialmente formulado para cultivo de células de tabaco, mostrou-se eficiente e responsivo na maioria das espécies de herbáceas. Protocolos de culturas como bananeira, abacaxi e morango (Galan *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2018; Mozafari *et al.*, 2018) apresentam poucas variações no meio básico MS.

Por outro lado, espécies lenhosas apresentam outras necessidades dos sais básicos com a redução de alguns macronutrientes. O meio de cultivo Woody Plant Medium (WPM) (Lloyd e McCown, 1980) apresenta uma composição mais diluída com 25% das concentrações de

íons nitrato e amônio quando comparado ao meio MS. Para plantas lenhosas, o meio WPM mostrou-se mais responsivo e resultou em melhores taxas de propagação (Yeung *et al.*, 2015; Shahzad *et al.*, 2017).

Sabe-se que um protocolo de propagação *in vitro* de uma espécie, muitas vezes não é o mesmo a partir do estágio de estabelecimento (etapa 1), passando pela propagação (etapa 2) até o enraizamento das plântulas (etapa 3). Adaptações do protocolo principal são realizadas dependendo da fase de desenvolvimento das culturas, alterando as concentrações de sais e reguladores de crescimento (Pence, 2011; Garcia *et al.*, 2011). Portanto, cada fase do protocolo de propagação *in vitro* deve ser avaliada de maneira separada, com o objetivo de otimizar o protocolo final (Al-Khayri, 2011).

Diferentes espectros de luz, a partir de diodos emissores de luz (LED), têm sido empregados na micropropagação em diversas culturas tais como cana-de-açúcar, morango, banana e orquídeas com objetivo de otimizar a produção e melhorar a qualidade da muda (Maluta *et al.*, 2013; Nhut *et al.*, 2001; Nhut *et al.*, 2003; Tanaka *et al.*, 1998). A luz tem efeito na morfogênese das plantas durante o desenvolvimento *in vitro* podendo causar alterações expressivas nos arranjos dos tilacóides nos cloroplastos, redução no tamanho dos explantes, na emissão e comprimento de raízes, número de estômatos nas folhas e teor de clorofila (Maluta *et al.*, 2013; Poudel *et al.*, 2008; Macedo *et al.*, 2011).

O objetivo do presente trabalho foi investigar o efeito de diferentes espectros de luz de LED associado a diferentes concentrações de sais em meio de cultivo no desenvolvimento *in vitro* de embriões zigóticos maduros de *C. guianensis*.

MATERIAL E MÉTODOS

Embriões zigóticos maduros de sementes de Abriçó-de-macaco (*C. guianensis*), foram extraídos a partir de sementes coletadas de frutos maduros de plantas da coleção da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP (Figura 1).

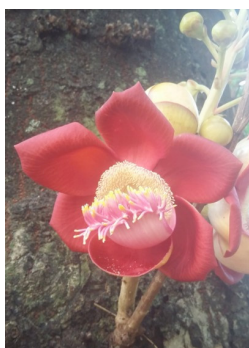


Figura 1. Flor de Abriçó-de-macaco (*Couropita guianensis*).

Os frutos foram coletados 330 dias após o florescimento na qual foram quebrados, sendo então extraídas e selecionadas 96 sementes (Figura 2a). As sementes foram embebidas em solução de hipoclorito a 50% por 10 minutos para auxiliar na remoção da polpa, em seguida, com auxílio de uma escova e em água corrente o resíduo de polpa foi removido. A assepsia das sementes ocorreu no interior da câmara de fluxo laminar, utilizando solução de hipoclorito 20% por 15 minutos com três lavagens em água destilada estéril. Em seguida os embriões foram excisados (Fig. 2b) e transferidos para tubos de ensaio PYREX (15 cm de comprimento por 2,5 cm de diâmetro) com tampas de polipropileno Kimble de diâmetro 25 mm, cada um contendo 10 ml de dois tipos de meio de cultivo, 48 tubos com meio MS 48 tubos com meio WPM, ambos suplementados com 3,0% de sacarose, gelificados com 0,2% de Phytigel® e pH ajustado para 5,8 (Figura 2c). Após a inoculação, as culturas foram mantidos em sala de crescimento sob quatro espectros de luz de LED (GreenPower TLED-Phillips™) sendo branca (CW), 70% vermelha + 30% azul (70R30B), 100% vermelha 645-675nm (100R) e 100% azul 450-465nm (100B), ajustados para 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidade luminosa (Licor LI-200), temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2$ e fotoperíodo 14/10 h (dia/noite). Para cada tratamento, os tubos de ensaio foram centralizados e dispostos de forma equidistante para receber uniformemente o espectro avaliado. Estudou-se o efeito dos espectros de luz e dos meios de cultura MS e WPM, realizando-se medições aos 15 dias (T1) e 30 dias (T2). Cada grupo foi composto por 6 repetições, resultando em um número total de observações igual a 96 (48 em cada tempo). A cada avaliação foram selecionados 6 tubos de ensaio, ao acaso, para realizar as medições das variáveis: altura das plântulas (do ápice vegetativo até o colo da raiz-cm); comprimento raiz (do colo da raiz até a ponta da raiz-cm); número de raízes secundárias (unidade); teores de clorofilas *a*, *b* (ClorofilLOG – Falker CFL-1030) e *Total*; massa fresca total (g) e massa seca total (g). Os dados foram analisados considerando delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4×2 (4 luzes × 2 meios de cultura), para cada um dos dois tempos. Antes de aplicar análise de variância (ANOVA), os dados foram submetidos à análise exploratória, e foram verificadas se as pressuposições estavam sendo atendidas. Algumas variáveis exigiram a transformação de Box-Cox para atender a estas pressuposições. Após a análise de variância, as comparações múltiplas foram realizadas pelo teste de Tukey. As análises foram feitas nos softwares R e SAS, com nível α de significância igual a 0,05. O nível de significância adotado para o desdobramento das interações foi igual a 0,25.

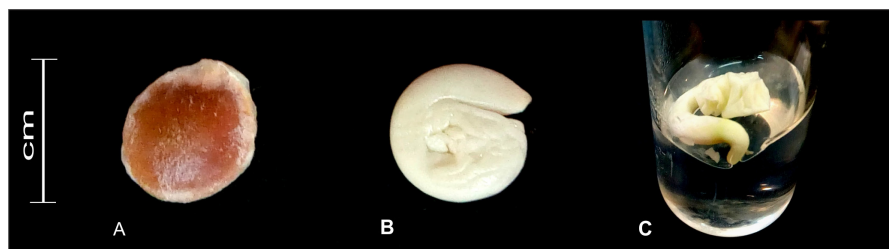


Figura 2. (A) Semente madura de *Couropita guianensis*; (B) embrião excisado, (C) embrião inoculado em tubo de ensaio contendo meio de cultivo. Barra: 1,0 cm (a e b); 2,0 cm (c).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os embriões excisados apresentaram 100% de germinação in vitro e não foi observada interferência dos tipos de meio de cultivo e dos diferentes espectros de luz. Resultado semelhante foi obtido por Muniswamy e Sreenath (2000), com 95% de germinação dos embriões de *C. guianensis*, mas empregando meio de cultivo MS com metade dos sais, suplementado com 0,1 mg/L de BA (Benzilaminadenina). Provavelmente a citocinina utilizada tenha contribuído para a germinação dos embriões, já que os frutos foram colhidos com 240 dias, não totalmente maduros como com 330 dias. Em macieira, o uso de 6-BA favoreceu o desenvolvimento de embriões imaturos in vitro (Dantas *et al.*, 2001) e em *Plukenetia volubilis*, a adição de 0,1 mg/L de 6-BA ao meio MS, resultou no desenvolvimento dos embriões in vitro (Kodahl *et al.*, 2017).

Após 30 dias da inoculação (T2), os embriões de *C. guianensis* não apresentaram diferença significativa entre os meios de cultivo para todas as características avaliadas (Tabela 1). Estudos com plantas nativas como baru (*Dipteryx alata* Vog), caju do cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) e caçari (*Myrciaria dubia* Kunth), avaliaram diferentes concentrações de sais e de meios de cultivo no desenvolvimento in vitro dessas espécies. Em baru, os estudos indicaram que o meio MS 100% apresentou o melhor desempenho quando comparado ao WPM e as concentrações de 25, 50 e 75% de MS (Araruna *et al.*, 2017). No ensaio com caju do cerrado, os meios MS (50 e 25%) e WPM (100 e 50%) foram os mais eficientes na regeneração de plantas (Assis *et al.*, 2012). Já em caçari, o meio WPM 100% foi superior aos meios MS e ao JADS nas concentrações de 25, 50, 75 e 100% (Araújo *et al.*, 2016). No presente trabalho, para o estágio 1 in vitro de *C. guianensis*, o tipo de meio de cultivo não influenciou no desenvolvimento dos explantes após 30 dias.

Tabela 1. Média (desvio padrão) da altura da planta (cm), comprimento de raiz (cm), número de raízes secundárias, massa fresca total (g) e massa seca total (g) de plântulas de *C. guianensis* em função do meio de cultura, do espectro de luz e do tempo (T1 = 15 dias e T2 = 30 dias).

Tempo	Meio de cultura	Altura da Planta (cm)			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	4,83 (1,31) Aa	5,48 (1,95) Aa	6,15 (0,90) Aa	6,23 (0,77) Aa
	WPM	4,50 (0,66) Ab	4,85 (0,60) Ab	4,15 (1,47) Ab	4,38 (0,93) Ab
	CV (%)	22,84%			
T2	MS	9,07 (0,90) Aa	7,52 (3,06) Aa	7,72 (1,27) Aa	7,98 (2,89) Aa
	WPM	8,27 (1,17) Aa	8,13 (1,02) Aa	7,65 (1,28) Aa	7,20 (0,75) Aa
	CV (%)	22,14%			

		Comprimento da raiz (cm)			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	2,08 (0,80) Ba	6,02 (0,99) Aa	2,37 (1,46) Ba	2,67 (1,88) Ba
	WPM	1,67 (0,66) Aa	1,73 (0,89) Ab	1,20 (1,69) Aa	1,68 (0,76) Aa
	CV (%)	28,99%			
T2	MS	4,03 (3,32) Aa	6,37 (2,49) Aa	5,07 (2,92) Aa	7,38 (5,50) Aa
	WPM	4,60 (2,05) Aa	7,70 (3,28) Aa	4,42 (2,46) Aa	5,53 (2,62) Aa
	CV (%)	29,92%			
		Número de raízes secundárias			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)
	WPM	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)
	CV (%)	—			
T2	MS	6,50 (4,51) ABa	12,00 (6,36) Aa	5,00 (5,62) Ba	6,33 (3,50) ABa
	WPM	9,83 (6,65) ABa	18,33 (7,53) Aa	7,67 (5,89) Ba	9,17 (8,82) ABa
	CV (%)	40,91%			
		Massa fresca (g)			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	0,91 (0,21) Aa	1,10 (0,33) Aa	1,01 (0,10) Aa	1,06 (0,12) Aa
	WPM	0,78 (0,15) Ab	0,82 (0,12) Ab	0,69 (0,15) Ab	0,78 (0,10) Ab
	CV (%)	19,67%			
T2	MS	2,02 (0,26) Aa	1,80 (0,57) Aa	1,52 (0,46) Aa	1,80 (0,72) Aa
	WPM	1,47 (0,31) Aa	1,94 (0,24) Aa	1,46 (0,44) Aa	1,69 (0,42) Aa
	CV (%)	26,56%			
		Massa seca (g)			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	0,25 (0,03) Aa	0,24 (0,05) ABa	0,23 (0,03) Ba	0,23 (0,02) ABa
	WPM	0,24 (0,03) Aa	0,24 (0,01) ABa	0,20 (0,03) Ba	0,24 (0,02) ABa
	CV (%)	11,84%			
T2	MS	0,32 (0,07) Aa	0,30 (0,09) Aa	0,24 (0,03) Aa	0,29 (0,05) Aa
	WPM	0,27 (0,02) Aa	0,28 (0,05) Aa	0,28 (0,02) Aa	0,24 (0,02) Aa
	CV (%)	18,14%			

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si ($p \leq 0,05$), letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical, dentro de cada tempo. MS = Murashige & Skoog; WPM = Wood Plant Media; CW = controle branco; R70B30 = 70% Vermelho + 30% azul; R100 = 100% vermelho; B100 = 100% azul.

Aos 15 dias em cultivo observou-se uma resposta mais efetiva das culturas ao meio MS, em relação à altura das plantas e na massa fresca total (Tabela 1).

A maior concentração de sais de nitrogênio em MS proporcionou o melhor desempenho do meio MS na avaliação em T1, o que não prejudicou o desenvolvimento final das culturas constatado em T2. Estudos prévios mostraram que a maior concentração de sais tem um resultado negativo no desenvolvimento das culturas, como foi observado em caju do cerrado, em que o meio MS completo foi prejudicial no desenvolvimento da cultura in vitro (Assis *et al.*, 2012).

Em relação ao comprimento das raízes, ocorreu diferença significativa em T1 com o meio MS o qual se mostrou superior ao WPM, mas apenas no espectro 70R30B. A interação positiva do meio MS com a combinação 70R30B resultou em crescimento significativo no comprimento da raiz nos primeiros 15 dias (Tabela 1).

As raízes secundárias formaram-se em T2, não ocorrendo formação dessas raízes em T1. Ocorreu diferença significativa entre os espectros de luz, sendo superior o 70R30B em comparação aos demais, e CW superior ao 100R e 100B (Tabela 1). A maior ocorrência de raízes secundárias em 70R30B pode ser uma característica promissora para o estágio 1 in vitro, podendo ser incluído no protocolo de germinação in vitro de embriões maduros, otimizando essa técnica de produção de mudas de *C. guianensis*. O melhor enraizamento in vitro dessas plântulas poderá facilitar a aclimatização dessas mudas e gerar plantas mais vigorosas (Figura 3).

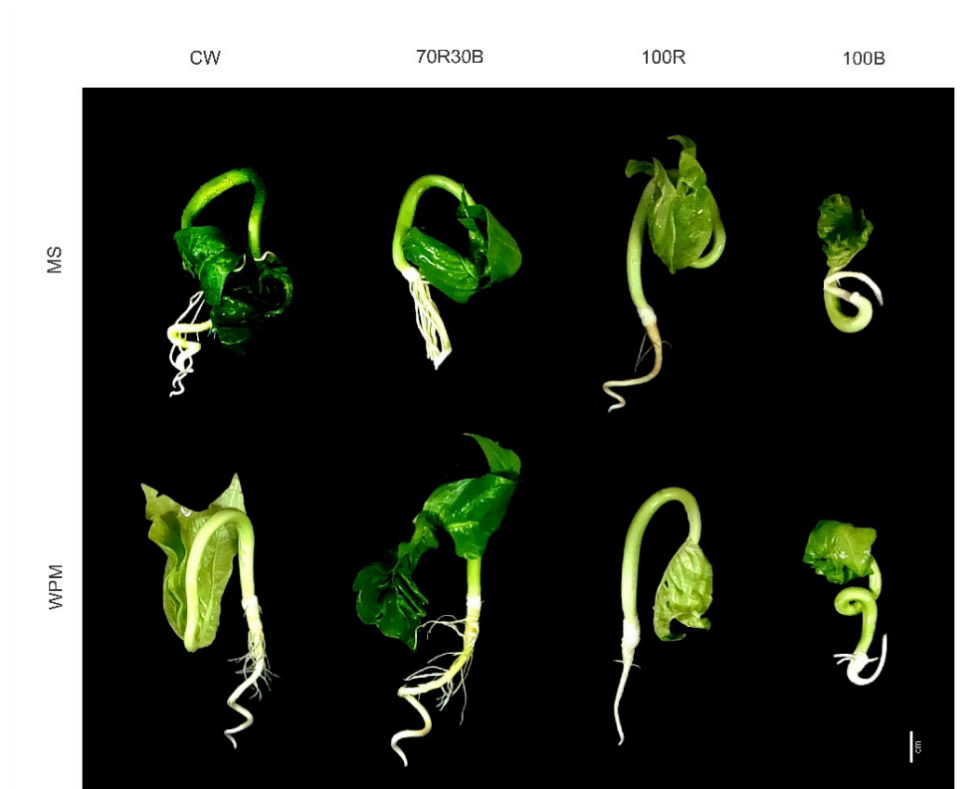


Figura 3. Germinação in vitro de embriões zigóticos de *C. guianensis* após 30 dias de inoculação (T2) em diferentes meios de cultivo e tratamentos de espectros de luz.

Sabe-se que fotorreceptores são ativados pela luz e regulam a diferenciação e o crescimento das plantas e os diferentes espectros de luz induzem a morfogênese nas plantas (Chung *et al.*, 2010; Muleo e Morini, 2006). Em *Heliconia champneiana* cv. Splash, foi observado no estudo de conservação in vitro, o maior número de raízes no tratamento de luz mista (70R30B), seguido do tratamento de luz branca (Rodrigues *et al.*, 2018). Em morango, na mesma proporção de 70R30B, o enraizamento das plântulas foi superior aos demais tratamentos de 100R, 100B e luz branca (Nhut *et al.*, 2003). Por outro lado, proporções de 1:1 e 3:1 dos espectros vermelho e azul não apresentaram resultados satisfatórios no enraizamento in vitro de protea e de colza (Wu e Lin, 2012; Li *et al.*, 2013). Desse modo, fica claro que os efeitos da associação dos espectros de luz, disponível para as culturas pode ser específico para cada espécie ou cultivar.

Na massa seca total não foi constatada diferença significativa entre os tipos de meio de cultivo nos tempos T1 e T2. Em T1, ocorreu menor produção de massa seca no tratamento de luz vermelha (Tabela 1).

O teor de clorofila variou em resposta aos diferentes tratamentos de espectros de luz. Não se observou variação das clorofilas em T2, por outro lado, em T1, ocorreu variação da clorofila a entre os espectros de luz no meio MS, sendo superior o 100B em comparação aos demais e o 70R30B superior ao 100R e CW. Para o espectro 100B ocorreu diferença significativa entre os meios de cultivo, com maior concentração desse pigmento no meio MS (Tabela 2).

Tabela 2. Média (desvio padrão) dos teores de clorofilas a, b e Total de embriões plântulas de *C. guianensis* em função do meio de cultura, do espectro de luz e do tempo (T1 = 15 dias e T2 = 30 dias).

Tempo	Meio de cultura	Clorofila a			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	16,32 (7,57) Ba	25,10 (5,93) ABa	20,95 (8,67) ABa	28,53 (4,65) Aa
	WPM	16,82 (6,09) Aa	16,39 (9,51) Aa	10,38 (1,68) Aa	12,80 (4,59) Ab
	CV (%)	35,45%			
T2	MS	24,28 (9,53) Aa	26,93 (8,66) Aa	16,58 (3,38) Aa	19,52 (8,90) Aa
	WPM	21,78 (7,51) Aa	26,95 (7,77) Aa	19,50 (5,52) Aa	28,73 (8,32) Aa
	CV (%)	33,37%			
		Clorofila b			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	3,48 (1,51) Aa	6,48 (2,56) Aa	4,28 (1,98) Aa	7,00 (1,73) Aa
	WPM	4,00 (1,74) Aa	4,29 (2,27) Aa	1,83 (0,38) Aa	3,02 (2,01) Ab
	CV (%)	35,19%			
T2	MS	5,70 (3,02) Aa	6,55 (3,53) Aa	3,47 (1,11) Aa	4,70 (2,90) Aa
	WPM	5,33 (2,48) Aa	6,47 (2,40) Aa	4,13 (1,73) Aa	7,83 (4,60) Aa
	CV (%)	31,15%			

		Clorofila Total			
		CW	70R30B	100R	100B
T1	MS	19,80 (9,05) Ab	31,58 (8,14) Aab	25,23 (10,35) Aab	35,53 (6,36) Aa
	WPM	20,82 (7,79) Aa	20,68 (11,64) Aa	12,21 (1,95) Aa	15,82 (6,50) Ba
	CV (%)	36,1%			
T2		29,98 (12,50)	33,48 (12,04) Aa	20,05 (4,40) Aa	24,22 (11,74)
	MS	Aa			Aa
		27,12 (9,88) Aa	33,42 (10,12) Aa	23,63 (7,17) Aa	36,57 (12,75)
	WPM				Aa
		CV (%)	11,31%		

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si ($p \leq 0,05$), letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical, dentro de cada tempo. MS = Murashige & Skoog; WPM = Wood Plant Media; CW = controle branco; R70B30 = 70% Vermelho + 30% azul; R100 = 100% vermelho; B100 = 100% azul.

Apesar de ser uma avaliação intermediária, estes resultados são consistentes uma vez que o espectro azul tem importante função na síntese de clorofila (Kurilcik *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2012). Para clorofila b, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos de espectros de luz em T1 e T2, observou-se diferença significativa em T1, para o tratamento azul entre os meios de cultivo, sendo superior no MS.

CONCLUSÕES

Não ocorreu diferença entre o desempenho dos meios de cultivo MS e WPM na etapa 1 do cultivo in vitro de *C. guianensis*. O uso do espectro 70R30B na etapa 1 do cultivo in vitro de *C. guianensis*, favoreceu a formação de raízes secundárias.

REFERENCIAS

- AL-KHAYRI, J.M. 2011. Basal Salt Requirements Differ According to Culture Stage and Cultivar in Date Palm Somatic Embryogenesis. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 7 (1), 32-42.
- ARARUNA, E.C.; RIBEIRO, O.J.P.; PEREIRA, V.J.; ASMAR, S.A.; MELO, B. 2017. Salt concentrations in culture media for the development of *Dipteryx alata* in vitro. Pesquisa Agropecuária Brasileira 52(12), 1295-1300.
- ARAUJO, M.C.R.; CHAGAS, E.A.; GARCIA, M.I.R.; PINTO, S.T.S.; CHAGAS, P.C.; VENDRAME, W. 2016. Micropropagation of caçari under different nutritive culture media, antioxidants, and levels of agar and pH. African Journal of Biotechnology 15(33), 1771-1780.

- ASSIS, K.C.; PEREIRA, F.D.; CABRAL, J.S.R.; SILVA, F.G.; SILVA, J.W.; SANTOS, S.C. 2012. In vitro cultivation of *Anacardium othonianum* Rizz.: effects of salt concentration and culture medium volume. *Acta Scientiarum Agronomy* 34(1), 77-83.
- CHUNG, J.P.; HUANG, C.Y.; DAI, T.E. 2010. Spectral Effects on embryogenesis and plantlet growth of *Oncidium* 'Gower Ramsey'. *Scientia Horticulturae* 124, 511–516.
- DANTAS, A.C.M.; NUNES, J.C.O.; MORAES, L.K.A.; PEDROTTI, E.L.; NODARI, R.O. 2001. Resgate de Embriões Imaturos In Vitro de Porta-Enxertos de Macieira (*Malus* spp). *Revista Brasileira de Fruticultura* 23(2), 246-249.
- GALAN, V.; RANGEL, A.; LOPEZ, J.H.; JUAN, B.P.; SANDOVAL, J.; ROCHA, H.S. 2018. Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Brasileira de Fruticultura* 40(4), e-574.
- GARCIA, R.; PACHECO, G.; FALCÃO, E.; BORGES, G.; MANSU, E. 2011. Influence of type of explant, plant growth regulators, salt composition of basal medium, and light on callogenesis and regeneration in *Passiflora suberosa* L. (*Passifloraceae*). *Plant Cell Tissue Organ Culture* 106, 47–54.
- GOUSIA, S.K.; ASHOK, K.K.; VINAY, K.T.; NAVEENA, L.L. 2013. Biological activities and medicinal properties of *Couroupita guianensis*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceut. Sci. Res.* 3(4),140–143.
- JIANG, Q.; ZHANG, Y.; ZHONG, C.; ZENG, B.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. 2012. Establishment of an in vitro plant regeneration protocol for *Casuarina cunninghamiana* Miq. Via indirect organogenesis. *New For.* 43,143–154.
- KURILCIK, A.; MIKLUSYTE-CANOVA, R.; DAPKUNIENE, S.; ZILINSKAITE, S.; KURILCIK, G.; TAMULAITIS, G. 2008. In Vitro culture of *Chrysanthemum* plantlets using light-emitting diodes. *Cent. Eur. J. Biol.* 3, 161–167.
- KODAH, N.; GARCÍA-DÁVILA, C.R.; CACHIQUE, D.; SØRENSEN, M.; LÜTKEN, H. 2018. An in vitro seed germination protocol for *Plukenetia volubilis* L. *Acta Horticulturae* 1201, 549-554.
- LI, H.M.; TANG, C.M.; XU, Z.G.; LIU, X.Y.; HAN, X.L. 2012 Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese Cabbage (*Brassica Campestris* L.). *Journal Agricultural Science* 4, 262–273.
- LI, H.; TANG, C.; XU, Z. 2013. The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae* 150, 117-124.

- MACEDO, A.F.; LEAL-COSTA, M.Y.; TAVARES, E.S.; LAGE, C.L.S.; ESQUIBEL, M.A. 2011. The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze. *Environmental and Experimental Botany* 70, 43-50.
- MALUTA, F.A.; BORDIGNON, S.R.; ROSSI, M.L.; AMBROSANO, G.M.B.; RODRIGUES, P.H.V. 2013. In vitro culture of sugar cane under different light sources. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48, 1303-1307.
- MOZAFARI, A.; HAVAS, F.; GHADERI, N. 2018. Application of iron nanoparticles and salicylic acid in in vitro culture of strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) to cope with drought stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 132, 506-511.
- MULEO, R.; MORINI, S. 2006. Light Quality regulates shoot cluster growth and development of MM106 Apple genotype in in vitro culture. *Sci. Hortic.* 108, 364–370.
- MUNISWAMY, B.; SREENATH, H.L. 2000. *In-vitro* development of plants from cultured embryos of cannon ball tree (*Couroupita guianensis*) Aubl. *Indian Journal of Forestry* 23, 202-204.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15, 473-497.
- NHUT, D.T.; TAKAMURA, T.; WATANABE, H.; OKAMOTO, K.; TANAKA, M. 2003. Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 73, 43-52.
- NHUT, D.T.; TAKAMURA, T.; WATANABE, H.; TANAKA, M. 2001. Efficiency of a novel culture system by using light-emitting diode (LED) on in vitro and subsequent growth of micropropagated banana plantlets. In I International Symposium on Acclimatization and Establishment of Micropropagated Plants 616, 121-127.
- PENCE, V.C. 2011. Evaluating costs for the in vitro propagation and preservation of endangered plants. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 47, 176-187.
- PINHEIRO, M.M.; BESSA, S.O.; FINGOLO, C.E.; KUSTER, R.M.; MATHEUS, M.E.; MENEZES, F.S.; FERNANDES, P.D. 2010. Antinociceptive activity of fractions from *Couroupita guianensis* Aubl. leaves. *Journal Ethnopharmacology* 127(2), 407-413.
- POUDEL, P.R.; KATAOKA, I.; MOCHIOKA, R. 2008. Effect of red-and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 92, 147-153.
- RODRIGUES, P.H.V.; ARRUDA, F.; FORTI, V.A. 2018. Slow-grown in vitro conservation of *Heliconia champneiana* cv. Splash under different light spectra. *Scientia Agricola* 75 (2), 163-166.

- SHAHZAD, A.A.; SHARMA, S.; PARVEEN, S.; SAEED, T.; SHAHEEN, A.; AKHTAR R. 2017. Historical perspective and basic principles of plant tissue culture. En: Abdin MZ, Kiran U, Kamaluddin Ali A. (Ed.). Plant Biotechnology: Principles and Applications. Singapore. Springer, pp.1-36.
- SHEKHAWAT, M.; MANOKARI, M. 2016. In vitro propagation, micromorphological studies and ex vitro rooting of cannon ball tree (*Couroupita guianensis* aubl.): a multipurpose threatened species. Physiology and Molecular Biology of Plants 22(1), 131-142.
- SOBRINHO, J.A. 1999. *Couroupita guianensis* aubl. Castanha-de-macaco, uma árvore para paisagismo em geral. Floresta e Ambiente 6, 147-148.
- SOUZA, C.P.F.; SOUZA, E.H.; LEDO, C.A.; SOUZA, F.V.D. 2018. Evaluation of the micropropagation potential of curauá pineapple hybrids for fiber production. Acta Amazonica 48(4), 290-297.
- TANAKA, M.; TAKAMURA, T.; WATANABE, H.; ENDO, M.; YANAGI, T.; OKAMOTO, K. 1998. In vitro growth of Cymbidium plantlets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 73, 39-44.
- WU, H.-C; LIN, C.-C. 2012. Red Light-emitting Diode Light Irradiation Improves Root and Leaf Formation in Difficult to propagate *Protea cynaroides* L. Plantlets In Vitro. Hortscience 47(10), 1490-1494.
- YEUNG, E.C.T.; STASOLLA, C.; SUMNER, M.J.; HUANG, B.Q. 2015. (Ed.). Plant Microtechniques and Protocols. Springer, 576 p.

BANCO DE GERMOPLASMA DEL NORESTE DE MÉXICO CON POTENCIAL ORNAMENTAL (FAMILIA: CACTACEAE)

Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez^{1*}, Miguel A. Carranza Pérez², Librado Sosa Díaz³ y Antonio Cano Pineda¹

^{1*} INIFAP-Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 No. 9515. Col. Hacienda de Buenavista. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Depto. de Botánica. Calzada Antonio Narro No. 1923. Col. Buenavista. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo km 36.5 Carretera México-Texcocco. Estado de México. México

*Autor para correspondencia: villavicencio.edith@inifap.gob.mx; vedithgtz@gmail.com

RESUMEN

Con el propósito de conservar *ex situ* especies nativas de Cactáceas en estatus de riesgo de importancia para la horticultura ornamental el objetivo de la presente investigación fue establecer un Banco de Germoplasma de Cactáceas (BGC) para conservar la diversidad genética y ser un Banco de semillas. Se revisaron los registros de especímenes de herbarios nacionales y extranjeros del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), así como de los herbarios ANSM y MEXU. Durante el 2000 al 2018 se realizaron colectas entre las coordenadas 25° 23' 23.6" a 26° 16' 04" de latitud Norte y 100° 42' 30" a 102° 43' 12" de longitud Oeste, en altitudes de 920 a 1840 m s.n.m. colectando de uno a cinco ejemplares por especie y accesión que expresara las características morfológicas de la especie tipo, elaborando sus datos pasaporte de acuerdo al sistema GERMOCALLI. Con el Programa Diva-Gis versión 7.1.6.2 se elaboraron mapas de distribución por especie del mismo género, analizando 1243 registros de ocho subprovincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental (SMO). Con la herramienta Richness se elaboraron mapas de riqueza y distribución potencial de las especies. El BGC del Campo Experimental Saltillo del INIFAP está conformado por 19 géneros, 48 especies y 173 accesiones, provenientes Coahuila, Chihuahua, San Luis Potosí, Zacatecas, Querétaro y Nuevo León. Del total de géneros, 15 pertenecen a la tribu *Cacteae* y tres géneros a la tribu *Pachycereeae*. Los mapas de distribución para la SMO, refieren que el mayor número de especies se encuentra en San Luis Potosí (36%), Nuevo León (33%) y Coahuila (31%), siendo el tipo de suelo la variable fisiográfica que influye en la distribución de las especies. La mayor riqueza de especies se registró en los géneros *Ferocactus*, *Echinocactus* y *Mammillaria* mostrando un amplio rango de adaptación a condiciones áridas a diferencia de las especies de géneros *Aztekium*, *Geohintonia* y *Stenocactus* con una distribución asociada a una topografía y suelos particulares. El mayor número de endemismos se localizó en la Sierra de la Paila, Sierras y llanuras Coahuilenses, en los pliegues de Saltillo-Parras y Laguna de Mayrán. Del análisis fisiográfico se determinaron cinco áreas con distribución potencial, donde se pueden conservar especies nativas con diversidad genética como fuente de material. El

conservar *ex situ* la biodiversidad en el BGC constituye la base para la selección, mejoramiento de nuevos cultivares, así como para promover el uso y potenciación de materiales de interés para el productor y mercado.

Palabras clave: accesiones, Cactáceas, colecta, distribución potencial, especies, mapas riqueza, recurso fitogenético.

ABSTRACT

With the purpose of conserving *ex situ* native species of cactus in risk status of importance for ornamental horticulture, the objective of this research was to establish a Cactus Germplasm Bank (CGB) to conserve genetic diversity and be a seed bank. The records of national and foreign herbarium specimens of the National Information System on Biodiversity were reviewed (NISB) as well as the herbariums ANSM and MEXU. During 2000 to 2018, collections were made between the coordinates 25° 23' 23.6" to 26° 16' 04" north latitude and 100° 42' 30" a 102° 43' 12" west longitude, at altitudes of 920 to 1840 m.s.n.m. collecting from one to five specimens per species and accession that would express the morphological characteristics of the type preparing your passport data according to the GERMOCALLI system. With the Diva-Gis Program version 7.1.6.2 species distribution maps of the same genus were elaborated, analyzing 1243 records of eight physiographic subprovinces of the Sierra Madre Oriental (SMO). With the tool Richness maps of richness and potential distribution of the species were elaborated. The CGB from Saltillo Experimental Station of the CIRNE-INIFAP is formed by 19 genera, 48 species and 173 accessions, from Coahuila, Chihuahua, San Luis Potosi, Zacatecas, Queretaro and Nuevo Leon. Of the total number of genera, 15 belong to the tribe *Cactaeae* and three genera to the tribe *Pachycereeae*. The distribution maps for the SMO, report that the largest number of species is found in San Luis Potosi (36%), Nuevo Leon (33%) and Coahuila (31%), with soil type being the physiographic variable that influences the distribution of species. The greatest species richness was recorded in the genera *Ferocactus*, *Echinocactus* and *Mammillaria* showing a wide range of adaptation to arid conditions unlike species of the genera *Aztekium*, *Geohintonia* and *Stenocactus*. The greatest number of endemisms were located in the Sierra de la Paila, Sierras and plains of Coahuila, in the folds of Saltillo-Parras and Laguna de Mayran. From the physiographic analysis, five areas with potential distribution were determined, where native species with genetic diversity can be conserved as a source of material. The *ex situ* conservation of biodiversity in the CGB constitutes the basis for the selection and improvement of new cultivars, as well as for promoting the use and enhancement of materials of interest to the producer and market.

Keywords: accessions, *Cactaceae*, collection, potential distribution, species, richness maps, fitogenetic resource.

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica puede definirse como la variación que existe en todas las especies, presentándose en tres niveles: la diversidad genética (variación de genes y genotipos), diversidad de especies (riqueza de especies) y la variación de ecosistemas (comunidades de las especies y su entorno) (Ramanatha y Hodgkin, 2002).

La conservación de la biodiversidad *in situ* y *ex situ* permite a los obtentores vegetales públicos y privados tener acceso a la diversidad genética para reproducir material cuando sea requerido, por lo que la conservación de los recursos fitogenéticos es una acción esencial para el desarrollo sostenible, permitiendo que los sistemas sociales y económicos prosperen manteniendo la cultura social (Lascuráin *et al.*, 2009).

Los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA) se refieren a cualquier material de origen vegetal, ya sea plantas, semillas o partes vegetativas, las cuales contienen unidades funcionales de herencia con valor real o potencial para la alimentación y la agricultura (FAO, 2006; Hammer *et al.*, 2003). En los RFAA se incluyen desde formas primitivas que dieron origen a las especies cultivadas hasta los cultivos modernos, cultivares obsoletos, líneas de cruza, malezas y otros parientes silvestres (Upadhyaya *et al.*, 2008), que a su vez proporcionan alimento, medicinas, fibras, energía y otros recursos (Hammer *et al.*, 2003; Lobo y Medina, 2009).

La conservación *ex situ* de los RFAA en Bancos de Germoplasma (BG) es importante porque constituyen la materia prima para la seguridad alimentaria de la población, son la base para incrementar la calidad, productividad y estabilidad de los cultivos, de los sistemas de subsistencia y del proceso de transformación agroindustrial. En los BG se puede seleccionar germoplasma resistente a plagas y enfermedades, contribuir al desarrollo de nuevos cultivares que respondan a las necesidades actuales del mercado y seleccionar germoplasma para el desarrollo de variedades adaptadas a condiciones ambientales adversas haciendo frente al cambio climático (Franks, 1999; Maxted *et al.*, 2003), por lo que los BG funcionan como depósitos fitogenéticos contribuyendo con el desarrollo integral del país, la preservación, uso y potenciación de la agrobiodiversidad.

Los BG se constituyen dependiendo de la naturaleza del material vegetal, ciclo de vida del germoplasma, tipo de reproducción y número de individuos que integran la colección (Carneiro, 2000; FAO, 2006; Rao *et al.*, 2007); así mismo, el germoplasma es valioso porque contiene la diversidad genética de la especie o de la familia botánica de interés. Con la creación del BG de cactáceas se pretende atender el problema nacional del estatus de riesgo en el que se encuentran estas especies referido en la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010) y en los Apéndices I y II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES, 2010), donde muchas especies son endémicas del DCH.

Las Cactáceas de ornato son parte de la flora de la región árida y semiárida del DCH, el más grande del Continente Americano, el cual cubre una superficie de 507,000 km², desde Nuevo México y Texas en Estados Unidos, hasta porciones de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, en México (Granados-Sánchez *et al.*, 2011). En el país existen ejemplares de cactáceas de ornato únicos en el mundo, por lo que la conservación *ex situ* a través de un Banco de Germoplasma, constituye una forma de conservación de los recursos fitogenéticos como lo refieren Gámez *et al.* (2016) y Lascuráin *et al.* (2009).

El Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) cuenta con Bancos de Germoplasma como el de nogal en el Sitio Experimental Zaragoza en Coahuila y el de chile habanero en el Sitio Experimental Las Huastecas en el estado de Tamaulipas, donde se han aplicado una amplia variedad de recursos, técnicas e infraestructuras especializadas que contribuyen al mejoramiento de dichos cultivos. El objetivo de la presente investigación fue conformar un Banco de Germoplasma *ex situ* con especies y accesiones de cactáceas de tipo ornamental (globosas, cilíndricas y columnares) pertenecientes a la subfamilia *Cactoideae* y a las tribus *Cactaeae* y *Pachycereeae* que han estado sujetas al deterioro, debido a la influencia del cambio climático y efecto de las actividades humanas (cambio de uso del suelo, deforestación, extracción, pastoreo e incendios).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó de 2000 a 2018 en el Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP municipio de Saltillo, Coahuila, México. La evaluación se hizo entre las coordenadas 25° 23' 23.6" a 26° 16' 04" de latitud Norte y 100° 42' 30" a 102° 43' 12" de longitud Oeste, en altitudes de 920 a 1840 m s.n.m.

Selección de sitios de muestreo y registro de variables biofísicas. Para definir los sitios de colecta se revisó la base de datos sobre registros de especímenes de herbarios nacionales y extranjeros que están en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), (2000, <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/snib.html>), los herbarios ANSM (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; UAAAN), MEXU (Universidad Nacional Autónoma de México; UNAM) y los registros de cactáceas ornamentales de los Campos Experimentales Saltillo y San Luis del CIRNE-INIFAP. Se realizó un cronograma de colecta y con el apoyo de la cartográfica digital e impresa de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (2000, <http://www.conabio.gob.mx>), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2000, <http://gaia.inegi.org.mx>) y el software de libre acceso Google Earth (2000, <https://www.google.com>) se ubicaron los sitios de muestreo y definieron rutas para los recorridos de campo.

En cada sitio de muestreo, se registraron con un geoposicionador (GPS) marca Rino® 520HCx las coordenadas en unidades métricas (Universal Transversa de Mercator) donde se localizó la especie y se hizo un levantamiento de datos de las condiciones biofísicas del área de distribución como; altitud (m s.n.m.), condición orográfica (exposición, planicie o ladera), características del tipo de suelo (arenoso, calcáreo, arcilloso, pedregoso) y vegetación asociada.

Colecta de especies y accesiones. Previo a esta actividad se tramitó un permiso de colector ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). En cada sitio se realizó una exploración de las características fenotípicas de la población, seleccionando para su extracción aquellas plantas jóvenes que expresaran las características morfológicas de la especie. Se hizo el registro fotográfico de cada población evaluada, se observó su variabilidad morfológica, e inspeccionaron sus caracteres de agrupamiento y niveles de expresión, seleccionando de uno hasta cinco ejemplares de plantas jóvenes para la colecta; en algunos casos se hizo la colecta de semilla. Las accesiones se seleccionaron de acuerdo a la variación de los sitios ecológicos en donde se localizaron. De igual manera, cuando no existió mucha variabilidad entre las poblaciones, el número de accesiones a coleccionar no fue mayor a cinco, realizando una colecta en el sitio con referencia de la especie tipo. En caso de existir mucha variabilidad entre las poblaciones, el número de accesiones a coleccionar no fue mayor a diez, realizando una colecta en el sitio de referencia de la especie tipo.

Para la extracción de los ejemplares, se delimitó un anillo perimetral de 10 cm alrededor de la planta, con un piolet se limpió el área seleccionada quitando las piedras y otras plantas. Los ejemplares se extrajeron completos con tallo y sistema radicular, evitando hacer alguna herida a dichas estructuras. Los ejemplares colectados se colocaron en cajas de plástico para el traslado del material al invernadero.

Banco de Germoplasma (BGC). Los ejemplares de las especies y accesiones colectadas se llevaron al invernadero del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP municipio de Saltillo, Coahuila, México. Se aplicó el protocolo de Villavicencio *et al.* (2013) para las prácticas de manejo curatorial y cultural donde se incluyen el tipo de sustrato (en maceta), etiquetado de accesiones, tratamiento fitosanitario, riego y fertilización.

Datos pasaporte. De cada especie y accesión se elaboraron los datos pasaporte de acuerdo al sistema de información GERMOCALLI, la cual es una plataforma de la Red Nacional de Centros de Conservación del SINAREFI, que permite el acceso rápido y seguro a las bases de datos. Esta base de datos incluye siete apartados; taxonómico (nombre común, nombre científico y autor clasificación taxonómica), referencia del colector y fecha de colecta, localización (estado, municipio, comunidad), geográfico (coordenadas del sitio de colecta, altitud y clasificación climática de acuerdo a García (2004), ecológico (tipo de vegetación y especies asociadas), referencia de estatus de riesgo y fotografía.

Mapas de distribución. En México se reconoce la provincia de la Sierra Madre Oriental (SMO), que incluye los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Querétaro. La distribución de los taxones se hizo considerando la SMO y la base de datos obtenida de los registros de especímenes del SNIB (CONABIO-SNIB, 2000), los registros de los herbarios ANSM y MEXU, así como los registros de especies de cactáceas ornamentales colectados y los existentes en los Campos Experimentales Saltillo y San Luis del CIRNE-INIFAP.

Los mapas se determinaron por estado, tipo de vegetación, latitud, longitud, elevación y subprovincia fisiográfica, considerando una cuadrícula de 16 × 16 km. El contorno de las entidades federativas que forman parte de la SMO se obtuvo a partir de la capa vectorial del mapa de la República Mexicana con división estatal (2016, <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>). Para el tipo de vegetación se utilizó el polígono de uso de suelo y vegetación de México del INEGI, (2016; <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>). Se usó el Programa Diva-Gis versión 7.1.6.2 (Hijmanst *et al.*, 2012) utilizando la herramienta *Richness* (Riqueza) y la función analítica Point to Grid para elaborar los mapas de distribución por especie del mismo género. Además, se realizó una aproximación a la distribución de las especies, usando métodos de envoltura climática, como lo es la herramienta BIOCLIM de Diva-Gis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colecta de especies y accesiones. El material genético colectado se ubicó en dos invernaderos del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. En la región fisiográfica del Desierto Chihuahuense (DCH) se han colectado 19 géneros, 47 especies, 173 accesiones, provenientes de 39 municipios distribuidos en los estados de Coahuila, Chihuahua, San Luis Potosí, Zacatecas, Querétaro y Nuevo León. Del total de géneros, 15 están incluidos en la tribu *Cacteae* (*Ariocarpus*, *Astrophytum*, *Aztekium*, *Coryphantha*, *Echinocactus*, *Epithelantha*, *Ferocactus*, *Geohintonia*, *Leuchtenbergia*, *Mammillaria*, *Mammilloidya*, *Pelecyphora*, *Stenocactus*, *Thelocactus* y *Turbinicarpus*), tres géneros pertenecen a la tribu *Pachycereeae* (*Cephalocereus*, *Echinocereus* y *Pachycereus*). Además, proveniente de un vivero comercial se obtuvo una accesión de la tribu *Cereeae* (*Melocactus*).

La mayor diversidad de especies se encuentra en los géneros *Coryphantha* (5), *Mammillaria* (5), *Ariocarpus* (4) y *Turbinicarpus* (4) existiendo especies monofiléticas como *Leuchtenbergia principis* Hook. con siete accesiones y *Aztekium* con dos especies (*Aztekium hintonii* Glass & Fitz Maurice) y *Aztekium ritteri* (Boed.) Boed.) con siete accesiones (Figura 1).

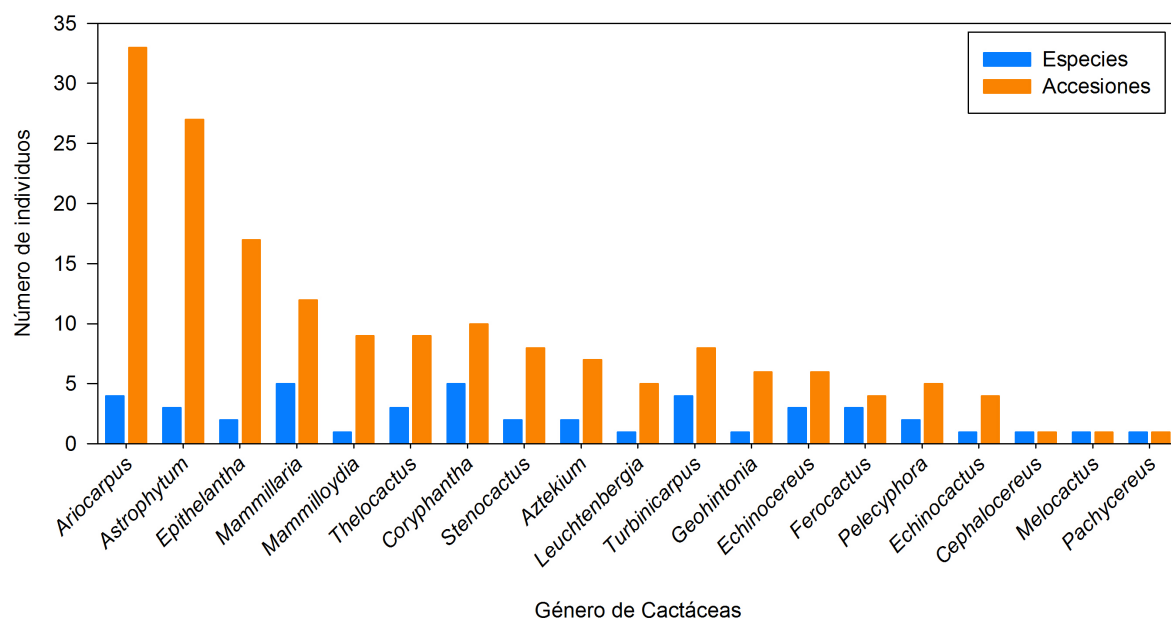


Figura 1. Registro de especies y accesiones del Banco de Germoplasma de Cactáceas del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP.

Banco de Germoplasma de Cactáceas (BGC). Cuenta con especies nativas de uso ornamental de la SMO, su conformación garantiza la preservación de la riqueza genética del país, favorece la conservación *ex situ*, uso y potenciación sustentable de este recurso fitogenético. Es un importante acervo genético considerando la vulnerabilidad que tiene la familia *Cactaceae* y el deterioro que han tenido las zonas desérticas donde se distribuyen sus poblaciones, principalmente por efecto de los incendios y cambio de uso de suelo (Bárcenas 2006; Villavicencio *et al.*, 2010), lo que acentúa el riesgo de extinción de estas especies en el mediano y largo plazo. Por lo anterior, las actividades realizadas en el BGC, han permitido conservar el pool genético *ex situ* y realizar acciones de regeneración in vitro, desarrollar tecnología para el mejoramiento de cultivares, estructurar los lineamientos para su descripción varietal, así como promover su uso y potenciación entre los productores de este tipo de plantas xerófitas. Este BGC cuenta con 47 especies endémicas del Desierto Chihuahuense, a excepción de la biznaga globosa comúnmente llamada erizo (*Melocactus matanzanus*) (Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1. Especies ornamentales del Banco de Germoplasma de Cactáceas del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP.

	Géneros	Especies¹	Estatus de Riesgo*	Nombre Común
1	<i>Ariocarpus</i>	<i>bravoanus</i> subsp. <i>hintonii</i> (Stuppy & NP Taylor) EF Anderson & Fitz Maurice	P	Biznaga peyotillo
2	<i>Ariocarpus</i>	<i>fissuratus</i> subsp. <i>lloydii</i> (Rose) U. Guzmán	P	Biznaga peyotillo
3	<i>Ariocarpus</i>	<i>kotschoubeyanus</i> (Lem.) K. Schum.	Pr	Biznaga maguey, Pezuña de venado
4	<i>Ariocarpus</i>	<i>retusus</i> Scheidw.	Pr	Peyote cimarrón, chaute
5	<i>Astrophytum</i>	<i>ornatum</i> (DC.) Britton & Rose	A	Biznaga de algodoncillo liendrilla
6	<i>Astrophytum</i>	<i>capricorne</i> subsp. <i>capricorne</i>	A	Biznaga de algodoncillo de estropajo
7	<i>Astrophytum</i>	<i>capricorne</i> subsp. <i>senilis</i> (Fric. ex H. Moeller)	A	Biznaga de algodoncillo de estropajo
8	<i>Astrophytum</i>	<i>myriostigma</i> Lem.	A	Bonete o birrete de obispo
9	<i>Astrophytum</i>	<i>myriostigma</i> Lem. subsp. <i>coahuilense</i> (Y. Okumura)	A	Bonete o birrete de obispo
10	<i>Astrophytum</i>	<i>myriostigma</i> Lem. subsp. <i>potosinum</i> (H. Moeller) var. <i>strongylogonum</i>	A	Bonete o birrete de obispo
11	<i>Aztekium</i>	<i>hintonii</i> Glass & Fitz Maurice	Pr	Biznaga piedra de yeso
12	<i>Aztekium</i>	<i>ritteri</i> (Boed.) Boed.	A	Biznaga piedra viva
13	<i>Cephalocereus</i>	<i>senilis</i> (Haw.) Pfeiff.	A	Viejito órgano viejo real
14	<i>Coryphantha</i>	<i>glanduligera</i> (Otto & A. Dietr.) Lem.	A	Biznaga
15	<i>Coryphantha</i>	<i>hintoniorum</i> subsp. <i>geoffreyi</i> Dicht & A. Lüthy	A	No tiene
16	<i>Coryphantha</i>	<i>maiz-tablasensis</i> Fritz Schwarz ex Backeb.	A	Biznaga partida de las tablas
17	<i>Coryphantha</i>	<i>odorata</i> (Boed.) Buxd.	Pr	Biznaga partida olorosa
18	<i>Coryphantha</i>	<i>poselgeriana</i> (A. Dietr.) Britton & Rose	A	Biznaga partida de Poselger
19	<i>Echinocactus</i>	<i>platyacanthus</i> Link & Otto	Pr	Biznaga burra, Tonel grande

	Géneros	Especies ¹	Estatus de Riesgo*	Nombre Común
20	<i>Echinocereus</i>	<i>longisetus</i> subsp. <i>delaeitii</i> (Gürke) N.P. Taylor	A	Órgano
21	<i>Echinocereus</i>	<i>pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm.		Huevo de toro
22	<i>Echinocereus</i>	<i>Pulchellus</i> var. <i>amoenus</i> (A. Dietr.) Kelsey & Dayton	Pr	Órgano pequeño flor de tierra
23	<i>Epithelantha</i>	<i>bokei</i> L.D. Benson	Pr	Botoncillo
24	<i>Epithelantha</i>	<i>micromeris</i> (Engelm.) F.A.C. Weber ex Britton & Rose	Pr	Biznaga blanca chilona, nido de golondrina
25	<i>Ferocactus</i>	<i>glaucenses</i> (De Candolle). Britton y Rose.)		Biznaga barril azul
26	<i>Ferocactus</i>	<i>pilosus</i> (Galeotti) Werderm.	Pr	Biznaga barril de lima
27	<i>Ferocactus</i>	<i>histris</i> (DC.) G.E. Linds.	Pr	Biznaga barril de acitrón
28	<i>Geohintonia</i>	<i>mexicana</i> Glass & Fitz Maurice	Pr	Biznaga de yeso
29	<i>Leuchtenbergia</i>	<i>principis</i> Hook.	A	Biznaga-palmilla de San Pedro
30	<i>Mammillaria</i>	<i>bocasana</i> Poselg.	Pr	Biznaga de la Sierra de Bocas, Viejita
31	<i>Mammillaria</i>	<i>formosa</i> subsp. <i>microthele</i> (Muehlenpf.) D.R. Hunt		Mamillaria
32	<i>Mammillaria</i>	<i>melanocentra</i> Poselger	Pr	Biznaga grande rojiza
33	<i>Mammillaria</i>	<i>pectinifera</i> F.A.C. Weber	A	Biznaga plumosa
34	<i>Mammillaria</i>	<i>plumosa</i> F.A.C. Weber	A	Biznaga plumosa
35	<i>Mammilloidya</i>	<i>candida</i> (Scheidw.) Buxb.	A	Biznaga cabeza de viejo, viejita
36	<i>Melocactus</i>	<i>matanzanus</i> León		Erizo
37	<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i> (DC.) Britton & Rose		Órgano
38	<i>Pelecyphora</i>	<i>aselliformis</i> Ehrenb.	Pr	Peotillo falso
39	<i>Pelecyphora</i>	<i>strobiliformis</i> (Werderm.) Frič & Schelle ex Kreuz.	A	Piñita, peotillo escamoso, cacti piña de pino
40	<i>Stenocactus</i>	<i>crispatus</i> (DC.) A. Berger ex AW Hill	Pr	Biznaga ondulada costilluda
41	<i>Stenocactus</i>	<i>multicostatus</i> (Hildm.) A. Berger ex A.W. Hill	Pr	Biznaga ondulada costilluda

	Géneros	Especies ¹	Estatus de Riesgo*	Nombre Común
42	<i>Thelocactus</i>	<i>bicolor</i> var. <i>schwarzii</i> (Galeotti ex Pfeiff.) Britton & Rose	Pr	Biznaga pezón de Schwarz
43	<i>Thelocactus</i>	<i>conothelos</i> (Regel & L. Klein) F.M. Knuth	Pr	Biznaga
44	<i>Thelocactus</i>	<i>rinconensis</i> (Poselger) Britton & Rose	A	Biznaga pezón de la Rinconada
45	<i>Turbinicarpus</i>	<i>beguinii</i> (N.P. Taylor) Mosco & Zanovello.	Pr	Cola de venado
46	<i>Turbinicarpus</i>	<i>saueri</i> subsp. <i>knutianus</i> (Boed) Lüthy	Pr	Biznaga cono invertido de Kunth
47	<i>Turbinicarpus</i>	<i>valdezianus</i> (Møller) Glass & R.A. Foster	Pr	Biznaga cono invertido de Valdez
48	<i>Turbinicarpus</i>	<i>viereckii</i> subsp. <i>major</i> (Glass & R.A. Foster) Glass	A	Biznaga cono invertido de Viereck

¹Fuente: NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010); Guzmán *et al.*, (2003); Trópicos (2019).

***Amenazada (A).** Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

***Peligro de extinción (P).** Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

***Sujetas a protección especial (Pr).** Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

De acuerdo con la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010) las especies del BGC presentan diferente estatus de riesgo, el 46,5% se encuentran amenazadas (A), el 4,65% en peligro de extinción (P) y el 48.83% en protección especial (Pr); sin embargo, por la especificidad del hábitat y vulnerabilidad que tienen las especies *Aztekium ritteri* y *Pelecypora strobiliformis*, se sugiere que el Grupo de Trabajo que realiza el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) de la SEMARNAT cambien el estatus de riesgo de dichas especies, de la categoría de amenazada (A) a la de protección especial (Pr) por estar en provincias florísticas muy restringidas.



Figura 2. Especies del Banco de Germoplasma de Cactáceas del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. A) *Ariocarpus* spp; B) *Astrophytum* spp; C) *Aztekium*; D) *Coryphantha*; E) *Cephalocereus*; F) *Echinocactus*, G) *Echinocereus*; H) *Epithelantha*; I-J) *Ferocactus* spp; K) *Geohintonia*; L) *Leuchtenbergia*; M-N-Ñ-O) *Mammillaria* spp; P) *Mammilloidia* Q) *Pachycereus*; R-S) *Pelecyphora*; T) *Stenocactus*; V-W) *Thelocactus* spp; X-Y-Z) *Turbinicarpus* spp.

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (FAO, 2014), el BGC sería considerado como un banco de germoplasma de campo, donde se promueve la conservación *ex situ* y el uso de la diversidad fitogenética de las Cactáceas de

ornato, siendo una muestra representativa de la distribución de este recurso y un apoyo para la investigación en reproducción convencional como lo refieren Gold *et al.* (2004). A partir de la creación del BGC se han realizado proyectos de conservación in vitro para el rescate de germoplasma, producción y suministro de semillas para uso a corto plazo o almacenamiento a largo plazo. De igual manera, es un referente para la conservación de los recursos fitogenéticos de uso ornamental en apoyo al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI), del Sistema-Producto Ornamentales nacional, donde existen productores del país interesados en nuevos materiales. Así como para la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) donde los usuarios del sector han tenido acceso a la tecnología generada sobre propagación, producción de semillas y regeneración in vitro de especies en estatus de riesgo. De los esfuerzos anteriores se ha generado un Libro (Villavicencio *et al.*, 2010) y Folleto Técnico (Villavicencio *et al.*, 2020), cursos y talleres a productores, días demostrativos, publicaciones tecnológicas (resumen de congreso, trabajos en extenso y artículos científicos), así como la atención a agentes de cambio y generación de fichas tecnológicas. El mantenimiento de BGC es costoso, por lo que se ha establecido una colección complementaria in vitro con las especies más vulnerables.

Datos pasaporte. Para las 47 especies de Cactáceas de uso ornamental colectadas se cuenta con sus datos pasaporte de acuerdo al sistema de información GERMOCALLI. Los taxones fueron corroborados con la información del The International Plant Names Index (2000, <http://www.ipni.org>) y del Jardín Botánico de Missouri (2002, <https://www.tropicos.org>).

Los datos pasaporte se ubicaron entre las coordenadas 25° 23' 23.6" a 26° 16' 04" de latitud Norte y 100° 42' 30" a 102° 43' 12" de longitud Oeste, en altitudes de los 920 a los 1840 m s.n.m, donde las especies preferentemente se distribuyen en un tipo de clima BS (Estepario seco con un cociente P/T menor a 22,9) con sus variantes seco semicálido (BS0hw(x), BS0hw, BS1kw(x) y BS1kw) y BW (desértico muy seco) con su variante BWhw. En su hábitat natural este tipo de plantas crece en laderas bajas de las sierras calizas y lomeríos con abundante pedregosidad en pendientes que van de 3 hasta 48%. El tipo de vegetación que caracteriza estas poblaciones está compuesto por comunidades bióticas áridas y semiáridas, constituida por arbustos que forman algunas veces matorrales cerrados de tipo desértico rosetófilo con asociación de las especies Lechuguilla-Candelilla (*Agave lecheguilla-Euphorbia antisiphilitica*), Lechuguilla-Navajita china (*A. lecheguilla-Bouteloua breviseta*), Lechuguilla-Ocotillo (*A. lecheguilla-Fouquieria splendens*) y matorral micrófilo con asociación de las especies Gobernadora (*Larrea tridentata*), Hojasén (*Flourensia cernua*), Mariola (*Parthenium incanum*), Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Yucca spp y sotol (*Dasyilirion cedrosanum*). Algunas especies se distribuyen entre pastizales del género *Bouteloua*, Liendrilla (*Muhlenbergia* spp), Tres barbas (*Aristida* spp) y Popotillos (*Schizachyrium* spp) entre otros (CONABIO y Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, 2018).

El uso del suelo donde se distribuyen estas poblaciones es de tipo pecuario, con libre pastoreo de bovinos y caprinos; en otros casos el uso frecuente son basureros municipales, construcción de vías de comunicación entre municipios, minas a cielo abierto, siendo sitios que presentan fuertes disturbios, donde las especies de esta familia tienen una alta vulnerabilidad a la erosión genética, de ahí la importancia de este Banco de Germoplasma y sus datos pasaporte.

Los resultados de la colecta de especies y accesiones, así como sus datos pasaporte, muestran como lo refiere Carneiro (2000), que el origen del material, sus atributos genéticos y productivos, son la base para el aprovechamiento de la diversidad genética, donde el binomio conservación/utilización constituye el cuerpo medular del uso y potenciación de este recurso.

Estas especies nativas han sido subutilizadas por la mayoría de las comunidades agrícolas; sin embargo, son de interés para los productores de plantas de ornato, quienes le han visto diferentes posibilidades de uso, a pesar de que todavía existen muchos retos que deben ser encarados para cambiar el estatus de especies subutilizadas a cultivos de importancia comercial. Para promover más su uso y potenciación se requiere continuar con las acciones de conservación *ex situ*, manejo de germoplasma, métodos de producción, procesamiento y mercadeo.

Mapas de distribución. Se analizó una base de datos de 1243 registros de ocho subprovincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental (SMO), donde el mayor número se encuentra en San Luis Potosí con 151 especies (36%), seguido de Nuevo León con 135 especies (33%) y Coahuila con 128 especies (31%).

En la porción sureste del Desierto Chihuahuense, en la que se incluyen la subprovincia de los pliegues Saltillo-Parras, en Coahuila, provincia de llanuras de Coahuila y Nuevo León, subprovincia de las sierras transversales en San Luis Potosí, constituyen el núcleo de concentración y diversidad genética de cactáceas más importante del Continente Americano.

Mapas por género y especie. Al analizar las variaciones fisiográficas, climáticas, edáficas y de vegetación que determinan en gran medida la distribución y abundancia de aquellos géneros y especies más representativos con valor ornamental, se encontró que el tipo de suelo es el que caracteriza la distribución de los géneros y especies de este tipo de plantas. Las especies de los géneros *Ariocarpus*, *Astrophytum*, *Coryphantha* y *Mammillaria*, preferentemente se distribuyen en suelos de tipo litosol, el cual es un suelo caracterizado por presentar afloramientos rocosos y a veces escarpados, de poco espesor y con escasa vegetación (Figura 3).

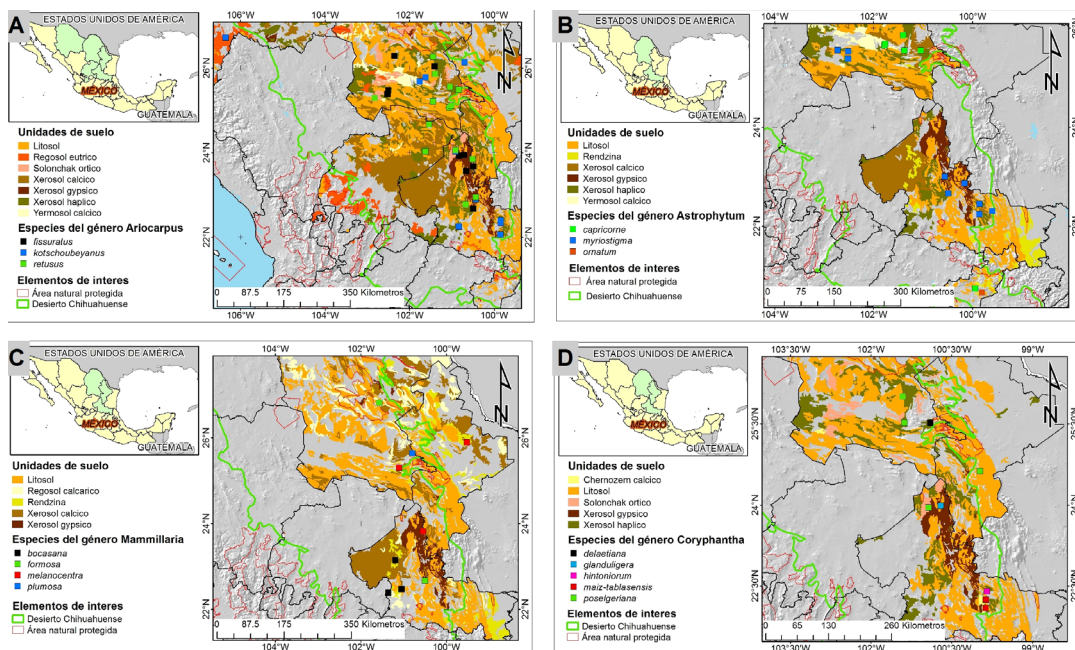


Figura 3. Localidades de colecta de especies del género *Ariocarpus* (A), *Astrophytum* (B) *Mammillaria* (C) y *Coryphantha* (D) y su distribución a través de los tipos de suelo en la sierra Madre Oriental.

Las especies del género *Echinocactus* se distribuyen en suelos de solonchak órtico y xerosol gypsico, característicos de zonas áridas con ambientes de humedad y vegetación predominante herbácea. Las especies del género *Ferocactus*, *Leuchtenbergia*, *Mammilloidya* y *Turbinicarpus* se desarrollan en suelos xerosoles háplicos, caracterizados por presentar moderada salinidad y sodicidad (Figura 4).

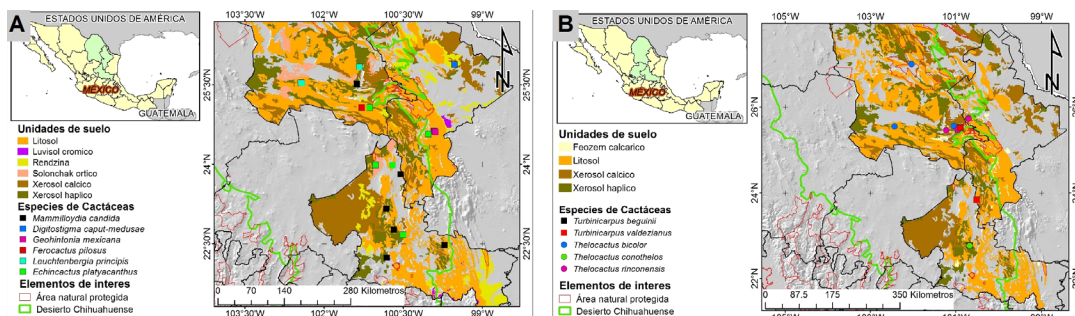


Figura 4. Localidades de colecta de los géneros *Ferocactus*, *Leuchtenbergia*, *Mammilloidya* (A) y *Turbinicarpus* (B) y su distribución en los tipos de suelos de la Sierra Madre Oriental.

Las especies del género *Stenocactus* se distribuyen en suelos xerosol cálcico, los cuales son moderadamente pedregosos, fuertemente calcáreos básicos donde el calcio es el catión dominante (Figura 5A); mientras que los taxa de *Echinocereus* que han sido colectados en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, preferentemente se localizan en sitios donde las unidades de suelo dominantes son Litosol, rendzina y xerosol (Figura 5B).

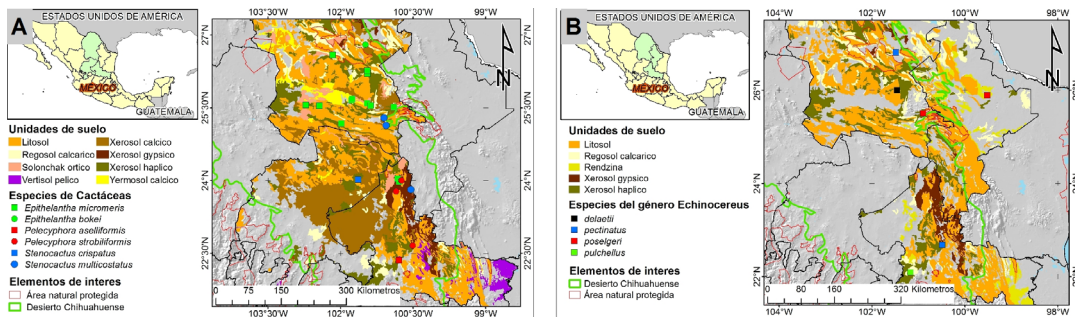


Figura 5. Distribución de las especies de Cactáceas ornamentales por tipo de suelo en la Sierra Madre Oriental (SMO) del Desierto Chihuahuense, México; de los géneros *Epithelantha*, *Pelecyphora*, *Stenocactus* (A) y *Echinocereus* (B).

Riqueza de especies. El mapa de riqueza de especies, mostró que el estado de San Luis Potosí registra la mayor riqueza de especies (151 sp), seguido de Nuevo León (135 sp), Coahuila (128 sp), Querétaro (72 sp) y Tamaulipas (61 sp). Además, se encontró que existen cinco áreas de riqueza, donde las especies de los géneros *Ferocactus*, *Echinocactus* y *Mammillaria* tienen la mayor proporción de registros y mayor distribución en el DCH, a diferencia de las especies de los géneros *Aztekium*, *Geohintonia* y *Stenocactus* que se caracterizan por ser especies globosas con hábitat más estrecho (Tabla 2 y Figura 6). Este patrón de distribución es característico de las cactáceas del DCH, como lo refieren Goettsch y Hernández (2006), para los cactus de la región desértica de Tehuacán-Cuicatlán en México (Valverde *et al.*, 2006) y de las cactáceas de Argentina (Mourelle y Ezcurrua, 1997).

De acuerdo con Godínez-Álvarez y Ortega-Baes (2007) la riqueza en la distribución de cactáceas aumenta con la aridez, donde la temperatura, precipitación, topografía y tipo de suelo producen una amplia variedad de micro-hábitats, donde los cactus de los géneros *Ferocactus*, *Echinocactus* y *Mammillaria* tienen un amplio rango de adaptación, a diferencia de los géneros *Aztekium* y *Geohintonia*, cuya distribución está más asociada a topografías y suelos muy particulares.

Tabla 2. Porcentaje de riqueza de Cactáceas por género de acuerdo a su distribución en el Desierto Chihuahuense, México.

Géneros	Porcentaje (%)
<i>Ferocactus</i>	19,2
<i>Echinocactus</i>	17,9
<i>Mammillaria</i>	16,0
<i>Astrophytum</i>	9,3
<i>Ariocarpus</i>	8,7
<i>Sclerocactus</i>	6,3
<i>Epithelantha</i>	5,9
<i>Turbinicarpus</i>	5,7
<i>Coryphantha</i>	4,9
<i>Stenocactus</i>	1,4
<i>Leuchtenbergia</i>	1,4
<i>Echinocereus</i>	1,3
<i>Pelecypora</i>	1,0
<i>Geohintonia</i>	0,4
<i>Escobaria</i>	0,4
<i>Aztekium</i>	0,2
<i>Stenocactus</i>	0,1

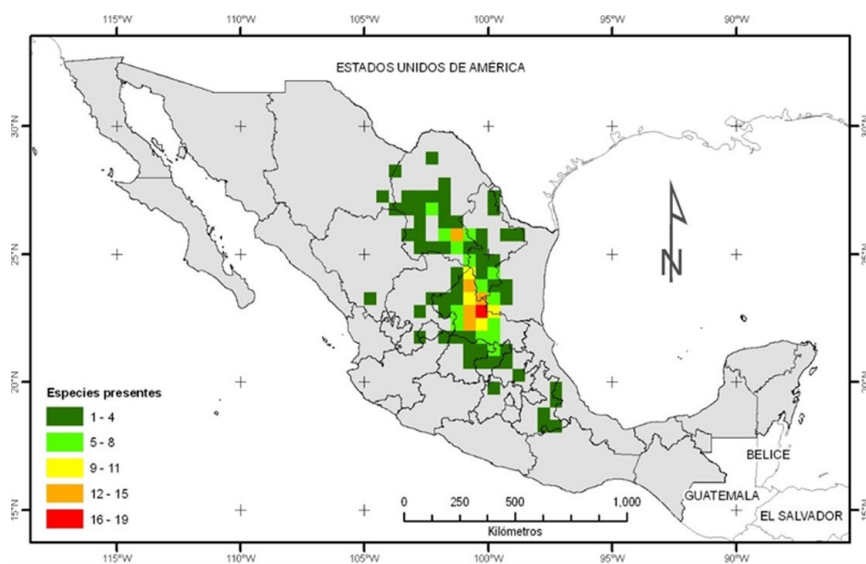


Figura 6. Estimación de riqueza de 43 especies de Cactáceas ornamentales del Desierto Chihuahuense, México.

El mayor número de endemismos de este tipo de Cactáceas se localizó en la Sierra de la Paila, Sierras y llanuras Coahuilenses, en los pliegues de Saltillo-Parras y Laguna de Mayrán, existiendo especies monofiléticas de distribución restringida únicas en el mundo. El conocer la riqueza de un sitio puede ayudar a evaluar la desaparición de especies promovida por el cambio de uso del suelo, determinar el estado de conservación de algunas áreas y establecer un plan estratégico, como lo refieren Domínguez-Domínguez *et al.* (2008) y Villavicencio (2015).

Distribución potencial. Este tipo de información permite determinar qué y dónde conservar los recursos fitogenéticos *in situ* y establecer mecanismos para su uso y potenciación, como lo refieren Ramanatha y Hodgkin (2002). También, es un referente para el manejo del BGC donde se puede dar seguimiento a la diversidad genética presente en esta colección y su premejoramiento.

Del análisis de la información de distribución, se determinó que existen cinco áreas de distribución potencial *in situ*, existiendo áreas clasificadas con muy alta y excelente condiciones para la conservación de este tipo de germoplasma que están ubicadas en el noreste de San Luis Potosí (Mpio. Guadalupe y Mpio. Villa Hidalgo) y sureste de Nuevo León (Mpio. Mier y Noriega y Mpio. Dr Arroyo). En la porción media de Coahuila (Mpio. Ramos Arizpe) existen dos condiciones de alta y muy alta probabilidad donde se pueden conservar especies nativas con diversidad genética como fuente de material, principalmente de especies endémicas (Figura 7). El matorral xerófilo es característico de estos lugares, siendo la vegetación de matorral rosetófilo y matorral micrófilo con un uso de suelo para pastoreo y colecta de especies no maderables como; orégano, lechuguilla y candelilla donde se presenta la mayor cantidad de registros.

Estos resultados muestran que conservar la diversidad de este recurso fitogenético son la base para la selección y mejoramiento de estos cultivares, siendo una acción esencial para el bienestar presente y futuro de diversas actividades humanas.

Los resultados de la colecta, datos pasaporte, mapas de distribución, riqueza de especies y de distribución potencial realizados, establecen las prioridades de conservación, como lo refieren Ortega-Baés *et al.* (2010) y las bases para seleccionar áreas de conservación según sea el interés, ya sea por género, especie, o tipo de uso (Gold *et al.*, 2004).

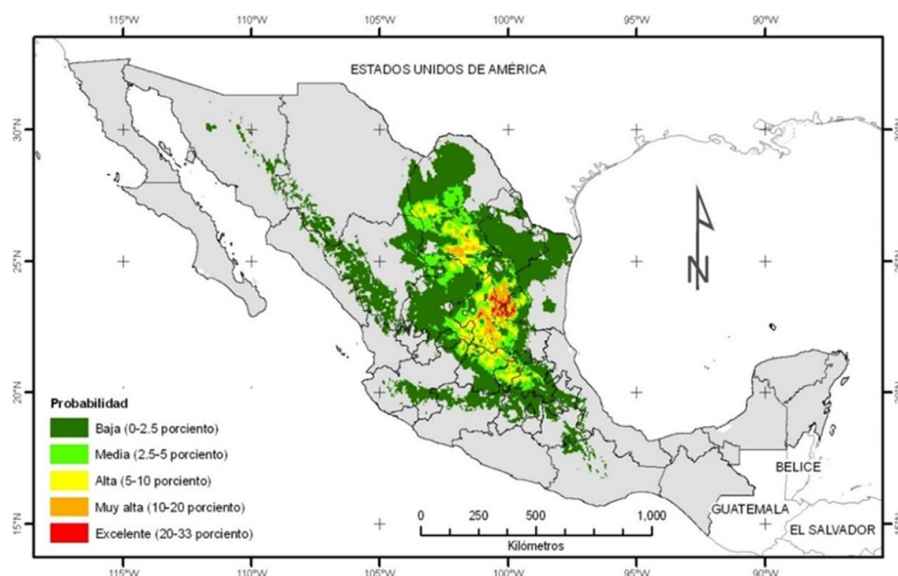


Figura 7. Distribución potencial de 43 especies de Cactáceas ornamentales del Desierto Chihuahuense, México.

CONCLUSIONES

El BGC de uso ornamental cuenta con sus datos pasaporte y se conformó como una forma para conservar *ex situ* este recurso fitogenético. Este BGC atiende a 48 especies en estatus de riesgo de 19 géneros de la subfamilia Cactoideae que están incluidos en la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010) y en los Apéndices I y II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES).

La base de datos analizada muestra que la riqueza de especies *in situ* se concentra principalmente en tres entidades y que existen áreas de muy alta y excelente condiciones para la conservación *in situ* de este tipo de germoplasma.

AGRADECIMIENTOS

A la Convocatoria de Proyecto externo SINAREFI por el apoyo al proyecto con registro SIGI 1310930561 titulado: “Colecta, caracterización y producción de Cactáceas ornamentales Fase II” y al proyecto fiscal del INIFAP con registro SIGI 1614224100 titulado: “Banco de germoplasma de Cactáceas del C.E. Saltillo”.

REFERENCIAS

- ARIAS, M.S.; VILLAVICENCIO, G. E.E.; CARRANZA, P. M.A. 2018. Biznagas y Nopales (*Cactaceae*). En: CONABIO y Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza (Eds.) La biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado Vol. II. CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, México. pp. 171-182.
- BÁRCENAS, R.T. 2006. Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. CONABIO. Biodiversitas 68,11-15.
- CARNEIRO, M. 2000. Estrategias de biotecnología agropecuaria para el Cono Sur. PROCISUR (Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur). IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Montevideo, Uruguay. 154 p.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). 2000. Cartográfica digital de México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis> verificado 20/01/2010-2018.
- CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS (CITES). 2010. Appendices I, II and III. CITES. UPEP. 142 p.
- DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, O.; ZAMBRANO, L.; ESCALERA-VÁZQUEZ, L. H.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2008. Cambio en la distribución de Goodeidos (*Osteichthyes: Cyprinodontiformes: Goodeidae*) en cuencas hidrológicas del centro de México. Rev. Mex. de Biod. 79, 501-512.
- FRANKS, J.R. 1999. *In situ* conservation of plant genetic resources for food and agriculture: a UK perspective. Elsevier Science 16, 81-91.
- GÁMEZ, M.O.; VILLAVICENCIO, G. E.E.; SERRATO, C. M.A.; MEJÍA, M. J.M.; TREVIÑO, C. G.; MARTÍNEZ, G. L.; RODRÍGUEZ, O. M.; GRANADA, C. L.; FLORES, C. M.; REYES, S. J.; ISLAS, L. M.; SALOME, C. E.; MENCHACA, G. R.A.; ESPADAS, M. C.M.; HERNÁNDEZ, S. L.; VÁZQUEZ, C. L.M.; MARTÍNEZ, M. F.; VARGAS, P. O.; RÍOS S. E. 2016. Conservación y aprovechamiento sostenible de especies ornamentales nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Universidad Autónoma Chapingo. Ciudad de México, México. 152 p.
- GARCÍA, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Serie Libros No. 6. México D.F. México. 98 p.
- GOETTSCHE, B.; HERNÁNDEZ, H. 2006. Beta diversity and similarity among cactus assemblages in the Chihuahuan Desert. J. Arid Environ. 65, 513-528.

GOLD, K.; LEÓN-LOBOS, P.; WAY, M. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. Boletín INIA 110, 62 p.

GOOGLE EARTH. 2000. Creación de mapas. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>, verificado 12/03/2010-2018.

GRANADOS-SÁNCHEZ, D.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, A.; GRANADOS-VICTORINO, R.L.; BORJA DE LA ROSA, A. 2011. Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. Rev. Chapingo ser. Cienc. For. Ambient. 17, 111-130.

GUZMÁN, U.; S. ARIAS M.; DÁVILA P. 2003. Catálogo de Cactáceas mexicanas. UNAM., CONABIO. México, D.F. México. 315 p.

HAMMER, K.; ARROWSMITH, N.; GLADIS, T. 2003. Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. Naturwissenschaften 90, 241-250.

HIJMANS, R. J.; GUARINO, L.; BUSSINK, I. C; BARRANTES; ROJAS, E. 2005. DIVA-GIS, Version 7.5. <http://www.diva-gis.org>, verificado 12/03/2010-2018.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2000. Biblioteca digital mapas INEGI. Polígono de uso de suelo y vegetación de México. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>, verificado 18/01/2000-2018.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2000. Mapa digital México. Capa vectorial del mapa de la República Mexicana. (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=b-GF0OjIzLjMyMDA4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMx-MTFzZXJ2aWNpb3M>), verificado 23/02/2000-2018.

INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX (IPNI). 2015. Base de datos de los nombres de plantas. <http://www.ipni.org>, verificado 18/01/2002-2018.

LASCURÁIN, M.; LIST, R.; BARRAZA, L.; DÍAZ, E.; GUAL, F.; MAUNDER, M.; DORANTES, J.; LUNA, V. 2009. Conservación de especies *ex situ*. En: Capital natural de México. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México. pp. 517-544.

LOBO, A. M.; MEDINA, C.I. 2009. Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 10(1), 33-42.

MAXTED, N.; GUARINO L.; SHEHADEH, A. 2003. *In situ* techniques for efficient genetic conservation and use: a case study for *Lathyrus*. Acta Horticulturae 623, 41-60.

MOURELLE, C.; EZCURRA, E. 1997. Differentiation diversity of Argentine cacti and its relationship to environmental factors. J. Veg. Sci. 8, 547-558.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2006. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Sistema de semillas de calidad declarada. ISSN 1014-1227. Roma, Italia. 272 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2014. Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Edición revisada. Roma. Italia 167 p.

ORTEGA-BAES, P.; SUHRING, S.; SAJAMA, J.; SOTOLA, E.; ALONSO-PEDANO, M.; BRAVO, S.; GODÍNEZ-ÁLVAREZ, H. 2010. Diversity and Conservation in the Cactus Family. En: Ramawat K. G. (Ed.), Desert Plants. Springer, pp. 157-173.

ORTEGA-BAES, P.; GODÍNEZ-ÁLVAREZ, H. 2007. Global Diversity and Conservation Priorities in the *Cactaceae*. Biodiversity and Conservation 15 (3), 817-827.

RAMANATHA, R. V.; HODGKIN, T. 2002. Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 68, 1-19.

RAO, N.K.; HANSON, J.; DULLOO, M.E.; GHOSH, K.; NOVELL, D.; LARINDE, M. 2007. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity International. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). ISBN 978-92-9043-757-4. Roma, Italia. 182 p.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-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 de diciembre. 130 p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD (SNIB). 2000. Registros de especímenes de herbarios nacionales y extranjeros. <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/snib.html>, verificado 6/02/2000.

SITIO WEB FAO. 2019. Cuadro Especial de Expertos para la evaluación de la propuesta de modificación de los Apéndices de la CITES. FI Institutional Websites. <http://www.fao.org/fishery/>, verificado 19/06/2019.

TROPICOS. 2019. <http://www.tropicos.org/>, verificado 14/09/2017.

UPADHYAYA, H.D.; GOWDA, C.L.L.; SASTRY, D.V.S.R. 2008. Plant genetic resources management: collection, characterization, conservation and utilization. Journal of SAT Agricultural Research 6, 1-16.

VALVERDE, P. L.; ZAVALA-HURTADO, J. A. 2006. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (*Cactaceae*), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán Region in Central Mexico. J. Arid. Environ. 64, 193-208.

VILLAVICENCIO-GUTIÉRREZ, E.E.; ARREDONDO G. A.; CARRANZA P. M.A.; MARES A. O.; COMPARAN S. S.; GONZÁLEZ C.A. 2010. Cactáceas ornamentales del Desierto Chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León, México. Libro Técnico No. 2 ISBN: 978-607-425-473-0. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coahuila, México. 345 p.

VILLAVICENCIO-GUTIÉRREZ, E.E.; CARRANZA P. M.A.; VALDÉS R. J.; GONZÁLEZ C. A. 2013. Protocolo de Mantenimiento de la Colección de Cactáceas del SINAREFI. MACRO-RED: Ornamentales, RED: Cactáceas. SNICS-SINAREFI. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. SAGARPA-SNICS, Naucalpan, Estado de México, México. 15 p.

VILLAVICENCIO-GUTIÉRREZ, E.E. 2015. Plan estratégico de la Red Cactáceas conforme al segundo Plan de Acción Mundial. Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP. Saltillo Coahuila, México. 13 p.

*Mejoramiento genético a partir
de recursos genéticos nativos de
Latinoamérica*



AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN *HELICONIA* L. CON ENFOQUE DE MEJORAMIENTO EN MÉXICO

Simitrio Ortiz Curiel*, Carlos H. Avendaño Arrazate y Leobardo Iracheta Donjuan

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa, Carretera Tapachula-Cacahoatán km 18, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

*Autor para correspondencia: ortiz.simitrio@inifap.gob.mx; ortizc444@hotmail.com

RESUMEN

En la región Neotropical que se extiende hasta los territorios de México, crecen de manera silvestre alrededor de 14 especies de *Heliconia*, género que por la belleza de su inflorescencia tiene uso ornamental y religioso. Para impulsar la producción y comercialización de heliconias en México, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el año 2008 inició trabajos de investigación sobre la asociación de heliconias comerciales en plantaciones de café y cacao y con ello compensar las pérdidas económicas que causan la roya y la moniliasis en estos dos cultivos. Para fortalecer la producción, a partir del año 2014 el INIFAP inició un programa de mejoramiento genético; donde se establecieron los siguientes objetivos: coleccionar y conservar las especies de *Heliconia* de México, caracterizar la diversidad colectada, e implementar estrategias de cultivo in vitro para superar los problemas de germinación del género. Se revisó información de herbarios y la base de datos de la CONABIO (Comisión Nacional para el Uso y Aprovechamiento de la Biodiversidad) y solicitó el permiso legal para la colecta científica en diferentes altitudes y localidades de México. Las accesiones se caracterizaron morfológicamente y paralelamente se generaron protocolos in vitro para incrementar el porcentaje de germinación de las semillas. Se colectaron 32 accesiones de *Heliconia* en los estados de Chiapas, Puebla, Veracruz y Oaxaca con sus respectivos datos de pasaporte y con ellos se creó el Banco de germoplasma de Heliconias del INIFAP. La diversidad colectada se obtuvo en altitudes de 36 a 1922 m s.n.m, en suelos ácidos (pH 4,3) a alcalinos (pH 7,3) y en condiciones de cero a 50% de sombra. Las accesiones corresponden a 10 de las 14 especies que se reportan para México. Para la caracterización morfológica se validaron 65 descriptores morfológicos. La variabilidad se basa en la inflorescencia y está representada por al menos 14 tonalidades o matices que van del rojo intenso (escarlata) a verde claro. El rescate de embriones cigóticos in vitro generó el 100% de germinación en cuatro especies evaluadas. Mediante la colecta, la conservación y la caracterización morfológica fue posible seleccionar genotipos promisorios para iniciar el programa de mejoramiento genético. Asimismo, el rescate de embriones cigóticos maduros garantiza la conservación del germoplasma, y permitirá germinar semilla híbrida.

Palabras clave: banco de germoplasma, caracterización morfológica, germinación in vitro, embriones cigóticos.

ABSTRACT

In the Neotropical region that extends to the territories of Mexico, around 14 species of *Heliconia* grow wild, genus that, due to the beauty of its inflorescence, has ornamental use and religious. To increase heliconias' production and commercialization in Mexico, the National Forestry, Crops and Livestock Research Institute (INIFAP) in the year of 2008, began to work on some research projects associated with commercial heliconias grown in coffee and cocoa plantations, and therewith compensate the economic losses caused by rust and moniliasis. Additionally, in order to strengthen production, INIFAP initiated a genetic breeding program as of 2014 wherein several goals were established: to collect and preserve *Heliconias* species in Mexico, to characterize this diversity collection, and to implement some strategies for in vitro cultures to overcome genus germination problems. Information on herbaria and CONABIO database (National Commission for the Use and Exploitation of Biodiversity) was reviewed and legal permission was requested for scientific collection at different altitudes and locations in Mexico. Accessions were morphologically characterized and some in vitro protocols were generated at the same time to meet high percentages of seeds germination. Thirty-two accessions of *Heliconia* were collected from the states of Chiapas, Puebla, Veracruz, and Oaxaca with their respective passport data; and thus INIFAP Germplasm bank of Heliconias was created. This diversity collection was obtained at altitudes from 36 to 1922 meters above sea level, in acid soils (pH 4.3) to alkaline (pH 7.3), and in conditions of zero to 50% shade. Accessions belong to 10 out of 14 species reported in Mexico, but for the morphological characterization, 65 morphological descriptors were validated. Variability is based on inflorescence which is represented by at least 14 color-scheme or tins ranging from bright red (crimson) to light green. The rescue of in vitro zygote embryos generated 100% of germination in four evaluated species. Through collection, preservation and morphological characterization, it was possible to select promising genotypes for initiating with the genetic breeding program. Additionally, the rescue of mature zygote embryos ensures the preservation of germplasm, and allows hybrid seed germination. **Keywords:** germplasm bank, morphological characterization, in vitro germination, zygotic embryos.

INTRODUCCIÓN

Heliconia es un género que incluye a más de 220 especies (Kress *et al.*, 1999) del cual se han generado múltiples híbridos y variedades (Brunner, 2005). La diversidad, que se rige por la forma, el tamaño y color de inflorescencia, es la que actualmente se cultiva en el mundo y comercializa como flor de corte, en macetas o para jardinería. La exuberante diversidad y valor ornamental de este género se puede observar tanto en jardines botánicos públicos como de coleccionistas, así como en los bancos de germoplasma (Saldaña y Hernández, 2004; Ferreira de Castro *et al.*, 2007; Loges *et al.*, 2013).

La hibridación natural en *Heliconia* es un fenómeno que ocurre esporádicamente (Berry y Kress, 1991); sin embargo, en países como Colombia, Ecuador y Brasil que poseen diversidad y condiciones ambientales óptimas (Ferreira de Castro *et al.*, 2007) la hibridación interespecífica se incrementa de manera exponencial. Inclusive, es común que la cercanía entre especies, con intervención de polinizadores naturales, favorezca la aparición de híbridos interespecíficos (Jerome, 2005; 2009).

Ante la aparición natural de nuevas formas y colores de inflorescencia, aparentemente no existiría necesidad de generar variedades bajo un esquema dirigido, y por consiguiente, hasta ahora, para el mejoramiento genético se obtienen los genotipos que cumplen con los arquetipos preestablecidos a través de la selección. En este sentido, la variación relacionada con la tolerancia a factores adversos, como el estrés hídrico, la resistencia a enfermedades y suelos salinos, aparentemente ha sido relegada.

En las regiones sur y sureste de México, donde se extiende la zona biológica neotropical (Challenger y Soberón, 2008), existen condiciones óptimas de clima y suelo para el cultivo de heliconias (Grajales y Montejó, 2008). Los estados de Chiapas, Tabasco y Veracruz son los principales productores y abastecedores de flor de corte del mercado nacional; sin embargo, de estos tres, solamente se conoce que Veracruz tiene una superficie plantada de 50 hectáreas distribuidas entre fincas y parcelas pequeñas (Linares-Gabriel *et al.*, 2017). En Chiapas y Tabasco, las heliconias se cultivan en asociación con cacao u otros maderables; no obstante, ante la falta de estadísticas sobre el cultivo, las 60,181 hectáreas de cacao que se cultivan en esos estados (Grajales y Montejó, 2008) da idea del potencial que tiene cultivar heliconias.

Referente a las investigaciones sobre el género *Heliconia* en México, los trabajos se han enfocado a estudios taxonómicos (Gutiérrez *et al.*, 2000), histológicos (Benítez-Domínguez, 2011) y de micropropagación (Hernández-Meneses, 2013). Sin embargo, no hay articulación hacia un programa de mejoramiento genético que oferte variedades acordes a las necesidades del productor mexicano.

Los estudios prospectivos sobre *Heliconia* muestran que existe diversidad intra e interespecífica en condición silvestre (Santos, 2009; Gutiérrez-Báez, 2000 y Ortiz-Curiel *et al.*, 2015) con algunos endemismos (Gutiérrez-Báez, 1987), lo cual es una fortaleza para implementar algún programa de mejoramiento genético. En este sentido, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través de su programa de investigación de plantas ornamentales, inició un programa de mejoramiento genético de *Heliconia* a partir del año 2014. El mismo tiene como objetivo generar variedades con nuevas formas y colores, con características aptas para las condiciones de clima y suelo propios de la región sureste de México.

El programa de mejoramiento genético inicia con la colecta de la diversidad; posteriormente, con la caracterización morfológica (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2017) o molecular (Pereira *et al.*, 2016), es posible conocer la diversidad y el grado de parentesco entre los materiales y en consecuencia será posible tomar decisiones para los mejores cruzamientos, sean estos intra o interespecíficos. Asimismo, debido a que en el género *Heliconia* el porcentaje de germinación de semillas es bajo, es necesario generar protocolos que mejoren su eficiencia.

Kress (1990) señaló que las características morfológicas de los híbridos interespecíficos de *Heliconia* presentan características intermedias a los parentales, por lo que, es la ruta más efectiva para generar variabilidad. Lo anterior lo corroboraron Jongkind y Jongkind (2015) al cruzar *H. stricta* x *H. wagneriana*, y Rosado (2016) mediante la hibridación entre *H. vellerigera* 'She Kong' x *H. longissima*. Además, los estudios de germinación in vitro de embriones cigóticos maduros en medios de cultivo con balance de sacarosa y carbón activado, dan indicios que es posible mejorar su eficiencia (Torres *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2010). De concretarse este supuesto, se optimizaría la hibridación expresada en cada semilla (Ortiz *et al.*, 2018).

A continuación, se presentan los resultados de las primeras acciones realizadas en la estrategia de mejoramiento genético de heliconias nativas, entre ellos la colecta de la diversidad presente en el territorio mexicano y su caracterización morfológica. Se presentan además los resultados de la mejora de la germinación in vitro de embriones cigóticos maduros, que sin duda, tendrá utilidad en la conservación del germoplasma y en el rescate de embriones en futuros cruzamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de la diversidad de heliconias en el SE mexicano. Se realizó un estudio prospectivo previo a las expediciones de colecta, el cual consistió en revisar información de los herbarios de la Universidad Nacional Autónoma de México, del Instituto de Ecología y de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Asimismo, se consultó la base de datos digital de la Comisión Nacional para el Uso y Aprovechamiento de la Biodiversidad (CONABIO), así como la de herbarios internacionales. La información recabada se sistematizó con base en especies y morfotipos dentro de cada especie (color de inflorescencia), altitudes y diversas zonas geográficas. En consecuencia, se solicitó el permiso legal de colecta científica y a partir del año 2014 se realizó la colecta en diferentes altitudes y localidades de México. Se tomaron de cinco a diez rizomas por morfotipo y como complemento a los datos pasaporte se realizó una descripción general del entorno físico y condiciones en las que se encontró cada planta (pH de suelo y condición de luz). Los genotipos colectados dieron origen al Banco Nacional de Germoplasma de Heliconias en el Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP.

Caracterización morfológica. Del Banco de Germoplasma (BG) se caracterizaron morfológicamente 25 accesiones de *Heliconia*, las cuales corresponden a nueve de las 11 especies colectadas y son las que completaron su ciclo fenológico. Cada accesión se caracterizó con base en 55 descriptores varietales propuestos y validados por Avendaño-Arrazate *et al.* (2017). Para el análisis multivariado, los datos morfológicos se sistematizaron en una matriz con medias para caracteres cuantitativos y modas para caracteres cualitativos. Los datos se analizaron mediante componentes principales (ACP) con el procedimiento PRINCOM de SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0) utilizando la matriz de correlación. Se consideraron los valores propios (Eigenvalores) y los vectores propios (Eigenvectores). Además, las variables se interpretaron mediante el análisis de agrupamiento jerárquico (AAJ) con el algoritmo por agrupamiento jerárquico con una distancia euclidiana de 0,05 para finalmente generar un dendrograma.

Estudios de germinación in vitro de embriones cigóticos maduros. El estudio se realizó en el Laboratorio de Biotecnología del INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa, México. Se utilizaron semillas de frutos maduros de *H. uxpanapensis* y *H. champneiana*, lavadas con alcohol al 70% durante 1 min, luego en NaClO al 3% por 20 min y finalmente con NaClO al 1,5% por 15 min. Posteriormente se enjuagaron con agua esterilizada. Con base en la metodología propuesta por Torres *et al.* (2005), se extrajeron los embriones que fueron sembrados en el medio de cultivo correspondiente.

En una primera fase, por cada litro de medio MS (Murashige y Skoog, 1962), se adicionaron de forma independiente diferentes concentraciones de sacarosa y carbón activado. Las soluciones se ajustaron a pH de 5,8 y se le adicionó 3 g L⁻¹ de Gelrite®. Se vertieron 20 mL de medio de cultivo en frascos de 130 mL y esterilizaron por 20 min. Se estableció un experimento con arreglo factorial 2x10 con diseño completamente al azar. Los factores evaluados fueron: genotipo (*H. uxpanapensis* y *H. champneiana*) y medio de cultivo MS con los siguientes porcentajes de sacarosa/carbón activado: 1) 1,5-0,05; 2) 1,5-0,1; 3) 1,5-0,2; 4) 3-0,05; 5) 3-0,1; 6) 3-0,2; 7) 4,5-0,05; 8) 4,5-0,1; 9) 4,5-0,2 y 10) 0-0. Cada tratamiento se integró por cuatro repeticiones; un frasco con cinco embriones y medio de cultivo fue la unidad experimental. Estos fueron incubados con intensidad lumínica constante de 35 $\mu\text{M m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante 27 días y temperatura de 26 ± 1 °C. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, número de hojas y número de raíces por planta, altura de planta (cm), peso fresco (mg) y peso seco (mg, secado a 60 °C hasta peso constante). Se consideró embrión germinado a aquel que presentó la radícula y el protófilo.

En una segunda fase se procedió a validar el mejor tratamiento de la fase anterior y para ello se indujo la germinación de embriones de *H. uxpanapensis*, *H. champneiana*, *H. latispatha* y *H. vaginalis* en las mismas condiciones. Las variables fueron germinación y altura de planta a los 27 días después de siembra.

RESULTADOS

Colecta de la diversidad de heliconias en el SE mexicano. Se colectaron 32 accesiones de *Heliconia* que conformaron la colección del Banco de Germoplasma de heliconias en las instalaciones del INIFAP- Campo Experimental Rosario Izapa (Tabla 1). El BG se localiza en 15° 16' 16.1" LN y 92° 42' 59.1" LO, a 435 m s.n.m., en suelo tipo migajón arenoso.

Los ejemplares colectados corresponden a 11 especies, entre ellas dos variedades de *H. collinsiana* y una variedad de *H. bihai* (introducida). El suelo donde naturalmente crecen va de ácido (pH=4,2) a alcalino (pH=7,03) en una altitud de 36 hasta 1922 m s.n.m. (Tabla 1). El 75% de las accesiones habitan naturalmente en condiciones de 10% a 50% de sombra, mientras que el 25% restante crece en áreas completamente soleadas. *H. latispatha* presenta rizoma tipo leptomorfo y forma poblaciones grandes en áreas sin vegetación.

Tabla 1. Accesiones de *Heliconia* L. colectadas en el sureste de México y resguardadas en el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

Accesion	Especie	Origen	Latitud Norte			Longitud Oeste			Altitud m s.n.m.
			Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	
Adf-27	<i>H. adflexa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	15	5	3,44	92	7	37,04	1440
Adf-25	<i>H. adflexa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	15	5	53,9	92	5	1,9	1922
Adf-03	<i>H. adflexa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	16	8	8	93	35	55	1700
Au-30	<i>H. aurantiaca</i> Ghiesbr. ex Lem.	Silvestre	17	19	25,6	92	3	31,6	50
Au-31	<i>H. aurantiaca</i> Ghiesbr. ex Lem.	Silvestre	16	48	14	91	5	20,9	426
Bi-22	<i>H. bihai</i> (L.) L	Domesticada	20	3	33,8	97	31	36,4	514
Bi-23	<i>H. bihai</i> (L.) L*	Domesticada	20	3	7	97	31	54,3	590
Bi-19	<i>H. bihai</i> (L.) L	Domesticada	20	1	50,5	97	31	12,8	915
Bou-8	<i>H. bourgaeana</i> Petersen	Silvestre	18	38	19,4	96	46	15,4	635
Bou-20	<i>H. bourgaeana</i> Petersen	Domesticada	20	2	52,3	97	32	26,8	705
Bou-21	<i>H. bourgaeana</i> Petersen	Domesticada	20	3	18,3	97	32	2,03	602
Cha-16	<i>H. champneiana</i> griggs	Silvestre- cultivada	17	23	42,1	91	59	38,8	298
Cha-17	<i>H. champneiana</i> griggs	Silvestre- cultivada	17	23	42,1	91	59	38,8	309

Accesion	Especie	Origen	Latitud Norte			Longitud Oeste			Altitud m s.n.m.
			Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	
Col-01	<i>H. collinsiana</i> var. <i>velutina</i>	Silvestre	16	13	4,89	93	35	11,5	1264
Col-9	<i>H. collinsiana</i> Griggs var. <i>collinsiana</i>	Silvestre- cultivada	18	37	36,2	96	42	22,6	250
Col-6	<i>H. collinsiana</i> Griggs var. <i>collinsiana</i>	Silvestre- cultivada	15	21	30,29	92	31	55,94	596
Col-24	<i>H. collinsiana</i> Griggs var. <i>collinsiana</i>	Silvestre- cultivada	14	57	45,2	92	9	17,94	402
Li-32	<i>H. librata</i> Griggs	Silvestre	16	46	35	91	5	47,3	414
Li-13	<i>H. librata</i> Griggs	Silvestre	17	17	46,7	94	35	34,7	74
Lat-4	<i>H. latispatha</i> Benth	Silvestre- cultivada	15	16	16,3	92	42	57,3	36
Lat-5	<i>H. latispatha</i> Benth	Silvestre- cultivada	15	16	16,1	92	42	57,1	36
Lat-7	<i>H. latispatha</i> Benth	Silvestre- cultivada	15	6	8,1	92	25	28,4	36
Lat-26	<i>H. latispatha</i> Benth	Silvestre- cultivada	14	58	2,97	92	9	19,69	419
Spi-2	<i>H. spissa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	16	13	5,3	93	35	9,38	1270
Spi-15	<i>H. spissa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	16	58	2,9	92	6	9,4	1193
Spi-28	<i>H. spissa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	17	5	55,5	94	56	42,9	161
Spi-29	<i>H. spissa</i> (Griggs) Standl.	Silvestre	17	5	46,5	94	57	12,8	126
Uxp-10	<i>H. uxpanapensis</i> Gutiérrez Báez	Silvestre	17	15	13,2	94	22	31,9	101
Uxp-11	<i>H. uxpanapensis</i> Gutiérrez Báez	Silvestre	17	15	3,4	94	22	39,3	82
Uxp-12	<i>H. uxpanapensis</i> Gutiérrez Báez	Silvestre	17	15	6,2	94	23	16,4	73
Uxp-14	<i>H. uxpanapensis</i> Gutiérrez Báez	Silvestre	17	13	13,2	94	8	40,6	90

Accesion	Especie	Origen	Latitud Norte			Longitud Oeste			Altitud m s.n.m.
			Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg	
	<i>H. vaginalis</i> Benth. subsp.								
Vag-18	Mathiasiae (G. S. Daniels & F. G. Stiles) L. Anders.	Silvestre	17	23	48,4	91	39	23,2	309

* Se asume que es un híbrido donde uno de los progenitores es *H. bihai*. Nota: tomado y adaptado de Ortiz *et al.* (2015).

A continuación, se describen las especies y su condición *in situ* durante la colecta.

***Heliconia adflexa* (Griggs) Standl.** Presenta inflorescencia erecta con color rojo intenso (Figura 1A). Se colectaron genotipos en altitudes de 1440 a 1922 m s.n.m, en condiciones de 50% sombra y en suelos con pH de 6. Presentan rizomas de tipo paquimorfo y forman poblaciones pequeñas. Dada la escasa cantidad de poblaciones se encuentran generalmente en áreas naturales protegidas.

***Heliconia librata* Griggs.** Es de inflorescencia erecta, pequeña, de color amarillo a jaspeado (Figura 1B). Se recolectó entre los 74 y 444 m s.n.m, en algunos casos bajo sombra de hasta 50% y en suelo con pH de 6,03. Se encuentran integradas en macollos o pequeñas poblaciones entre la selva y plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis*).

***Heliconia latispatha* Benth.** Presenta brácteas de color amarillo a rojo (Figura 1C). Forma grandes poblaciones y tolera de cero hasta 30 % sombra. Presenta rizoma de tipo leptomorfo, por lo que forma poblaciones inmensas en área de pastizales, en orilla de carreteras, caminos, arroyos o ríos. Su rápida multiplicación se considera maleza en áreas de cultivo y de pastoreo. Las colectas se realizaron en altitudes desde los 35 a los 419 m s.n.m. En zonas altas se asocia con *H. uxpanapensis*, *H. champneiana* y *H. collinsiana*.

***Heliconia spissa* (Griggs) Standl.** Presenta inflorescencia erecta, con bráctea y raquis color rosa a rojo (Figura 1D). Crece en la zona de transición entre la selva perennifolia y la selva baja caducifolia a los 126 m s.n.m en un clima tropical seco; sin embargo, otras colectas se obtuvieron entre los 1193 y 1270 m s.n.m. Las accesiones de zona baja se colectaron en suelos pobres como poblaciones aisladas. Comparten sus hábitats con *H. collinsiana* y *H. latispatha*.

***Heliconia aurantiaca* Ghiesbr. Ex Lem.** Se colectaron ecotipos con brácteas de color naranja; sin embargo, algunos ejemplares presentaban bráctea de color verde debido a su avanzado estado de madurez (Figura 1E). Las plantas forman macollos individuales, son de crecimiento zingiberoide y, crecen a una altitud de 50 a 426 m s.n.m en suelos con pH de 6,8 a 7,03.

***Heliconia vaginalis* Benth. Subsp. *Mathiasiae* (G. S. Daniels & F. G. Stiles) L. Anders.** Presenta inflorescencia pequeña similar en tamaño a la de *H. aurantiaca*; pero es diferente

porque posee brácteas rojas y flores amarillas vistosas (Figura 1F). La planta es de tipo zingiberoide, habita en condiciones de cero a 30% sombra. Forma poblaciones aisladas en altitudes de 50 a 500 m s.n.m. El suelo donde habita presenta un pH de 7,03 y cohabita con *H. champneiana*.



Figura 1. A) *Heliconia adflexa* (Griggs) Standl, B) *H. librata* Griggs, C) *H. latispatha* Benth, D) *H. spissa* (Griggs) Standl, E) *H. aurantiaca* Ghiesbr. Ex Lem. y F) *H. vaginalis* Benth. Subsp. *Mathiasiae* (G. S. Daniels & F. G. Stiles) L. Anders. Nota: tomado y adaptado de Ortiz *et al.* (2015).

***Heliconia collinsiana* Griggs var. *collinsiana*.** Tiene inflorescencia pendular (colgante) con brácteas en arreglo helicoidal (Figura 2A). El color de sus brácteas es rojo, naranja o presentan una combinación de amarillo con rojo. Se colectaron ecotipos en altitudes de 200 a 596 m s.n.m, expuestas directamente al sol o con aproximadamente 20% sombra, en suelos con un pH de 4,8 a 7. En condición domesticada se le asocia con cafetales, mientras que en condición silvestre cohabita con poblaciones de *H. latispatha*.

***Heliconia bourgaeana* Petersen.** Es de inflorescencia erecta con brácteas anchas y profundas (Figura 2B). Habita en la selva alta perennifolia a una altitud de 705 m s.n.m, en suelos con pH de 4,2 a 5,8. En condición domesticada se colectaron plantas con inflorescencia de color rosa y verde claro.

***Heliconia champneiana* Griggs.** Es de inflorescencia erecta con brácteas amarillas o con matices de color rojo cuando jóvenes; el color rojo se intensifica cuando se vuelven adultas (Figura 2C). Forma poblaciones medianas a extensas en el interior de la selva, habita en suelos con pH alcalino de 6,8 a 7,03. Se encontró un grupo de plantas con características intermedias entre *H. champniana* y *H. latspatha*.

***Heliconia collinsiana* var. *velutina*.** Esta variedad crece a una altitud de 1264 m s.n.m, la cual es superior a la que naturalmente crece *H. collinsiana* var. *collinsiana*. Las plantas tienen inflorescencia pendular, helicoidal, con pubescencia en hojas y tallo (Figura 2D), prefieren un porcentaje de sombra de hasta 50%. Sus rizomas son de tipo paquimorfo y forman poblaciones amacolladas con escaso número de individuos. Habitan en suelos con pH de 4,8.

***Heliconia bihai* L.** Es una especie que se cultiva a escala de traspatio, pero no con fines comerciales. Se encontró variedad en cuanto a forma y color de inflorescencia; sin embargo, predominan variedades de brácteas rojas (Figura 2E). El ejemplar de la Figura 2E, Berry (1995) lo señala como un híbrido derivado de *H. bihai*, pero no reporta al segundo progenitor. Algunos ejemplares colectados aparentemente son genotipos nuevos y no se descarta que se hayan generado por la dispersión de sus semillas, debido a que en *Heliconia* es común que las variedades, inclusive híbridos interespecíficos producen semilla viable (Jerome, 2005; 2009). Los suelos donde se colectaron son de un pH de 5,01 a 5,33, a una altitud de 515 a 914 m s.n.m.

***Heliconia uxpanapensis* Gutiérrez Báez.** Se colectaron ecotipos con inflorescencias de color rojo y naranja, además un ecotipo con características intermedias entre *H. uxpanapensis* y *H. latspatha*. Forman poblaciones grandes y cubren áreas continuas de hasta una hectárea, crecen bajo cero a 30% sombra, aproximadamente. Se colectaron rizomas en altitudes de 82 a 100 m s.n.m, en suelos con pH de 4,3 a 6,2, cerca de las corrientes de agua (Figura 2F).



Figura 2. A). *Heliconia collinsiana* Griggs var. *collinsiana*, B) *H. bourgaeana* Petersen, C) *H. champneiana* Griggs, D) *H. collinsiana*, var. *velutina*, E) *H. bihai* (L.) L. y F) *H. uxpanapensis* Gutiérrez Báez. Nota: tomado y adaptado de Ortiz et al. (2015).

Caracterización morfológica: Los seis primeros Componentes Principales (CP) expresaron el 69,4% de la variabilidad que existe en las 25 accesiones de *Heliconia* caracterizadas. El CP1 explica el 26,1%, el CP2 explica el 14%, el CP3 el 9%, el CP4 el 7%, el CP5 el 6,5% y el CP6 el 5,9%.

Las variables que contribuyen significativamente en el CP1 son: longitud de la hoja, anchura y longitud del limbo, longitud del peciolo, anchura y grosor del pseudotallo en cuello, grosor y anchura del pseudotallo a 60 cm, anchura y grosor del raquis, anchura y grosor de la segunda bráctea, longitud de la planta, longitud de la inflorescencia, hábito de crecimiento de la planta, relación longitud de pseudotallo y hoja, disposición de las brácteas y crecimiento de las hojas. En el CP2, forma de crecimiento de la inflorescencia, tipo de inflorescencia, longitud del tallo,

longitud del pedicelo, color del raquis, cera en limbo, cera en pseudotallo, forma del pseudotallo y color de las brácteas; mientras que en el CP3 contribuyen la presencia de pubescencia en la inflorescencia, brácteas abiertas, relación largo/ancho de la inflorescencia, color del limbo, forma del raquis y tipo de rizoma. Lo antes mencionado implicó que 33 de las 55 variables analizadas contribuyeran significativamente para explicar la variación total observada.

Respecto al análisis de conglomerados jerárquicos, con base al coeficiente de correlación semiparcial de 0,05, se formaron seis grupos principales y éstos a su vez se dividieron en subgrupos (Figura 3).

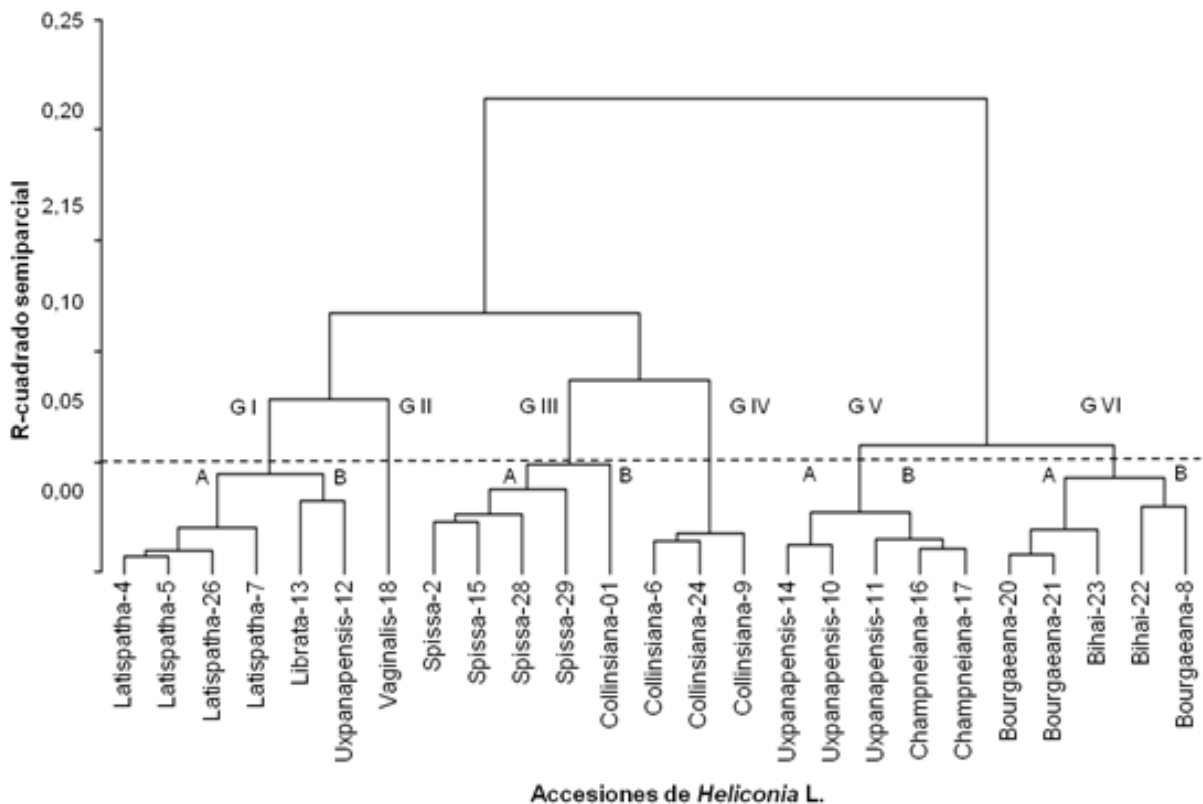


Figura 3. Dendrograma de caracteres cualitativos (29) y cuantitativos (26) para 25 accesiones de *Heliconia*. Nota: tomado y adaptado de Avendaño-Arrazate *et al.* (2017).

En general los grupos principales lo integran individuos de la misma especie, pero también se asocian especies con altas similitudes como *H. champneiana* y *H. uxpanapensis*. Respecto a la accesión uxpanapensis-12 (posible híbrido entre *H. uxpanapensis* x *H. latispatha*), esta se asocia con las accesiones de *H. latispatha* debido a sus similitudes en la inflorescencia.

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización morfológica de 25 accesiones de *Heliconia* del Banco de Germoplasma que completaron su ciclo fenológico.

***Heliconia librata* Griggs.** Presenta un rizoma paquimorfo y la planta alcanza una altura de 1,5 a 3 m. Sus hojas son de margen entero, miden hasta 100 cm de largo y 30 cm de ancho. La inflorescencia es terminal, triangular perfecta, de 13 a 23 cm de largo por 6 a 20 cm de ancho en la base. El raquis es amarillo pálido, con ligeras curvas, en él se encuentran las brácteas de color amarillo o moteado ubicadas en posición dística. Las flores son verde-amarillentas, rectas, pequeñas, las cuales dan origen a frutos con tres semillas rugosas de color café y con testa dura.

***Heliconia latispatha* Benth.** Posee un rizoma leptomorfo, las plantas alcanzan una altura de 1 a 2 m, con pseudotallo erecto, redondo u ovalado. Sus hojas presentan margen entero, son de color verde amarillentas en la cara superior y tienen de 59 a 81 cm de largo por 14 a 20 cm de ancho. Su inflorescencia es erecta, de 24 a 29 cm de largo y 20 a 34 cm de ancho. Sus brácteas son de color rojo, amarillo o anaranjado, son de forma amplia en la base y estrecha en la punta, se ubican en un raquis en zigzag, dispuestas en posición helicoidal. Las flores son de color verde y son curvadas. Sus frutos son verdes cuando inmaduros y negros al madurar, presentan tres semillas por fruto, que son rugosas y con testa dura.

***Heliconia spissa* Griggs.** Sus rizomas son de tipo paquimorfo, las plantas alcanzan una altura de 1,5 a 2 m. Sus hojas son medianas y miden de 20 a 90 cm de largo, el margen de sus hojas es distintivo de la especie, pueden ser enteras o desgarradas. La inflorescencia es terminal y erecta con una longitud de 16 a 45 cm, es helicoidal, vellosa y presenta forma piramidal debido a que en la base mide de 11 a 35 cm de ancho y en la punta 6 cm. El raquis es curvado, de color rojo, morado o rosa, posee varias brácteas de color rojo, amarillo o rosa, con color verde o blanco en las puntas, algunas brácteas abren más de 90 grados con respecto al raquis. Las flores son amarillas, rectas, curvándose lateralmente al madurar, sus frutos son verdes cuando inmaduros y azules cuando maduran, las semillas son rugosas y tienen testa dura.

***Heliconia vaginalis*.** Presenta rizoma paquimorfo, la planta alcanza una altura de 2,5 a 5 m de alto, su pseudotallo es delgado erecto y redondo. Sus hojas tienen un peciolo corto, la hoja tiene una longitud de entre 51 y 90 cm y ancho de entre 12 y 17 cm, con margen entero. La inflorescencia es erecta, de 10 a 21 cm de largo, posee de 5 a 8 brácteas rojas ubicadas en el raquis en posición dística. Sus flores son de color amarillo intenso y son grandes, que al desarrollarse forman una curvatura y se exponen hacia afuera, por lo tanto, contrastan notablemente con las brácteas. Posee frutos amarillos cuando inmaduros y azules al madurar, tienen de 1 a 3 semillas, de color gris, rugosas y con testa dura.

***Heliconia collinsiana* Griggs var. *collinsiana*.** Es de crecimiento amacollado, con plantas de 1,8 a 2,4 m de alto, de pseudotallo erecto, redondo u ovalado y de color verde. Sus hojas son verdes en la cara superior y totalmente pulvurulento en la cara inferior. Presenta vistosa inflorescencia colgante, sus brácteas son de color rojo, rojo con amarillo o anaranjadas, las cuales se ubican de forma helicoidal sobre un raquis en zigzag. Sus flores son amarillo intenso, orientadas hacia abajo y grandes. Posee frutos grandes, amarillos en estado inmaduro y azules al madurar. Las semillas son rugosas, con testa dura.

***Heliconia bourgaeana* Petersen.** Presenta rizoma paquimorfo y las plantas alcanzan altura de hasta cinco metros. Presenta hojas en posición alternada, de color verde-oscuro con bandas longitudinales rojizas, con margen entero. La inflorescencia es terminal, de 50 a 60 cm de largo y de 30 a 33 cm de ancho en la base, el raquis es recto con brácteas anchas de color rojo intenso, colocadas en posición dística. Sus anchas y profundas brácteas almacenan agua de lluvia, por lo que es común encontrar en ellas múltiples especies de insectos. Las flores son pequeñas, de color amarillito o verde en la sección media, curvadas hacia arriba, sobresalen de las brácteas al abrir. Sus frutos poseen tres semillas de aspecto rugoso y testa dura.

***Heliconia champneiana* Griggs.** Tiene rizomas de tipo paquimorfo y la planta alcanza una altura de hasta 6 m. Sus hojas son de margen entero, verde-oscuro en el haz y verde claro brillante en el envés, alcanzan hasta 316 cm de largo por 32 a 43 cm de ancho. La inflorescencia es terminal erecta, de 25 a 75 cm de largo, posee de 15 a 26 brácteas amarillas con matices de color rojo cuando jóvenes, el color se intensifica cuando adultos. Las flores son amarillas, medianas, curvadas y sobresalen de las brácteas al abrir. Sus frutos son de color azul al madurar y poseen semillas de color gris, con testa rugosa.

***Heliconia collinsiana* Griggs var. *velutina*.** Presenta rizoma tipo paquimorfo y son plantas con pseudotallo grueso que alcanzan alturas de hasta 6 m. Sus hojas, a diferencia de la var. *collinsiana* no presentan polvo o capa cerosa en el tallo; sin embargo, presentan pubescencia en el tallo y raquis. Presenta inflorescencia vistosa, colgante, completamente pubescente; sus brácteas son de color rojo pálido y se ubican en posición helicoidal en un raquis recto. Las flores son amarillo claro, grandes y de ellas se derivan frutos grandes, verdes cuando inmaduros y azules al madurar. Las semillas son rugosas con testa dura.

***Heliconia bihai* L.** Presenta rizoma paquimorfo y las plantas alcanzan una altura de hasta 6 m. Sus hojas son grandes de hasta 220 cm de largo por 30 cm de ancho. La inflorescencia es erecta, se compone de un raquis recto o ligeramente en zigzag, con 7 a 10 brácteas rojas en posición dística. Las flores son blancas en la base y con amarillo pálido en la parte media hacia la parte terminal. Los materiales que se colectaron escasamente producen frutos y semillas.

***Heliconia uxpanapensis* Gutiérrez Báez.** Tiene rizoma paquimorfo y la planta alcanza una altura de hasta 6 m. Sus hojas son de margen entero, de color verde intenso en el haz y verde claro brillante en el envés, de 86 a 162 cm de largo por 27 a 47,5 cm de ancho. La inflorescencia es terminal erecta, de 48 a 59 cm de largo por 18 a 24 cm de ancho, posee de 10 a 15 brácteas de color rojo, anaranjado, amarillo o moteado, ubicados en posición dística. Las flores son de color amarillo intenso, curvadas hacia arriba de hasta 5,5 cm de largo. Sus frutos son azules al madurar y sus semillas son de color café, rugosas y con testa dura.

Estudios de germinación in vitro de embriones cigóticos maduros. El porcentaje de germinación fue alto en todos los tratamientos, excepto en el testigo donde ninguna semilla germinó (Tabla 2). Se encontró que el balance de sacarosa-carbón activado en el medio de cultivo determinó la germinación de al menos 92% de los embriones, llegando al 100% de germinación en los tratamientos 3, 4, 6 y 7. En el tratamiento sin sacarosa ni carbón activado (testigo), los embriones permanecieron vivos y solo mostraron indicios de activación en la zona meristemática, pero no germinaron.

El análisis de varianza mostró que el factor genotipo solamente expresó efecto significativo ($p < 0.0001$) en la variable número de raíces; por el contrario, el factor medio de cultivo y la combinación genotipo*medio de cultivo presentaron diferencias significativas en las variables número de hojas, número de raíces, altura, peso fresco y peso seco.

En la variable número de raíces, *H. uxpanapensis* fue superior a *H. champneiana*. El análisis del factor medio de cultivo mostró que el tratamiento 9 fue superior a los tratamientos 1, 2, 3, 5 y 10. Los medios de cultivo que indujeron mayor formación de raíces tienen en común 3 y 4,5% sacarosa con cualquier concentración de carbón activado, excepto el medio de cultivo 5.

En la variable altura, los medios 3, 6 y 9 (cada uno con 1,5, 3 y 4,5% de sacarosa combinados con 0,2% de carbón activado) solo fueron superiores en la altura inducida en el medio 1. El hecho que en altura haya solamente dos grupos (omitiendo el testigo) expresa que las plantas elongaron, pero no desarrollaron, condición que se pudo discriminar en las variables peso fresco y peso seco. En las variables peso fresco y peso seco nuevamente el tratamiento 9 fue superior a los tratamientos 5, 2 y 1, además superior al tratamiento 4. Cabe destacar que el medio 4, aunque generó 100% de germinación, no propició las condiciones para una óptima acumulación de biomasa, contrario a lo que sucedió con los medios 6, 7, 8 y 9.

Tabla 2. Comparación de medias del efecto del genotipo, medio de cultivo y la interacción, en la germinación de embriones de heliconia.

Factor	Ger (%)	NH	NR	AL (cm)	PF (mg)	PS (mg)
Genotipo						
H. uxp	87	2,5 a	5,6 a	2,9 a	127,5 a	6,8 a
H. cham	85	2,4 a	4,1 b	2,5 a	116,9 a	6,8 a
Medio de cultivo (sacarosa-carbón activado)						
1) 1,5-0,05	93	2,6 a	3,1 c	2,0 b	65,0 de	3,2 ef
2) 1,5-0,1	92	2,8 a	4,7 bc	3,5 ab	143,3 abc	7,0 bcd
3) 1,5-0,2	100	3,0 a	4,6 bc	3,7 a	142,4 abc	6,7 bcd
4) 3-0,05	100	2,5 a	5,1 abc	2,4 ab	89,9 cd	5,0 de
5) 3-0,1	94	2,6 a	4,5 bc	2,7 ab	111,4 bcd	6,2 cde
6) 3-0,2	100	3,0 a	5,7 abc	3,7 a	167,5 ab	8,7 abc
7) 4,5-0,05	100	2,7 a	6,8 ab	2,8 ab	157,5 ab	9,9 ab
8) 4,5-0,1	92	2,7 a	6,1 abc	2,6 ab	142,2 abc	8,4 abc
9) 4,5-0,2	96	2,8 a	8,0 a	3,7 a	188,3 a	11,4 a
10) 0 – 0	0	0 b	0 d	0 c	14,3 e	1,3 f
Combinación (Genotipo * Medio de cultivo)						
Uxp*1	92	2,7 a	4,0 bcd	2,0 ab	65,4 cd	3,1 de
Uxp*2	92	2,7 a	4,3 bcd	3,4 a	131,9 abc	6,2 bcde
Uxp*3	100	3,0 a	5,0 bc	4,1 a	149,0 abc	6,0 abcde
Uxp*4	100	2,6 a	6,0 abc	2,8 a	100,7 abc	5,1 cde
Uxp*5	100	3,0 a	5,5 abc	3,1 a	123,7 abc	6,4 bcde
Uxp*6	100	2,9 a	5,6 abc	3,4 a	156,2 abc	7,8 abcd
Uxp*7	100	2,9 a	7,8 ab	3,3 a	184,8 ab	10,8 ab
Uxp*8	100	2,7 a	7,9 ab	2,9 a	152,7 abc	8,3 abcd
Uxp*9	92	2,7 a	10,0 a	3,8 a	197,0 a	12,0 a
Uxp*10	0	0 b	0 d	0 b	15,5 d	1,4 e
Cha*1	94	2,5 a	2,3 cd	1,9 ab	65,5 cd	3,4 de
Cha*2	92	2,9 a	5,1 abc	3,5 a	154,7 abc	7,7 abcd
Cha*3	100	3,1 a	4,1 bcd	3,3 a	134,9 abc	6,8 abcd
Cha*4	100	2,5 a	4,2 bcd	2,0 ab	79,2 bcd	4,9 cde
Cha*5	89	2,3 a	3,6 bcd	2,3 ab	99,1 abcd	6,1 bcde
Cha*6	100	3,2 a	5,7 abc	4,0 a	178,0 abc	9,6 abc
Cha*7	100	2,4 a	5,8 abc	2,3 ab	130,3 abc	9,0 abc
Cha*8	84	2,8 a	4,3 bcd	2,3 ab	131,8 abc	8,5 abcd
Cha*9	100	2,8 a	6,1 abc	3,6 a	179,6 ab	10,8 ab
Cha*10	0	0 b	0 d	0 b	13,0 d	1,0 e

Nota: Ger=Germinación, NH=Número de hojas, NR=Número de raíces, AL=Altura de planta, PF=Peso fresco, PS=Peso seco, H. uxp=*Heliconia uxpapensis* y H. cham=*H. champneiana*. En columnas letras distintas indican que los valores difieren significativamente (Tukey, $P \leq 0,05$). Nota: Tamado y adaptado de Ortiz-Curiel et al. 2018.

Para la fase de validación, la efectividad del tratamiento 6 (3% sacarosa-0,2% carbón activado) se corroboró al lograr la germinación del 100% de embriones en las cuatro especies; sin embargo, hubo diferencias en el número de días para alcanzar la germinación. *H. uxpanapensis* y *H. champneiana* emitieron la radícula en el 100% de embriones desde el tercer día y hasta el octavo día después de siembra; mientras que *H. latipatha* y *H. vaginalis* emitieron la radícula desde el quinto día y se prolongó hasta el día 27 (Figura 4). Respecto a la emisión del protófilo, estas dos últimas especies también demoraron más tiempo para alcanzar el 100% de protófilos; inclusive existió una emisión escalonada en el tiempo.

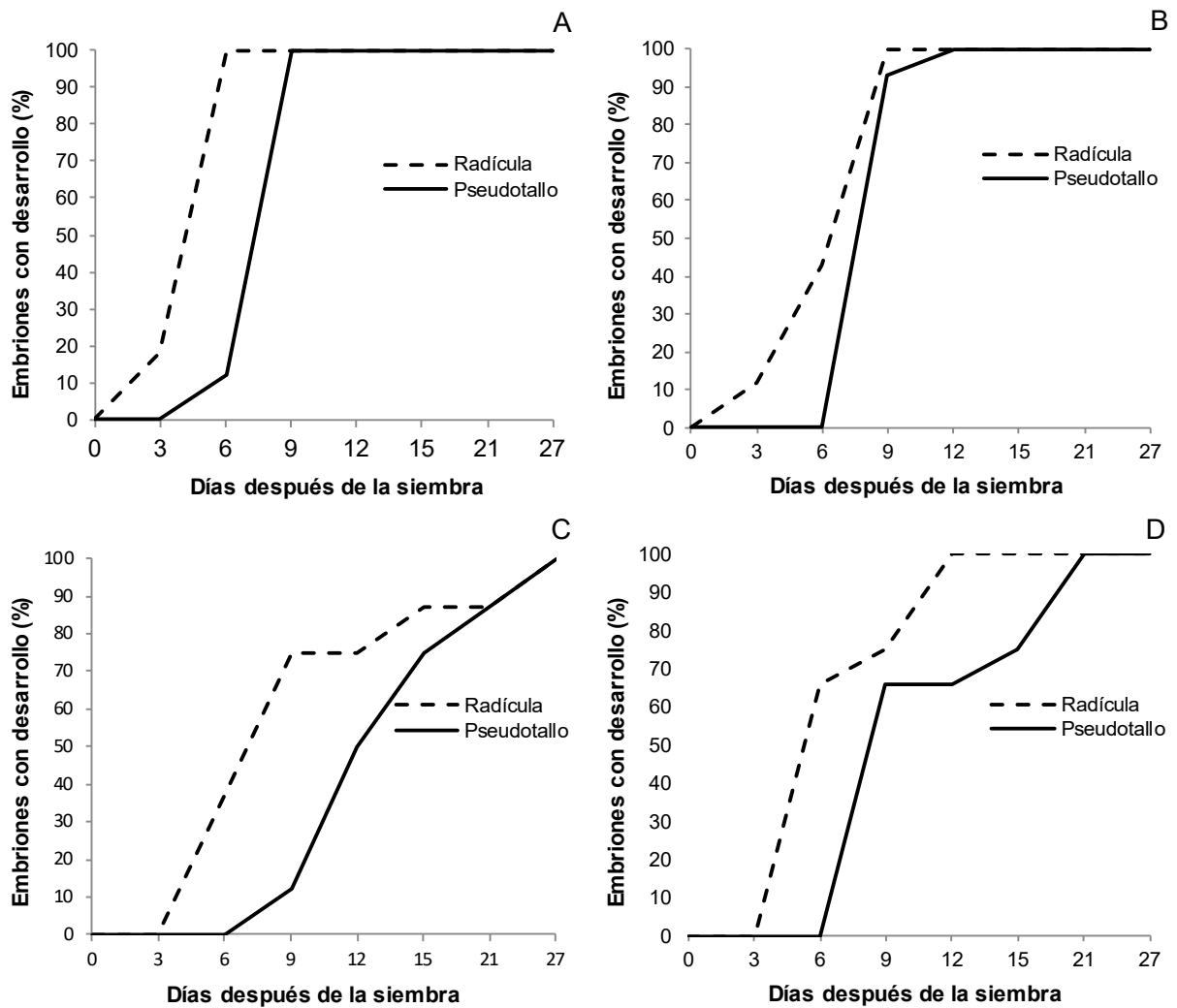


Figura 4. Respuesta de embriones in vitro de cuatro especies de *Heliconia* al medio de cultivo con 3% sacarosa y 0,2% de carbón activado. A). *H. uxpanapensis*, B). *H. champneiana*, C). *H. latipatha* y D). *H. vaginalis*. Nota: Tomado y adaptado de Ortiz-Curiel *et al.* (2018).

DISCUSIÓN

La diversidad colectada demostró el potencial genético del género *Heliconia* en México. Las 11 especies colectadas, de las 14 que Gutiérrez-Báez (2000) y Ferreira de Castro *et al.* (2007) reportaron para el territorio mexicano, así como la diversidad morfológica que se colectó, permitió conocer a cada especie y con ello su variabilidad morfológica intraespecífica. Asimismo, permitió conocer el estado en el que se encuentran, sus ambientes, altitudes y suelos en los cuales habitan. Por ello, la colección de esta diversidad representa el elemento básico para futuros programas de mejoramiento genético.

Por otra parte, la adaptación de las accesiones colectadas a los factores ambientales como suelos ácidos y alcalinos o las condiciones de radiación y de humedad ambiental, son características que se pueden utilizar para generar variedades con aptitudes diferentes a las que actualmente poseen las variedades comerciales.

Sobre el hábitat de las heliconias silvestres, se constató que están expuestas a una fuerte presión demográfica; así, se observaron poblaciones altamente fragmentadas de *H. bourgaeana*, *H. uxpanapensis* y *H. aurantiaca*. Cabe mencionar, que un año después de la primera expedición a una zona de colecta de *H. uxpanapensis*, poblaciones completas de esta especie fueron eliminadas con herbicida y esas áreas se convirtieron en zonas de pastoreo; ello explica que la mayoría de sitios referenciados en las fichas de herbarios y registros de la CONABIO, no se encontraron al momento de la colecta. Sobre la fragmentación, Núñez y Tapia (2010) reportaron la agresiva fragmentación de los hábitats naturales de heliconia y además expusieron los riesgos de pérdida de su diversidad genética.

Por otra parte, especies de *Heliconia* que se resguardan *in situ* en las áreas naturales protegidas se conservan en buen estado. Lo anterior es congruente con los que indica Visser y Engels (2003) sobre la efectividad de la conservación *in situ*; sin embargo, señalaron como desventajas la difícil accesibilidad al recurso genético tanto por la normativa que resguarda a estos materiales, así como los riesgos naturales implícitos de su conservación a largo plazo. Por lo anterior, la conservación *ex situ* e *in situ* favorecen la conservación del recurso genético; no obstante, para la conservación eficiente de las accesiones que se extraen de su ambiente natural es necesario generar protocolos tecnológicos o biotecnológicos, debido a que deberán prosperar en un ambiente en el que no están adaptadas.

La alta variabilidad morfológica reflejada en las accesiones caracterizadas, debido a que se incluyen especies y variación intra específica, se agruparon en seis componentes principales expresando con ello el 69,4% de la variación total. Sosof *et al.* (2006), en su estudio de 43 cultivares que corresponden a seis especies del género *Heliconia*, explicaron el 69,94% de la variabilidad con tres componentes principales.

Respecto al dendrograma, los seis grupos formados mediante el análisis de conglomerados reflejan una asociación entre los morfotipos de la misma especie como lo reportaron Guimarães *et al.* (2014) y Pereira *et al.* (2016) en las variedades que estudiaron. Sin embargo, en el presente estudio también se agrupan aquellas especies que morfológicamente comparten ciertas características, como el caso de *H. bourgaeana*, *H. champneiana*, *H. uxpanapensis* y *H. bihai*. Las altas similitudes entre *H. bourgaeana* y *H. champneiana* las reportaron Ferreira de Castro *et al.* (2007), esto es recurrente en el género, lo cual lleva en muchas ocasiones a clasificaciones erróneas. Guimarães *et al.* (2014) en su estudio encontraron que *H. bihai* y *H. stricta* presentan similitudes mayores que la variación intraespecífica de otras especies que estudiaron. Asimismo, en el caso de los híbridos naturales, debido a la segregación de caracteres, presentan características ligadas a alguno de los progenitores, es por ello que la accesión Uxp-12 (posible híbrido) se agrupa con las accesiones de *H. latispatha*.

La amplia diversidad fenotípica descrita en las 25 accesiones caracterizadas, es consecuente con la diversidad de ambientes, suelos y altitudes de los que provienen. Estos materiales, mismos que se encuentran resguardados en un Banco de Germoplasma, serán de gran utilidad en el programa de mejoramiento genético, como se utiliza el germoplasma no solo de *Heliconia* en otros países de Centro y Sudamérica, sino a la compleja red de Bancos de Germoplasma *ex situ* que operan los principales centros de investigación en el mundo.

En cuanto a la germinación de embriones cigóticos maduros es una estrategia de germinación altamente efectiva, debido a que con ella se superó el problema de la germinación, al menos para las especies estudiadas (Ortiz-Curiel *et al.*, 2018). Torres *et al.* (2005) consignaron que concentraciones de sacarosa inferiores a 1% no contribuyen en la germinación, mientras que las más elevadas provocan un desbalance osmótico. Souza *et al.* (2010) con sacarosa al 6% obtuvieron 68% de germinación en *H. rostrata* y 88% en *H. bihai*.

Diversos estudios indican que el carbón activado en el cultivo in vitro estimula la germinación; no obstante, los resultados son más favorables cuando se combina con la sacarosa en el medio de cultivo, tal como lo reportaron Souza *et al.* (2010) al obtener 100% de germinación al combinar 0,25% de carbón activado y sacarosa. Los medios de cultivo que favorecieron el 100% de germinación fueron aquellos constituidos por 1,5-0,2, 3-0,05, 3-0,2 y 4,5-0,05, sacarosa-carbón activado, cantidades relativamente inferiores al carbón activado que utilizaron Souza *et al.* (2010).

A pesar que varios tratamientos promovieron el 100% de germinación, no todos fueron óptimos para el resto de las variables estudiadas. En este sentido, se dedujo que en el análisis factorial, el medio 4,5-0,2 favoreció a la mayoría de variables cuantitativas, no obstante, la interacción mostró que el genotipo-medio 4,5-0,2 no fue del todo favorable en la germinación de *H. uxpanapensis*. Asimismo, la interacción genotipo-medio 4,5-0,1 también fue desfavorable en la germinación de *H. champneiana*. Con esto como base, los medios 4,5-0,05 y 3-0,2 favorecieron la germinación y demás variables; eligiéndose el medio 3-0,2 para validarlo en la siguiente fase.

En la segunda fase, *H. latispatha* y *H. vaginalis*, formaron pelos radicales dos días después que *H. uxpanapensis* y *H. champneiana* (Figura 4 A y D) aunque la emisión de la radícula y el protófilo fue heterogénea y se prolongó hasta los 21 días en *H. vaginalis* y 27 días en *H. latispatha*. Estas dos especies se comportaron de forma similar a *H. rostrata* y *H. bihai* reportadas por Souza *et al.* (2010), donde la radícula apareció a los siete días; sin embargo, el 100% de germinación lo obtuvieron a los 45 días.

La germinación escalonada de *H. vaginalis* y *H. latispatha* (Figura 4 C y D) puede estar relacionada con la dormancia y latencia, factores que influyen en la germinación esporádica y escalonada que se acentúa más al someter las semillas a germinación por los métodos convencionales (Gómez-Merino *et al.*, 2010); además de la presencia de taninos en la testa (Benítez-Domínguez *et al.*, 2011) que intervienen en el proceso de germinación. No obstante, con la germinación del 100% se demuestra que el embrión es totalmente viable al momento de la madurez fisiológica del fruto.

CONCLUSIONES

El germoplasma de *Heliconia*, expresado particularmente en las características de inflorescencia, presenta alta diversidad genética. Con base en la caracterización morfológica, fue posible identificar a los potenciales progenitores que se utilizarán en el programa de mejoramiento genético. Por otra parte, los resultados favorables de la germinación a través de embriones cigóticos in vitro potencializan la conservación del germoplasma y el aprovechamiento máximo de los futuros híbridos interespecíficos. Cabe mencionar que ensayos recientes han validado la efectividad de la germinación in vitro en semillas de otras especies, inclusive en semillas de algunos cultivares comerciales que producen semilla viable. Por lo anterior, los resultados aquí presentados muestran un considerable avance en el programa de mejoramiento.

REFERENCIAS

- AVENDAÑO-ARRAZATE, C.H.; ARRAZATE-ARGUETA, J.A.; ORTIZ-CURIEL, S.; MORENO-PÉREZ, E.; IRACHETA-DONJUAN, L.; REYES-LÓPEZ, D.; GRAJALES-SOLÍS, M.; MARTÍNEZ-BOLAÑOS, M.; CORTÉS-CRUZ, M. 2017. Morphological characterization in wild species of *Heliconias* (*Heliconia* spp) in Mexico. *American Journal of Plant Sciences* 8, 1210-1223.
- BENÍTEZ-DOMÍNGUEZ, L.; GÓMEZ-MERINO, F.C.; TREJO-TÉLLEZ, L.; ROBLEDO-PAZ A. 2011. Anatomía, contenidos de ácido abscísico y nutrientes y germinación de semillas de *heliconia*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34, 189-196.
- BERRY, F.; KRESS W.J. 1991. *Heliconia*: an identification guide. Smithsonian Institution Press, Washington and London. 334 p.

- BERRY, F. 1995. Natural hybrids of heliconias. Some recent discoveries. Bulletin, Heliconia Society International 7, 3-4
- BRUNNER, B. 2005. The Heliconia Checklist and Register. Bulletin, Heliconia Society International 13, 1-40.
- CHALLENGER, A.; SOBERÓN, J. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 87-108.
- GÓMEZ-MERINO, F.C.; VIDAL-MORALES, B.; TREJO-TÉLLEZ, L.I.; MOLINOS DA SILVA, C. 2010. Escarificación y germinación in vitro de semillas de heliconias. Universidad y Ciencia 26, 293-297.
- FERREIRA DE CASTRO, C.E.; MAY, A.; GONÇALVES, C. 2007. Atualização da nomenclatura de espécies do gênero *Heliconia* (*Heliconiaceae*). Revista Brasileira de Horticultura Ornamental 13, 38-62.
- GRAJALES-SOLÍS, M.; MONTEJO F. 2008. Heliconias en sistemas agroforestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias 11, 1-25.
- GUIMARÃES, W.N.R.; MARTINS, L.S.S.; CASTRO, C.E.F.; CARVALHO-FILHO, J.L.S.; LOGES V. 2014. *Heliconia* phenotypic diversity based on qualitative descriptors. Genetics and Molecular Research 13, 3128-3142.
- GUTIÉRREZ-BÁEZ, C. 1987. Notas del herbario XAL VIII. Una nueva especie de *Heliconia* (*Heliconiaceae*) de México. Biótica 12, 149-152
- GUTIÉRREZ-BÁEZ, C. 2000. Flora de Veracruz, fascículo 118. Instituto de Ecología A.C. y University of California, Riverside, CA. 30 p.
- HERNÁNDEZ-MENESES, E.; LÓPEZ-PERALTA, M.C.G.; ESTRADA-LUNA, A.A. 2013. Callogénesis de *Heliconia collinsiana* Griggs in vitro: establecimiento, inducción y proliferación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4, 1175-1186.
- JEROME, R.J. 2005. Genetic variations in seedlings from *Heliconia* 'Bubble Gum' and 'Prince of Darkness'. Bulletin, Heliconia Society International 12, 15-16.
- JEROME, R. 2009. More on seedling variation of *Heliconia caribaea*. Bulletin, Heliconia Society International 15, 8-9.
- JONGKIND, J.; JONGKIND, H. 2015. Hybridizing Heliconias. Bulletin, Heliconia Society International 21, 1-6.
- KRESS, W.J. 1990. Pollination and potentials in breeding Heliconias. Bulletin, Heliconia Society International 5, 1-2.
- KRESS, W.J.; BETANCUR, J.; ECHEVERRY, B. 1999. Heliconias - Llamadas de la Selva Colombiana. Bogotá, Colombia: Cristina Uribe Editores. 200 p.

- LINARES-GABRIEL, A.; VELASCO-VELASCO, J.; RODRIGUEZ-OROZCO, N.; TINOCO-ALFARO, C.A.; HERNÁNDEZ-CHONTAL, M.A.; LOPEZ-COLLADO, C.J. 2017. Comercialización de heliconias (*Heliconia* L.) en Acayucan, Veracruz, México. *Agroproductividad* 10, 56-61.
- LOGES, V.; DE A. LIMA, T.L.; DE SOUZA, C.C.F.; DA SILVA, S.Á.C.G.; DE CASTRO, A.C.R. 2013. *Heliconia episcopalis* Potential Use as Ornamental Plant. *Acta Horticulturae* 1002, 405-411.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15, 473-497.
- NÚÑEZ, F.J.; TAPIA, L. R. 2010. Conservación y restauración: la fragmentación del hábitat y la biodiversidad genética de la selva húmeda tropical. *Oikos* 2, 4-6.
- ORTIZ-CURIEL, S.; AVENDAÑO-ARRAZATE, C.H.; OLIVERA-DE LOS SANTOS, A.; GRAJALES-SOLÍS, M.; CANUL-KU, J.; CORTÉS-CRUZ, M.; IRACHETA-DONJUAN, L. 2015. *Heliconia* L.: Género subutilizado en México. *Agroproductividad* 8, 51-89.
- ORTIZ-CURIEL, S.; IRACHETA-DONJUAN, L.; CARRILLO-CASTAÑEDA, G.; AVENDAÑO-ARRAZATE, C.H.; GÁLVEZ-MARROQUÍN, L. A. 2018. Sacarosa y carbón activado in vitro determinan la germinación de embriones cigóticos de *Heliconia* L. *Agroproductividad* 11, 109-115.
- PEREIRA, F.R.A.; MORAES, F. R.M.; MARTINS, L.S.S.; MONTARROYOS, A.V.V.; LOGES, V. 2016. Genetic diversity and morphological characterization of half-sib families of *Heliconia bihai* L., *H. chartacea* Lane ex Barreiros, and *H. wagneriana* Peterson. *Genetics and Molecular Research* 15, 1:9.
- ROSADO, O.J.R. 2016. *Heliconia* interspecific hybridization. *Bulletin, Heliconia Society International* 22, 3-9.
- SALDAÑA, M.; HERNÁNDEZ, M.I. 2004. Heliconias: Belleza y alternativa económica para Tabasco. *Diálogos* 5, 14-18.
- SANTOS, B. A.; LOMBERA, R.; BENITEZ-MALVIDO, J. 2009. New records of *Heliconia* (*Heliconiaceae*) for the region of Chajul, Southern Mexico, and their potential use in biodiversity-friendly cropping systems. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80, 857- 860.
- SAS Institute Inc. 2012. SAS® Deployment Wizard and SAS® Deployment Manager 9.3: User's Guide. Cary, NC.
- SOSOF, V.; ALVARADO, G.J.R.; SÁNCHEZ, C.D.; MARTÍN, S. 2006. Estudio de la variabilidad de cultivares nativos de flores del género *Heliconia* (*Heliconiaceae*) provenientes de la región Suroccidental de Guatemala. Instituto de Investigación y Desarrollo del Suroccidente. Universidad de San Carlos de Guatemala. 84 p.

- SOUZA, E.H.; SOARES, T.L.; SOUZA, F.V.D.; SANTOS, S.J.A. 2010. Micropropagation of *Heliconia rostrata* and *Heliconia bihai* from mature zygotic embryos. Acta Horticulturae 865, 315-320.
- TORRES, A.C.; DUVAL, F. D.; RIBEIRO, D.G.; BARROS, A. F.; ARAGÃO, F.A. 2005. Efeito da sacarose, cinetina, isopentenil adenina e zeatina no desenvolvimento de embriões de *Heliconia rostrata* in vitro. Horticultura Brasileira 23, 789-792.
- VISSER, L.; ENGELS, J.M.M. 2003. Entorno del manejo de un banco de germoplasma. En: Engels J.M.M. y Visser L. (Editores). Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Bioversity International, Roma, Italia, pp.6-21.

CARACTERIZACIÓN DEL VALOR ORNAMENTAL DE HÍBRIDOS Y ESPECIES DEL GÉNERO *ALSTROEMERIA*

Danilo Aros^{1*}, Constanza Rivas², Amanda Donoso¹, Macarena Suazo¹, Michael Handford³ y Cristina Úbeda⁴

¹ Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Chile.

² Vicerrectoría de Investigación y Doctorados, Universidad San Sebastián. Chile.

³ Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Chile.

⁴ Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla.

*Autor para correspondencia: daros@uchile.cl

RESUMEN

El género *Alstroemeria* pertenece a la familia *Alstroemeriaceae* y comprende 90 especies endémicas de Sudamérica, de las cuales alrededor de 38 especies y 19 taxones son nativos de Chile. Producto del mejoramiento genético realizado principalmente en Europa, EE.UU. y Japón, hoy en día la alstroemeria representa uno de los cultivos más importantes en el mercado de las flores de corte. Técnicas tales como mutagénesis inducida, poliploidización y principalmente cruzamientos interespecíficos, han sido utilizados para desarrollar las nuevas variedades que actualmente se comercializan en el mercado. Esta revisión tiene como objetivo dar a conocer algunos de los resultados obtenidos por el Grupo de Investigación en Floricultura (GIFLOR) de la Universidad de Chile, enfocados en la caracterización de los atributos de aroma y color de flores en alstroemeria, a través de diversas técnicas. En cuanto a la caracterización del color, se identificó 6-hidroxicianidina como la principal antocianidina asociada al color. Se identificó además un gen (*antocianidina sintetasa*, *ANS*) que podría estar asociado a la regulación del color rosado en la especie *A. pallida*. La caracterización aromática identificó un total de 42 compuestos volátiles, la mayoría de ellos monoterpenos. Además, se identificó un gen responsable de la producción de un monoterpeno asociado al aroma (*Alstroemeria terpeno sintetasa*, *AlstroTPS*) que presenta una mayor expresión en antesis (S2 y S3). Se concluye con la importancia de complementar diversas técnicas para una mejor caracterización del aroma y del color, para considerar estos caracteres en el mejoramiento genético de la alstroemeria.

Palabras claves: alstroemeria, aroma floral, color de flor, terpenos y antocianos.

ABSTRACT

The genus *Alstroemeria* belongs to the *Alstroemeriaceae* family and comprises 90 species endemic to South America, of which approximately 38 species and 19 taxa are native to Chile. Through breeding carried out mainly in Europe, USA and Japan, alstroemeria is currently one of the most important crops in the cut flower market. Techniques such as induced mutagenesis, polyploidisation and mainly interspecific crosses, have been used to develop the new varieties that are presently commercialised in the market. This review presents some of the results obtained by the Floriculture Research Group (GIFLOR) of the University of Chile, focusing on the characterisation of alstroemeria flower aroma and colour, using various techniques. Regarding the characterisation of colour, 6-hydroxycyanidin was identified as the main anthocyanidin associated with this trait. Moreover, an *anthocyanidin synthetase* (ANS) gene could be associated with the regulation of pink colour in the species *A. pallida*. The aromatic characterisation identified a total of 42 volatile compounds, most of them monoterpenes. In addition, a gene responsible for the biosynthesis of an aroma-associated monoterpene (*Alstroemeria terpene synthetase*, *AlstroTPS*) that is most highly expressed in anthesis (S2 and S3) was identified. In conclusion, it is important to complement various techniques for a fuller characterisation of aroma and colour, in order to consider these characters in the breeding of alstroemeria.

Keywords: alstroemeria, floral scent, flower colour, terpenes and anthocyanins.

INTRODUCCIÓN

La familia *Alstroemeriaceae* en su más reciente revisión, contiene cinco géneros en el mundo: (i) *Bomarea*, el cual contiene 120 especies dispersas en todo el continente americano; (ii) *Alstroemeria*, el cual cuenta con 90 especies nativas de Sudamérica, distribuidas en su mayoría en el sur del subcontinente y el este de Brasil; (iii) *Luzuriaga*, que contiene 3 especies en Chile y una en Nueva Zelanda; (iv) *Drymophila* con solo una especie en el territorio australiano; y (v) *Leontochir*, el más recientemente descubierto y con solo una especie endémica del Desierto de Atacama (Finot *et al.*, 2018). Dentro de esta familia, Chile es el país que cuenta con la mayor diversidad de especies del género *Alstroemeria* con alrededor de 38 especies y 19 taxones (Muñoz y Moreira, 2003).

Las especies del género *Alstroemeria* son hierbas perennes y se caracterizan por tener flores zigomorfas, vistosas y de diversos colores, con tallos erectos, hojas resupinadas, y un sistema de rizomas que permite su propagación vegetativa (Aagesen y Sanso, 2003). Además, las especies de este género presentan una marcada protandria, es decir, las anteras maduran entre los estados S3 y S4, mientras que el gineceo recién comienza a mostrarse receptivo en S5 (Figura 1). Este fenómeno favorece la polinización cruzada y por ende la biodiversidad dentro del género.



Figura 1. Evolución de la maduración de las anteras y el estigma en flores de *Alstroemeria* cv. "Ajax" en tres estados de desarrollo (S3, S4 y S5, según Wagstaff *et al.*, 2001).

Considerando los atributos ornamentales de la alstroemeria, muchas especies fueron cultivadas en Jardines Botánicos en Europa. Además, comenzó a realizarse mejoramiento genético, principalmente en Europa, EE.UU. y Japón, lo que tuvo como resultado que hoy en día la alstroemeria represente uno de los cultivos más importantes en el mercado de las flores de corte (Lim *et al.*, 2012), y más recientemente como planta en maceta (Bridgen, 2018).

Los primeros híbridos de alstroemeria fueron obtenidos a partir de la hibridación interespecífica entre dos especies chilenas (*A. aurea* R. Graham y *A. violacea* Phil.) (Vonk Noordegraaf, 1981) a partir de los cuales siguieron desarrollándose otros híbridos (Tombolato, 1993). Sin embargo, persistían las barreras al hacer cruzamientos entre especies chilenas y brasileñas, observándose frecuentemente aborto de embriones (De Jeu *et al.*, 1992). En 1995, De Jeu y Jacobsen determinaron que las principales barreras generadas en los cruzamientos interespecíficos ocurrían post fertilización con inhibiciones de la elongación del tubo polínico. A partir de este descubrimiento comenzó a desarrollarse el rescate de embriones, como un método exitoso para la obtención de híbridos a partir de cruzamientos interespecíficos. De esta manera, se han realizado cruzamientos utilizando numerosas especies de alstroemerias, entre las que destacan: i) Especies chilenas: *A. aurea*, *A. pelegrina*, *A. magnifica*, *A. angustifolia*, *A. diluta*, *A. garaventa*, *A. hookeri*, *A. ligtu*, *A. magenta*, *A. presliana*, *A. pulchra*, *A. versicolor*, *A. zoellneri*, ii) Especies brasileñas: *A. inodora*, *A. caryophyllaea*, *A. psittacina*, entre otras (Hoshino *et al.*, 2008). De este modo, se aprovecharon atributos tanto de las especies chilenas (atractivo y tamaño de sus flores, largo de vara floral) como de las especies brasileñas (calidad del follaje y floración permanente, ya que no presentan dormancia).

Los programas de mejoramiento genético de alstroemeria, principalmente establecidos en Holanda, han considerado el tamaño de flor, la vida postcosecha y la resistencia o tolerancia a estreses bióticos y abióticos como principales criterios de selección. Sin embargo, en menor medida se han considerado caracteres asociados a la satisfacción del consumidor, como son el color y el aroma (Aros *et al.*, 2016). Estudios sensoriales han demostrado que el color y el aroma son los atributos más importantes para un consumidor que se dispone a comprar una flor, tanto en Reino Unido (Aros *et al.*, 2015) como en Chile (Aros *et al.*, 2020) (Tabla 1).

Tabla 1. Percepción de consumidores chilenos y británicos de flores, respecto al atributo más apreciado al comprar flores. Se utilizó una escala de 1 (=extremadamente en desacuerdo) a 5 (=extremadamente de acuerdo).

Atributos	Apreciación	
	Chile	Reino Unido
Color de flor	4,84 c	4,73 c
Aroma floral	4,27 b	4,35 c
Vida en florero	3,75 a	3,73 b
Tamaño de flor	3,68 a	3,28 ab
Largo vara	3,74 a	2,75 a

* Los valores corresponden al promedio (n=80). Letras diferentes en la columna indican diferencia estadística de acuerdo al test de Tukey (p<0,05).

Respecto al aroma, ésta es una característica que presentan algunas flores y su función específica es la de atraer polinizadores (Raguso, 2008; Dudareva *et al.*, 2013). El aroma floral es producto de la liberación de compuestos orgánicos volátiles, entre los que se encuentran principalmente terpenos, aromáticos y derivados de ácidos grasos (Dudareva y Pichersky, 2000). En el caso del género *Alstroemeria*, existe sólo una especie descrita como aromática, *A. caryophyllaea*, la cual es endémica de Brasil (Assis, 2004). A partir de esta especie, se han generado algunos cultivares aromáticos (Ej.: “Sweet Laura” y “Ajax”), aunque sigue siendo un carácter muy poco estudiado en este género.

En relación al color, este carácter está relacionado con la acumulación de pigmentos en las flores, los cuales se dividen en tres grupos según su estructura química, localización celular y vía de síntesis bioquímica: carotenoides, flavonoides y alcaloides. Los flavonoides son el grupo más abundante de pigmentos, los cuales producen el espectro más amplio de colores, que van desde el amarillo pálido al azul-violeta y, a su vez, dentro de estos destacan los antocianos (Zhao y Tao, 2015). Su síntesis está regulada por genes de la ruta biosintética de los antocianos, y además por factores de transcripción que juegan un papel importante en el desarrollo del color de flores, a través de la regulación de la expresión temporal y espacial de los genes estructurales (Xie *et al.*, 2006).

Esta revisión tiene como objetivo dar a conocer algunos de los resultados obtenidos por el Grupo de Investigación en Floricultura (GIFLOR) de la Universidad de Chile, en relación al estudio del aroma y el color en especies nativas del género *Alstroemeria*. Estos resultados fueron obtenidos en el marco de proyectos concursables de investigación, memorias de pregrado y tesis de magister y doctorado, aportando además información de trabajos previamente publicados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Para los estudios de evaluación del color y aroma floral de alstroemeria, se utilizaron especies nativas chilenas (*A. pallida*, *A. umbellata*) y brasileñas (*A. caryophyllaea*) y el cultivar aromático “Sweet Laura”. Además, se utilizaron híbridos provenientes de cruzamientos entre líneas de *A. caryophyllaea* (híbridos DANCAR) (Aros *et al.*, 2015) y cruzamientos entre especies nativas y cultivares (híbridos CORUCH) (Aros *et al.*, 2019) desarrollados en la Universidad de Chile.

Caracterización del Aroma

Evaluación sensorial. Para evaluar el aroma floral de alstroemeria se realizaron evaluaciones sensoriales utilizando un panel no entrenado compuesto por 70 individuos, mediante una prueba de grado de satisfacción en base a una escala hedónica continua cuyos extremos eran: “me gusta extremadamente” (9) y “me disgusta extremadamente” (1). Además, se evaluó la intensidad del aroma utilizando una escala de intervalo con los siguientes parámetros extremos: “extremadamente alto” (9) y “extremadamente bajo” (1). Para realizar el análisis estadístico del estudio de percepción sensorial, todas las escalas utilizadas fueron traducidas a valores numéricos.

Evaluación instrumental. Para determinar los principales compuestos volátiles que forman parte del aroma floral de alstroemeria, se realizó un análisis mediante cromatografía de gases usando como detector el espectrómetro de masas. La unidad experimental correspondió a una flor en estado S4 (Wagstaff *et al.*, 2001). La extracción de los compuestos aromáticos de la flor se realizó mediante el método de micro extracción en fase sólida del espacio de cabeza o Headspace Solid Phase Microextracción (HS-SPME). Los genotipos “Sweet Laura” y DANCAR fueron analizados siguiendo el método en Aros *et al.* (2012) y el híbrido 14E08 según Aros *et al.* (2019). Finalmente, el perfil volátil del híbrido 13M07 se analizó empleando una fibra triple de 2 cm de Carboxen/DVB/PDMS (Supelco, Bellefonte, PA, EE.UU.). Esta fibra se expuso al espacio de cabeza del vial contenedor de la flor durante 30 minutos. Tras la extracción, la fibra se inyectó en el cromatógrafo en modo “splitless” (3 min) a 280 °C (Aros *et al.*, 2012). Para llevar a cabo el análisis se empleó un cromatógrafo 7890B acoplado a un espectrómetro de masas Agilent 5977 inert (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, EE.UU.) y columna capilar DB Wax de 60 m metros (J&W Scientific, Folsom, CA, EE.UU.). El programa de temperatura fue el siguiente: 35 °C por 1 min y luego se elevó a 130 °C subiendo 12 °C/min, luego 160 °C a 1 °C/min manteniéndose 5 min y finalmente a 10 °C/min a 220 °C (manteniendo a esta temperatura durante 10 minutos).

Caracterización molecular. Para evaluar la expresión de genes asociados a la producción de aroma, se realizó la amplificación y posterior cuantificación relativa del gen *AltroTPS*, previamente aislado y caracterizado como participante en la ruta metabólica de monoterpeno

(Aros *et al.*, 2012). La amplificación por RT-PCR en tiempo real se realizó utilizando un termociclador ABI 7900 (Applied Biosystems, Monza, Italia), en un volumen de reacción final de 6 µL conteniendo 3 µL de Mix SYBR Green (AppliedBiosystems, Warrington, RU), 5 pmol de cada partidor (SIGMA, Aldrich) y aproximadamente 20 ng de ADNc. Se utilizaron los genes *18S* (Aros *et al.*, 2012) y *eEF1A* (Hirai *et al.*, 2012) como genes de referencia.

Evaluación del color

Evaluación fenotípica. La caracterización visual del color de flores de alstroemeria se realizó *in situ*, sobre el tercio medio de los tépalos externos, utilizando la RHS mini colour chart (The Royal Horticultural Society & Flower Council Holland, Londres, 2005). Cada evaluación se realizó sobre 3 individuos distintos que presentaran el mismo color visual.

Caracterización antociánica. Se utilizó aproximadamente 300 mg de tejido de los tépalos externos y se realizó una extracción con 10 mL de mezcla de MeOH:HCO₂H:H₂O (10:3:3), agitando durante una hora a 175 rpm. Los extractos obtenidos se llevaron a sequedad en un rotavapor (R-210, Buchi, Agilent 1200 series) a 35°C. El pellet fue resuspendido en 200 µL de solución MeOH:H₂O (1:1) filtrada con filtro de 0,22 µm millipore Millex-GV PVDF y puesto en un vial. Posteriormente, cada extracto filtrado (n=20) fue inyectado en el cromatógrafo (Agilent technologies, serie 1200, California, EE.UU.). La separación fue conducida usando una columna Simetry C18 (4,6 x 250 mm, Waters Corp.) con un tamaño de partícula de 5 µm. Se registró la información espectral en la longitud de onda 280 y 520 nm para determinar la concentración de las antocianinas de forma relativa a malvidina 3-glucósido.

Caracterización molecular. Se realizó amplificación y posterior cuantificación relativa de la expresión de genes claves de la ruta de biosíntesis de antocianos. La amplificación por RT-PCR en tiempo real se realizó utilizando un Eco real-time PCR system (Illumina, BC-100-1001, California, EE.UU.), en un volumen de reacción final de 10 µL conteniendo 5 µL de Mix SYBR Green (AppliedBiosystems, California, EE.UU.), 0,25 µM de cada partidor (SIGMA, Aldrich) y aproximadamente 40 ng de ADNc. Cada reacción se realizó por triplicado (3 réplicas técnicas). Se utilizaron los genes *18S* y *eEF1A* como genes de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tanto el color como el aroma son características propias de cada especie y están muy relacionadas con el desarrollo de la floración, debido a que estos caracteres tienen como principal función atraer polinizadores al momento de la antesis (Weiss, 1991; Raguso, 2008). En alstroemeria, Wagstaff *et al.* (2001) ha definido 8 estados de desarrollo floral (S0–S7) a partir de la observación de la floración del cultivar Samora. Estos estados de desarrollo se definen como: S0= Botón coloreado; S1= apertura del primer tépalo; S2= apertura floral completa; S3= tres anteras dehiscentes; S4= seis anteras dehiscentes; S5= aparición de

estigma con líquido estigmático visible; S6= pérdida de color y comienzo del marchitamiento de tépalos; y S7= abscisión de los tépalos marchitos. Estos estados de desarrollo son muy útiles para la caracterización de otros atributos y en este estudio se caracterizó este proceso en la especie *A. caryophyllaea* y el cultivar “Sweet Laura” (Figura 2).

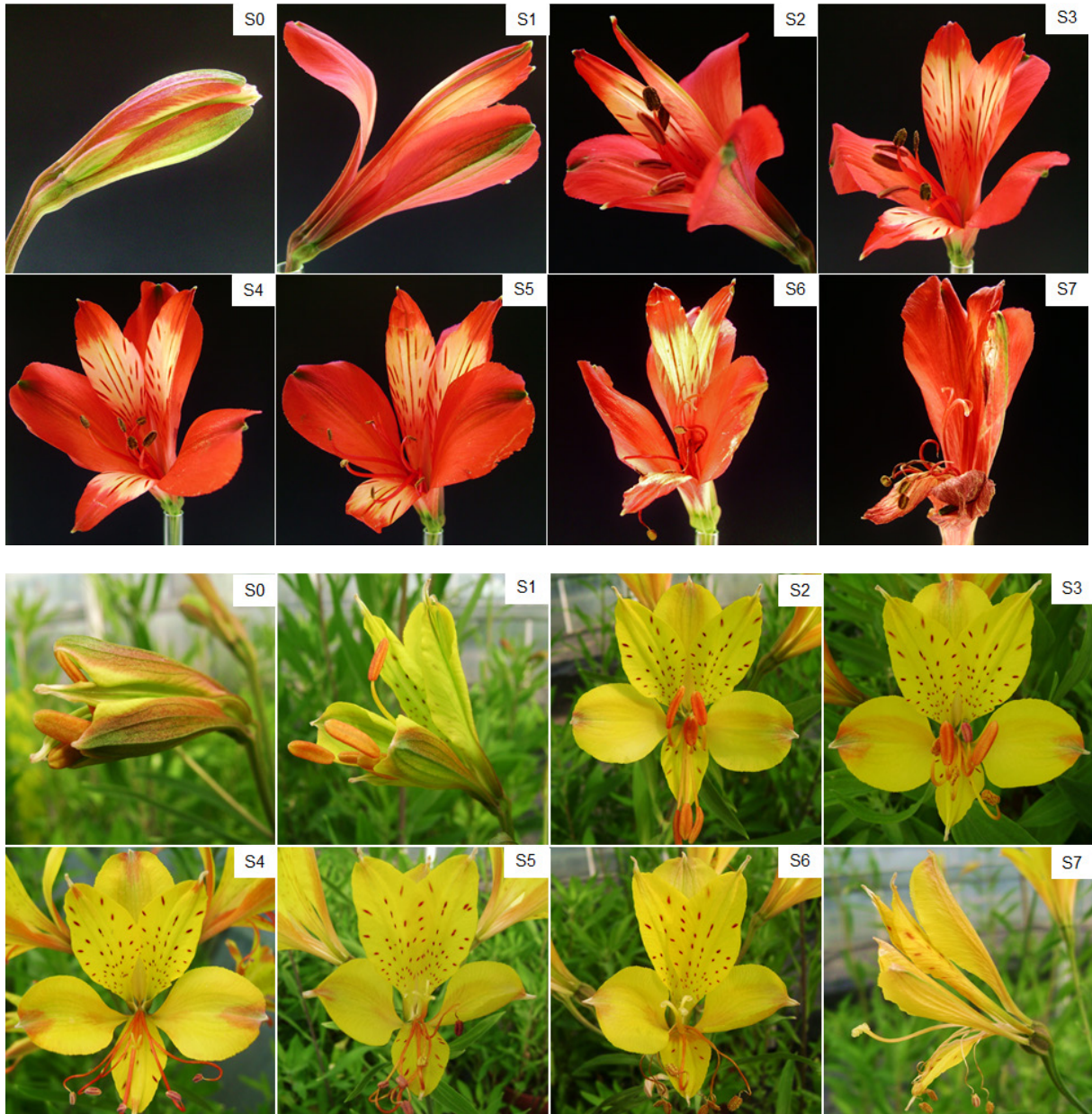


Figura 2. Estados de desarrollo identificados en la especie *Alstroemeria caryophyllaea* (arriba) y el cultivar “Sweet Laura” (abajo), de acuerdo a lo previamente descrito por Wagstaff *et al.* (2001). Fuente: Aros (2010).

Evaluación del aroma floral

Análisis sensorial del aroma floral. La evaluación sensorial del aroma de flores de híbridos “DANCAR” reveló que en general todos los híbridos fueron descritos positivamente por el panel, con valores que fluctuaron entre 6,9 (híbrido 17) y 5,9 (DANCAR 004), es decir, entre ‘me gusta moderadamente’ (=7) y me gusta ligeramente (=6). Respecto a la intensidad del aroma, el híbrido DANCAR 004 presentó una intensidad significativamente menor (3,6) en comparación con el resto de los híbridos, los cuales estuvieron entre ‘ligeramente alto’ (=6) y ‘ni bajo ni alto’ (=5) (Figura 3).

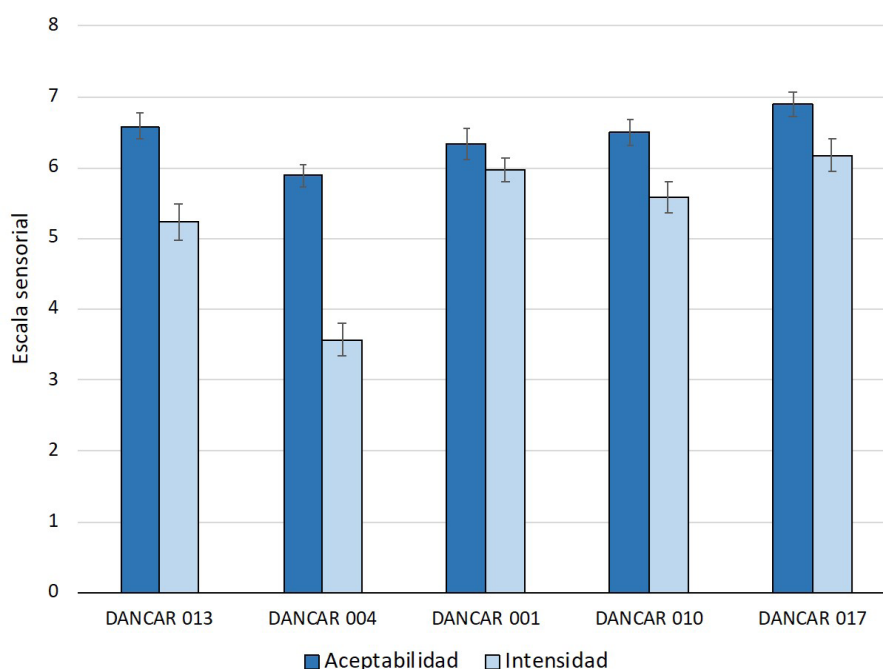


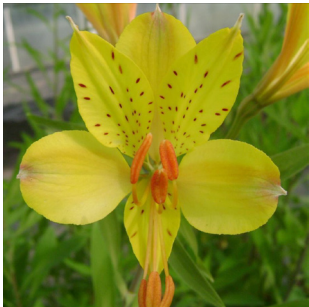
Figura 3. Análisis sensorial que considera la evaluación de la intensidad y la aceptabilidad del aroma de cinco híbridos de alstroemeria. Las barras representan el error estandar (n=70). Fuente: Aros (2010).

Los resultados revelaron cierta correlación entre la intensidad y la aceptabilidad, considerando que los valores más altos fueron observados en DANCAR017, mientras que los valores más bajos en DANCAR004. Es decir, aparentemente cuanto más intenso es el aroma, mayor fue el grado de aceptabilidad. Esta correlación ha sido previamente descrita en estudios que utilizaron perfumes (Distel, 1999) y además descrita como una ‘U invertida’ (Moskowitz, 1977), donde la percepción positiva asociada a la intensidad llega a un máximo, para luego convertirse en una correlación negativa.

Caracterización del aroma floral. La caracterización del aroma floral realizado mediante GC-MS, identificó un total de 42 compuestos orgánicos volátiles distintos en los 4 genotipos de alstroemeria evaluados. La gran mayoría de estos compuestos corresponden a terpenos (58,9%), específicamente a monoterpenos (46,4%) donde los compuestos más frecuentes fueron los isómeros de pineno, ocimeno y limoneno. Aparte de compuestos terpénicos, se identificaron ésteres, alcoholes y aldehídos (Tabla 2).

Tabla 2. Lista de compuestos volátiles identificados en tres híbridos y un cultivar de alstroemeria (Aros *et al.*, 2012; Aros *et al.*, 2015; Aros *et al.*, 2019). Se incluyen el grupo químico al que pertenece cada compuesto y su respectiva descripción aromática.

Nombre	Grupo	Descripción aromática*	Genotipo
α -pineno	Monoterpeno	Pino, trementina	 Híbrido 14 E08
b-thujene	Monoterpeno	N/I**	
β -pineno	Monoterpeno	Pino, resina, trementina	
Limoneno	Monoterpeno	Limón, naranja	
Eucalyptol	Monoterpeno	Menta, dulce	
E- β -ocimeno	Monoterpeno	Dulce, herbal	
Z-ocimeno	Monoterpeno	Cítrico, herbal, floral	
γ -terpineno	Monoterpeno	Pino, plástico	
Allo-ocimeno	Monoterpeno	N/I	
3-thujene	Monoterpeno	N/I	 Híbrido DANCAR
α -pineno	Monoterpeno	Pino, trementina	
Sabineno	Monoterpeno	Pimienta, trementina, madera	
Mirceno	Monoterpeno	Mosto, especia, balsámico	
3-careno	Monoterpeno	Limón, resina	
D-limoneno	Monoterpeno	Limón, naranja	
β -trans-ocimeno	Monoterpeno	Herbáceo, floral, verde, terpénico	
γ -terpineno	Monoterpeno	Pino, plástico	
Terpinoleno	Monoterpeno	Dulce, pino	
Allo-ocimeno	Monoterpeno	N/I	
Cariofileno	Sesquiterpeno	Madera, especia	
α -cariofileno	Sesquiterpeno	N/I	
Hexanal	Aldehído	Pasto, sebo, grasa	
Etilanisol	Alcohol	N/I	

β -ocimeno	Monoterpeno	Herbáceo, verde, terpénico	
Isocariofileno	Sesquiterpeno	Madera	
α -cariofileno	Sesquiterpeno	N/I	
α -farneseno	Sesquiterpeno	Madera, dulce	
Biciclo	Sesquiterpeno	N/I	
Azuleno	Sesquiterpeno	N/I	
Benceno	Aromático	Gasolina	
Fenol	Aromático	Fenol	
Alcohol de cinamilo	Aromático	Jacinto, floral	
Naftaleno	Aromático	Alquitrán	
Ácido butanóico	Ácido	Rancio, desagradable	A. cv. 'Sweet Laura'
(-)- β -pineno	Monoterpeno	Pino, resina, trementina, madera	
D-limoneno	Monoterpeno	Limón, naranja	
Eucaliptol	Monoterpeno	Pine, eucalyptus, herbal, alcanfor	
β -trans-ocimeno	Monoterpeno	Herbáceo, floral, verde, terpénico	
β -ocimeno	Monoterpeno	Herbáceo, verde, terpénico	
3-Careno	Monoterpeno	Limón, resina	
4-metil-2-pentil acetato	Éster	N/I	
Acetato de hexilo	Éster	Fruta, hierba	
Methyl hexanoato	Éster	Fruta, fresco, dulce	
Metil octanoato	Éster	Naranja	
Etil octanoato	Éster	Fruta, grasa	
Benzoato de metilo	Éster	Ciruela pasa, lechuga, herbal, dulce	
Salicilato de metilo	Éster	Pimienta	
Trans-3-Hexenil acetato	Éster	N/I	
o-Cymeno	Aromático	N/I	
Mesitileno	Aromático	Pesticida	
1,1-Dimetil-3-metileno-2-vinylcyclohexano	*	N/I	
Hexanol	Alcohol	Resina, flor, verde	
cis-3-Hexen-1-ol	Alcohol	Grasa, verde	
2-metil- 6-Heptenol	Alcohol	N/I	
Hexanal	Aldheído	Pasto, sebo, grasa	
6 metil-Hepten-2-one	Cetona	Grasa, verde, cítrico	

* La descripción aromática fue consultada desde Flavornet (www.flavornet.org) y Pubchem (www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound).

** N/I se refiere a que no se obtuvo información de estos compuestos.

En términos cuantitativos (relativos o absolutos según fue el análisis), los compuestos en mayor abundancia fueron los siguientes: E- β -ocimeno (híbrido 14E08), mirceno (híbrido DANCAR), isocariofileno (“Sweet Laura”) y salicilato de metilo (híbrido 13 M07). No obstante, es importante aclarar que no necesariamente son estos los compuestos responsables del aroma percibido de estas flores (Aros *et al.*, 2020). Además, considerando la diversidad de compuestos volátiles identificados y las diferencias que existen entre los compuestos más abundantes en cada genotipo, se confirma la hipótesis de que el carácter del aroma es de herencia compleja (Amrad *et al.*, 2016). Así, a pesar de que todos estos genotipos tienen como parental común *A. caryophyllaea*, única especie aromática descrita dentro del género, la composición del aroma resulta ser bastante diversa.

Caracterización molecular. Se identificó y caracterizó el primer gen asociado a la producción de aroma (mirceno) en alstroemeria. Este gen se denominó Alstroemeria terpeno sintetasa (*AlstroTPS*), correspondió a una secuencia de 567 aminoácidos (Aros *et al.*, 2012) y su expresión fue evaluada en los genotipos aromáticos *A. caryophyllaea* y *A. cv.* “Sweet Laura”. Se observó una mayor expresión de este gen hacia los estados S2 y S3, principalmente en el cultivar “Sweet Laura”. Además, cuantitativamente, el cultivar “Sweet Laura” presentó una expresión muy superior a *A. caryophyllaea* (Figura 4).

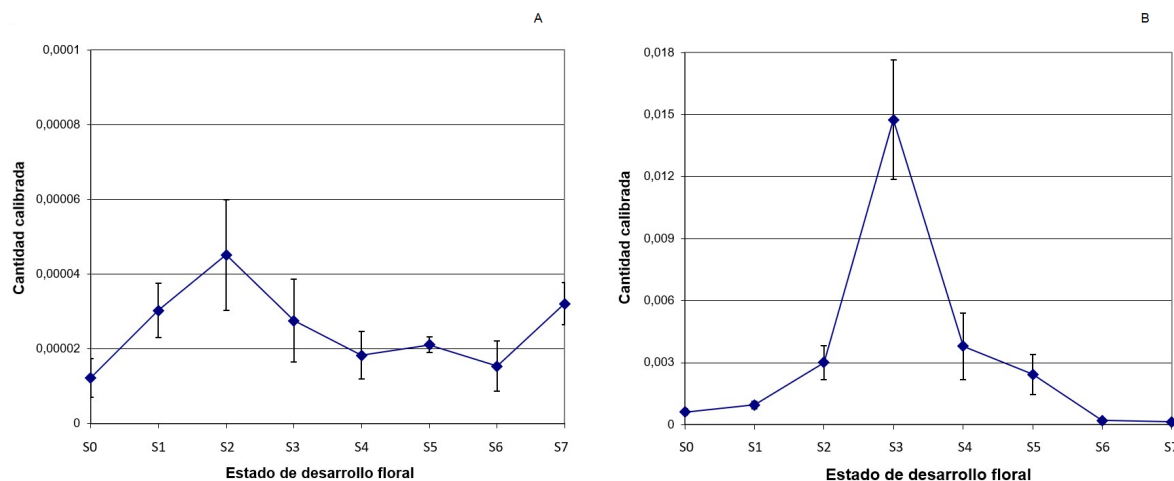


Figura 4. Expresión de *AlstroTPS* en 8 estados de desarrollo floral en A) *Alstroemeria caryophyllaea* y B) *A. cv.* “Sweet Laura”. Las barras representan el error estándar (n=12). Fuente: Aros (2010).

Al igual que la composición química del aroma, la expresión de genes asociados a su biosíntesis también resulta difícil de interpretar ya que *A. cv.* “Sweet Laura” es un híbrido que, a pesar de provenir directamente de *A. caryophyllaea*, presenta un patrón de expresión del gen *AlstroTPS* distinto, principalmente en términos cuantitativos. Tal como se mencionó anteriormente, este carácter resulta complejo de seguir de una generación a otra (Amrad *et al.*, 2016). Por otro lado, la mayor expresión observada en los estados S2 y S3 está

relacionada con el inicio de la emisión de polen desde las anteras, y justo antes de que la flor alcance plena antesis y la máxima emisión de aroma (S4). Por lo tanto, esto además confirma la función del aroma floral en la atracción de polinizadores (Dudareva *et al.*, 2013).

Evaluación del color de flor

Fenotipo. Utilizando la carta de colores, se logró identificar 5 accesiones para *A. pallida*, incluyendo desde flores de color blanco (RHSN999D, RHSN155B), hasta de color rosado (RHS68C). Para *A. umbellata* se identificaron cuatro accesiones, que fueron desde el rosado claro (RHS56A) hasta el rosado oscuro (RHS61D) (Figura 5).

Color	Código RHS	Color	<i>A. pallida</i>	<i>A. umbellata</i>
Blanco	RHS N999D		x	
	RHS 155B		x	
Rosado claro	RHS 56C		x	
	RHS 56A			x
	RHS 65B		x	
Rosado	RHS 64D			x
	RHS 68C		x	x
Rosado oscuro	RHS 61D			x

Figura 5. Caracterización fenotípica del color de tépalos de *Alstroemeria pallida* y *A. umbellata*, evaluada mediante una RHS mini colour chart. Se indican los nombres y los códigos RHS de cada color observado.

Estos datos demuestran la diversidad intraespecífica que presentan las especies del género *Alstroemeria*, probablemente debido a la polinización cruzada que las caracteriza. Específicamente para las especies de la Cordillera de los Andes, se ha sugerido que esta polinización es mediada por insectos de la clase hymenoptera (Cavieres *et al.*, 1998). La diversidad de colores encontrada en esta especie podría tener consecuencias ecológicas, tal como se ha estudiado previamente en términos del comportamiento de insectos polinizadores (Paine *et al.*, 2019) y la frecuencia del ataque de herbívoros (Vaidya *et al.*, 2018). Esta variación intraespecífica del color de flor ha sido estudiada previamente y se ha descrito que aparentemente ocurre de manera aleatoria en plantas (Bohm, 1987).

Antocianos. A través del análisis de caracterización antociánica de tépalos de *A. pallida*, se identificó solo un compuesto, el cual según sus $\lambda_{\max}$ correspondería a la antocianidina 6-hidroxicianidina (Saito *et al.*, 1985) (Figura 6).

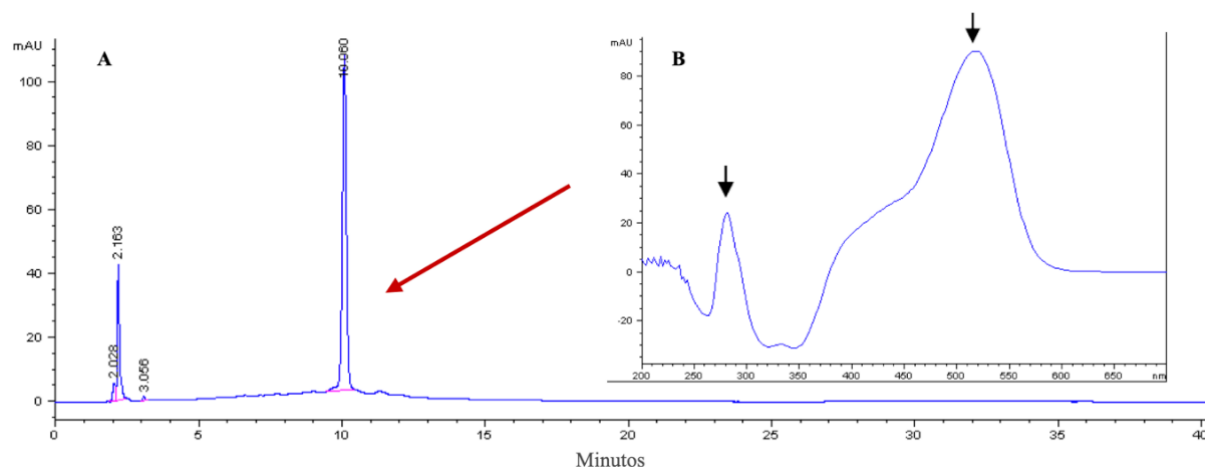


Figura 6. Cromatograma a 520nm (A) y espectro de absorción (B) de antocianidinapresente en las cinco accesiones de *Alstroemeria pallida*. Flecha roja indica *peak* que correspondería a 6-hidroxicianidina en el cromatograma. Flechas negras indican los máximos en el espectro de absorción. mAU: unidades de miliabsorbancia.

Considerando que solo se identificó un compuesto, es posible que existan otros pigmentos glicosilados que estarían aportando al color de tépalos, tal como los descritos en el estudio realizado en *alstroemeria* por Nørnbæk *et al.* (1996). Sin embargo, sería necesario utilizar técnicas más avanzadas tales como HPLC-MS o UPLC-MS para realizar una caracterización más precisa de estos compuestos (Xu *et al.*, 2018; Du *et al.*, 2018). Finalmente, como era de esperar, la concentración relativa de esta putativa 6-hidroxicianidina en cada una de las accesiones, mostró que la accesión más pálida (RHSN999D) posee una concentración relativa casi nula de esta antocianina en comparación con las demás accesiones.

Caracterización molecular. Entre todos los genes evaluados, se logró amplificar exitosamente antocianidina sintetasa (*ANS*) y chalcona sintetasa (*CHS*). *CHS* participa en el comienzo de la ruta de síntesis de antocianinas, permitiendo la formación de chalconas. Por otro lado, *ANS* participa en la penúltima etapa de esta ruta, permitiendo la obtención de antocianidinas coloreadas a partir de leucoantocianina (To y Wang, 2006). La expresión relativa de *CHS* se mantiene constante en las cinco accesiones de *A. pallida*, mientras que la expresión de *ANS*, en general, presentó mayores valores relativos en accesiones de flores con tonalidades más rosadas (Tabla 3).

Tabla 3. Expresión relativa de los genes antocianidina sintetasa (*ANS*) y chalcona sintetasa (*CHS*) en tépalos de flores de 5 accesiones de *Alstroemeria pallida*.

Accesión	Expresión relativa	
	ANS	CHS
RHSN999D	1,57 b	2,72 a
RHS155B	5,57 a	2,67 a
RHS56C	1,31 b	0,55 a
RHS65B	5,56 a	0,98 a
RHS68C	10,85 a	3,59 a

* Letras diferentes en la columna indican diferencia estadística de acuerdo al test de Tukey ($p < 0,05$).

Este patrón de expresión coincide parcialmente con la concentración de 6-hidroxicianidina, lo cual sugiere que el gen *ANS* poseería un rol importante en la acumulación de este pigmento. Este gen ha sido previamente identificado como clave en la pigmentación floral de otras especies, en donde la ausencia de su expresión se ha asociado a flores blancas (Nakatsuka *et al.*, 2007) o con coloración muy pálida (Shimizu *et al.*, 2011). Sin embargo, *ANS* podría no ser el único gen responsable, tal como se ha descrito anteriormente (Li *et al.*, 2014). En este sentido, es importante estudiar otros genes para llegar a comprender la ruta metabólica completa de la biosíntesis de antocianos en esta especie.

CONCLUSIONES

El color y el aroma floral son los caracteres más importantes en los cultivos ornamentales y deben ser considerados en los programas de mejoramiento genético. En el caso particular de alstroemeria, si bien existe una diversidad enorme en cuanto al color de la flor, no hay suficientes esfuerzos por desarrollar el carácter del aroma. Es altamente probable que esto se deba a la escasez de este carácter dentro del género (sólo una especie descrita como aromática), pero seguramente la herencia cuantitativa que presenta el aroma sea la razón más importante. Además, el color es un carácter relativamente sencillo de caracterizar y fenotipar, mientras que el aroma es un carácter mucho más complejo y que depende mucho del evaluador y puede presentar heredabilidad baja. Por esta razón, el complemento de diversas técnicas (sensoriales, visuales, instrumentales) puede que sea la mejor alternativa para la caracterización del aroma y el color.

Finalmente, junto con la caracterización de estos atributos, es importante también el estudio de las rutas biosintéticas y los genes asociadas a la producción de metabolitos secundarios que dan origen al color y el aroma. De esta manera se llega a un mejor entendimiento de estos caracteres y además, sería posible conducir de manera más eficientes un programa de mejoramiento genético utilizando selección asistida con marcadores.

AGRADECIMIENTOS

CONICYT N.º 791100024, FONDECYT de Iniciación N.º 11130325, FONDEQUIP N.º EQM130129, Gobierno de Chile. Programa U-inicia, Vicerrectoría de Asuntos Académicos, Universidad de Chile.

REFERENCIAS

AAGESEN, L.; SANSONO, A.M. 2003. The phylogeny of the *Alstroemeriaceae*, based on morphology, rps16 Intron, and rbcL sequence data. *Systematic Botany* 28(1), 47-69.

AMRAD, A.; MOSER, M.; MANDEL, T.; DE VRIES, M.; SCHUURINK, R.C.; FREITAS, L.; KUHLEMEIER, C. 2016. Gain and loss of floral scent production through changes in structural genes during pollinator-mediated speciation. *Current Biology* 26, 3303–3312.

AROS, D. 2010. Floral scent evaluation of *Alstroemeria*. Tesis para optar al grado de doctor. Cardiff University, School of Biosciences. Cardiff, Reino Unido. 258 p.

AROS, D.; GONZALEZ, V.; ALLEMANN, R.K.; MÜLLER, C.T.; ROSATI, C.; ROGERS, H.J. 2012. Volatile emissions of scented *Alstroemeria* genotypes are dominated by terpenes, and a myrcene synthase gene is highly expressed in scented *Alstroemeria* flowers. *Journal of Experimental Botany* 63(7), 2739-2752.

AROS, D.; SPADAFORA, N.; VENTURI, M.; NÚÑEZ-LILLO, G.; MENESES, C.; METHVEN, L.; MÜLLER, C.T.; ROGERS, H.J. 2015. Floral scent evaluation of segregating lines of *Alstroemeria caryophyllaea*. *Scientia Horticulturae* 185, 183-192.

AROS, D.; RIVAS, C.; TOLEDO, M.; CÉSPEDES, C.; CORTÉS, C.; SANTANDER, M.A.; VÁSQUEZ, M.; ÁLVAREZ, N.; DONOSO, A.; PRAT, M.L. 2016. Chilean native species from the Andes Mountains: an attractive source of germplasm for ornamental plant breeding. *Acta Horticulturae (ISHS)* 1171, 375-380.

AROS, D.; SUAZO, M.; RIVAS, C.; ZAPATA, P.; ÚBEDA, C.; BRIDGEN, M. 2019. Molecular and morphological characterization of new interspecific hybrids of *alstroemeria* originated from *A. caryophyllaea* scented lines. *Euphytica* 215 (5), 93.

- AROS, D., GARRIDO, N., RIVAS, C., MEDEL, M., MÜLLER, C., ROGERS, H., AND ÚBEDA, C. 2020. Floral scent evaluation of three cut flowers through sensorial and gas chromatography analysis. *Agronomy* 10(1), 131.
- ASSIS, M.C. 2004. *Alstroemeriaceae* no estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 55 (85), 5-15.
- BAYER, E. 1987. Die Gattung *Alstroemeria* in Chile. *Mitt. Bot. Staats München* 24, 1-362.
- BOHM, B.A. 1987. Intraspecific flavonoid variation. *The Botanical Review* 53(2), 197.
- BRIDGEN, M.P. 2018. *Alstroemeria*. En: Van Huylbroeck J. (eds) *Ornamental Crops. Handbook of Plant Breeding*, vol 11. Springer. Cham. pp. 231-236
- CAVIERES, L.; PEÑALOZA, A.P.; ARROYO, M.T.K. 1998. Efectos del tamaño floral y densidad de flores en la visita de insectos polinizadores en *Alstroemeria pallida* Graham (*Amaryllidaceae*). *Gayana Botánica* 55, 1-10.
- DE JEU, M.J.; SASBRINK, H.; GARRIGA, F.; CALDERE, F.; PIKET, J. 1992. Sexual reproduction biology of alstroemeria. *Acta Horticulturae* 325, 571-576.
- DE JEU, M.J.; JACOBSEN, E. 1995. Early postfertilization ovule culture in *Alstroemeria* L. and barriers to interspecific hybridization. *Euphytica* 86(1), 15-23.
- DISTEL, H.; AYABE-KANAMURA, S.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, M.; SCHICKER, I.; KOBAYAKAWA, T.; SAITO, S.; HUDSON, R. 1999. Perception of everyday odors—correlation between intensity, familiarity and strength of hedonic judgement. *Chem. Senses* 24, 191-199.
- DU, H.; LAI, L.; WANG, F.; SUN, W.; ZHANG, L.; LI, X.; WANG, L.; JIANG, L.; ZHENG, Y. 2018. Characterisation of flower colouration in 30 *Rhododendron* species via anthocyanin and flavonol identification and quantitative traits. *Plant Biology* 20(1), 121-129.
- DUDAREVA, N.; KLEMPIEN, A.; MUHLEMANN, J.K.; KAPLAN, I. 2013. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist* 198(1), 16-32.
- DUDAREVA, N.; PICHERSKY, E. 2000. Biochemical and Molecular Genetic Aspects of Floral Scents. *Plant Physiology* 122, 627-633.
- FINOT, V.; BAEZA, C.; MUÑOZ-SCHICK, M.; RUIZ, J.; ESPEJO, E.; ALARCÓN, D.; CARRASCO, P.; NOVOA, P.; EYZAGUIRRE, M.T. 2018. Guía de Campo Alstroemerias Chilenas. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. 292 p.
- HIRAI, M.; YAMAGISHI, M.; KANNO, A. 2012. Reduced transcription of a LEAFY-like gene in *Alstroemeria* sp. cultivar Green Coral that cannot develop floral meristems. *Plant Science* 185, 298-308.
- HOSHINO, Y. 2008. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues. Global Science Books, UK. Vol. 5. Chapter 51, pp. 540-547.

- LI, Q.; WANG, J.; SUN, H.Y.; SHANG, X. 2014. Flower color patterning in pansy (*Viola × wittrockiana* Gams.) is caused by the differential expression of three genes from the anthocyanin pathway in acyanic and cyanic flower areas. *Plant Physiology and Biochemistry* 84, 134-141.
- LIM, S.S.; LEE, S.I.; KANG, S.C.; KIM, J.B. 2012. *Alstroemeria* plants and its biotechnological applications. *J. Plant Biotechnology* 39(4), 219-24.
- MOSKOWITZ, H.R. 1977. Intensity and hedonic functions for chemosensory stimuli. *The Chemical Senses and Nutrition*. Academic Press, New York, 71-101.
- MUÑOZ, M.; MOREIRA, A. 2003. *Alstroemerias de Chile: Diversidad, Distribución y Conservación*. Santiago, Taller La Era. 140 p.
- NAKATSUKA T.; ABE, Y.; KAKIZAKI, Y.; YAMAMURA, S.; NISHIHARA, M. 2007. Production of red- flowered plants by genetic engineering of multiple flavonoid biosynthetic genes. *Plant Cell Report* 26, 1951-1959.
- NØRBÆK, R.; CHRISTENSEN, L.P.; BOJESEN, G.; BRANDT, K. 1996. Anthocyanins in the Chilean species of *Alstroemeria*. *Phytochemistry* 42, 97-100.
- PAINE, K.C.; WHITE, T.E.; WHITNEY, K.D. 2019. Intraspecific floral color variation as perceived by pollinators and non-pollinators: evidence for pollinator-imposed constraints?. *Evolutionary Ecology* 33(4), 461-479.
- RAGUSO, R. A. 2008. Start making scents: the challenge of integrating chemistry into pollination ecology. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128 (1), 196-207.
- SAITO N., YOKOI, M.; YAMAJI, M.; HONDA, T. 1985. Anthocyanidin glycosides from the flowers of *Alstroemeria*. *Phytochemistry* 24, 2125-2126.
- SHIMIZU, K.; OHNISHI, N.; MORIKAWA, N.; ISHIGAMI, A.; OTAKE, S.; RABAH, I.O.; SAKATA, Y.; HASHIMOTO, F. 2011. A 94- bp deletion of anthocyanidin synthase gene in acyanic flower lines of lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 80 (4), 434-442.
- TO, K.Y.; WANG, C.K. 2006. Molecular breeding of flower color. *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology* 1, 300-310.
- TOMBOLATO, A.F.C.; BURCHI, G.; BIANCHINI, C.; BREGLIANO, R.; SCHIVA, T. 1993. Interspecific crosses on *Alstroemeria*. En: *Proc. of the XVIIth EUCARPIA Symposium "Creating Genetic Variation in Ornamentals"* (Schiva, T., Mercuri, A. Eds.), 301-307.
- VAIDYA, P.; MCDURMON, A.; MATTOON, E.; KEEFE, M.; CARLEY, L.; LEE, C.R.; BINGHAM, R.; ANDERSON, J.T. 2018. Ecological causes and consequences of flower color polymorphism in a self-pollinating plant (*Boechera stricta*). *New Phytologist* 218 (1), 380-392.

- VONK NOORDEGRAAF, C. 1981. Bloemproductie bij *Alstroemeria* 'Walter Fleming'. Meded 69: 1–152.
- WAGSTAFF, C.; ROGERS, H.; LEVERENTZ, M.; THOMAS, B.; CHANASUT, U.; STEAD, A. 2001. Characterisation of *Alstroemeria* vase life. Acta Horticulturae 543, 161-175.
- WEISS, M. R. 1991. Floral colour changes as cues for pollinators. Nature 354(6350), 227-229.
- XIE D.Y.; SHARMA, S.B.; WRIGHT, E.; WANG, Z.Y.; DIXON, R.A. 2006. Metabolic engineering of proanthocyanidins through co-expression of anthocyanidin reductase and the PAP1 MYB transcription factor. Plant Journal 45 (6), 895-907.
- XU, W.; LUO, G.; YU, F.; JIA, Q.; ZHENG, Y.; BI, X.; LEI, J. 2018. Characterization of anthocyanins in the hybrid progenies derived from *Iris dichotoma* and *I. domestica* by HPLC-DAD-ESI/MS analysis. Phytochemistry 150, 60-74.
- ZHAO, D.Q.; TAO, J. 2015. Recent advances on the development and regulation of flower color in ornamental plants. Frontiers in Plant Science 6, 261.

COLECTA DE GENOTIPOS DE LOS GÉNEROS *POLIANTHES*, *MAFREDA* Y *PROCHNYANTHES* E IDENTIFICACIÓN DE SUS HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS E INTERGENÉRICOS POR MARCADORES AFLP

Ernesto Tapia-Campos^{1*}, Rodrigo Barba-González¹, Ma. Claudia Castañeda-Saucedo² y Tania Yuriko Lara-Bañuelos¹

¹Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Zapopan, Jalisco, 45019, México.

²Centro Universitario del Sur (CUSUR), Universidad de Guadalajara, Ciudad Guzmán, Jalisco, 49000, México.

*Autor para correspondencia: etapia@ciatej.mx

RESUMEN

Polianthes, *Prochnyanthes* y *Manfreda* son los únicos tres géneros herbáceos de la subfamilia *Agavoideae*, los dos primeros son endémicos de México; mientras que *Manfreda* tiene una mayor distribución en América. La especie más conocida de estos géneros es *P. tuberosa* (nardo), que es usada a nivel mundial como ornamental y en la perfumería; sin embargo, existen especies silvestres con un gran potencial como fuentes de genes para el mejoramiento genético, además de ser ricas en compuestos útiles en el sector de la perfumería y/o agroindustria. Como parte de un programa de mejoramiento genético del género *Polianthes* se colectaron especies silvestre de estos tres géneros para realizar cruzamientos intergenéricos e interespecíficos. Se tomaron muestras de suelo en los diferentes sitios de colecta para identificar variantes de esta condición. Para la detección de híbridos se usó la técnica AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), se probaron 6 combinaciones de iniciadores Eco +3 / Mse +3 logrando un total de 290 bandas de las cuales 220 (75,65%) fueron polimórficas. El promedio de bandas por combinación fue de 48,3. Las combinaciones Mse +CAT/ Eco +ACT y Mse +CAT/ Eco +ACG, fueron aquellas con mayor número de fragmentos (67 y 61 bandas respectivamente) con porcentajes de polimorfismos de 77,6% y 7,7%, respectivamente. Todas las combinaciones usadas generaron fragmentos que claramente correspondieron a los progenitores, las cuales fueron útiles para confirmar el estatus híbrido de los individuos, demostrando la utilidad de los marcadores AFLP en el mejoramiento de *Polianthes*. El análisis de suelo por localidad no presentó variantes extremas de condiciones de suelo donde crecen las especies silvestres colectadas.

Palabras clave: geófitas mexicanas, nardo, mejoramiento genético.

ABSTRACT

Polianthes, *Prochnyanthes* and *Manfreda* are the only three herbaceous genera from the *Agavoideae* subfamily, the first two are endemic to Mexico, while *Manfreda* has a greater distribution in America. The best-known species from these genera is *P. tuberosa* (tuberose), which is used worldwide as an ornamental plant and in perfumery industry; however, in these genera there are wild species with great potential as sources of genes for breeding, in addition to being rich in compounds useful in the perfumery and / or agro-industrial sector. As part of a breeding program in the *Polianthes* genus, wild species of these three genera were collected to perform intergeneric and interspecific crosses, also, soil samples were taken at the different collection sites to identify variants of this condition. Hybrid confirmations was made using the AFLP technique (amplified fragment length polymorphism), 6 primer combinations (Eco +3/ Mse +3) were tested achieving a total of 290 bands of which 220 (75.65%) were polymorphic. The average number of bands per combination was 48.3. The Mse + CAT/ Eco +ACT and Mse +CAT/ Eco +ACG were those with the highest number of fragments (67 and 61 bands respectively) with 77.6% and 73.7% polymorphism respectively. All the combinations used generated fragments that clearly corresponded to the parents, which were useful to confirm the hybrid status of the individuals, demonstrating the utility of the AFLP markers in the improvement of *Polianthes*. The analysis of soil by locality did not show extreme variations in soil conditions where the collected wild species grown.

Keywords: mexican geophytes, tuberose, plant breeding.

INTRODUCCIÓN

Cada año, los mejoradores obtienen variedades ornamentales novedosas y atractivas. El consumidor, que busca continuamente nuevos productos, tiene una gran demanda de características novedosas como nuevos colores y formas de la flor y mayor vida de florero (Chakrabarty y Datta, 2006).

México tiene una gran diversidad biológica debido a su posición geográfica y a sus diferentes climas, a nivel mundial nuestro país es considerado entre las naciones con mayor riqueza biológica (Villaseñor, 2003), albergando entre el 8 y el 12% de las especies del planeta, su flora fanerogámica se calcula entre 22,000 y 22,351 especies (Rzedowski, 1991). Las especies endémicas comprenden el 56% del total de la flora mexicana (Villaseñor, 2003).

En México, el uso de especies nativas para el desarrollo de plantas ornamentales novedosas con fines comerciales no ha sido muy explotado. Sólo algunas especies nativas de México han sido cultivadas para el mercado local y muy pocas para la exportación; sin embargo, Moran (2004) menciona que una amplia variedad de familias, géneros y especies originadas de la flora mexicana, han aportado valores estéticos al ser humano de todos los continentes, algunos ejemplos de familias son: *Bromeliáceas*, *Cactáceas*, *Asteráceas*, *Crasuláceas* y *Euphorbiáceas*, entre otras.

Dentro de la subfamilia *Agavoidea*, existen tres géneros herbáceos: *Polianthes*, *Prochnyanthes* y *Manfreda* (APGIII, 2009); este último, al igual que muchos agaves se distribuye en todo México, y se extiende hacia el norte hasta Texas y el sureste de los Estados Unidos y hacia el sur hasta Honduras; mientras que, el género *Polianthes* se restringe solo a México y el género *Prochnyanthes* se encuentra únicamente dentro de la porción occidental del País (Verhoek, 1978).

Las plantas de los géneros *Manfreda* y *Prochnyanthes* son más pequeñas que las del género *Agave*, pero más grandes que las del género *Polianthes*. Los tres géneros tienen usos particulares desde tiempos prehispánicos; debido a la alta concentración de sapogeninas que presentan sus cormos y raíces tuberosas, muchas especies han sido utilizadas como sustitutos del jabón (Verhoek, 1978). Por este atributo, a estas especies se les conoce con el nombre náhuatl de amole (jabón), omolixochitl u omilixochitl (flor de jabón); sin embargo, también se las utiliza como ceremoniales y ornamentales, donde destaca *P. tuberosa* (nardo) que ha sido cultivada para estos fines por más de 400 años. Los aztecas también reconocían en estos tres géneros actividades antisépticas, analgésicas, antiinflamatorias y anti espasmódicas; sin embargo, estos usos actualmente han desaparecido (Verhoek, 1978; Solano, 2000).

La mayor riqueza de los genero *Manfreda*, *Polianthes* y *Procnyanthes*, es México; aunque, el primero de estos presenta una distribución más amplia que va desde el sur de los Estados Unidos hasta el Norte de Nicaragua; sin embargo, es en la sierra madre occidental y serranías meridionales de México donde los tres géneros presentan la mayor diversidad y endemismos (García-Mendoza, 1995). Al igual que el resto de las *Agavaceas* son muy tolerantes a climas adversos y sus órganos de reserva, cormos, (Figura 1), les permiten crecer desde la costa hasta los 3000 m s.n.m (De Zayas, 1989); habitando en diferentes ecosistemas como: bosques tropicales caducifolios, matorrales xerófilos, pastizales, y bosques de pino-encino (Garcia-Mendoza, 1995).

Actualmente, el nardo es una de las flores de corte más cultivadas en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Benschop, 1993). Sus flores permanecen frescas por un tiempo prolongado y soportan un transporte a larga distancia sin un gran manejo postcosecha. *Polianthes tuberosa* se cultiva comercialmente por sus flores fragantes en India, Nueva Zelanda, Japón y México y en la industria del perfume en India y Francia (Sheela, 2008). Los principales constituyentes del aceite de *P. tuberosa* son el geraniol, nerol, alcohol bencil- metil benzoato, metal silicato, etanol, bencil benzoato y metil antranilato (Sheela, 2008). Este aceite fragante, es producido principalmente en la India, y es uno de los más usados en perfumería, valorado en más de \$ 2000 dólares por onza (Hodges, 2010). Algunos de estos constituyentes (principalmente el geraniol, el indol y metil antranilato) se han reportado por tener actividad antifúngica (Nidiry y Babu, 2005).

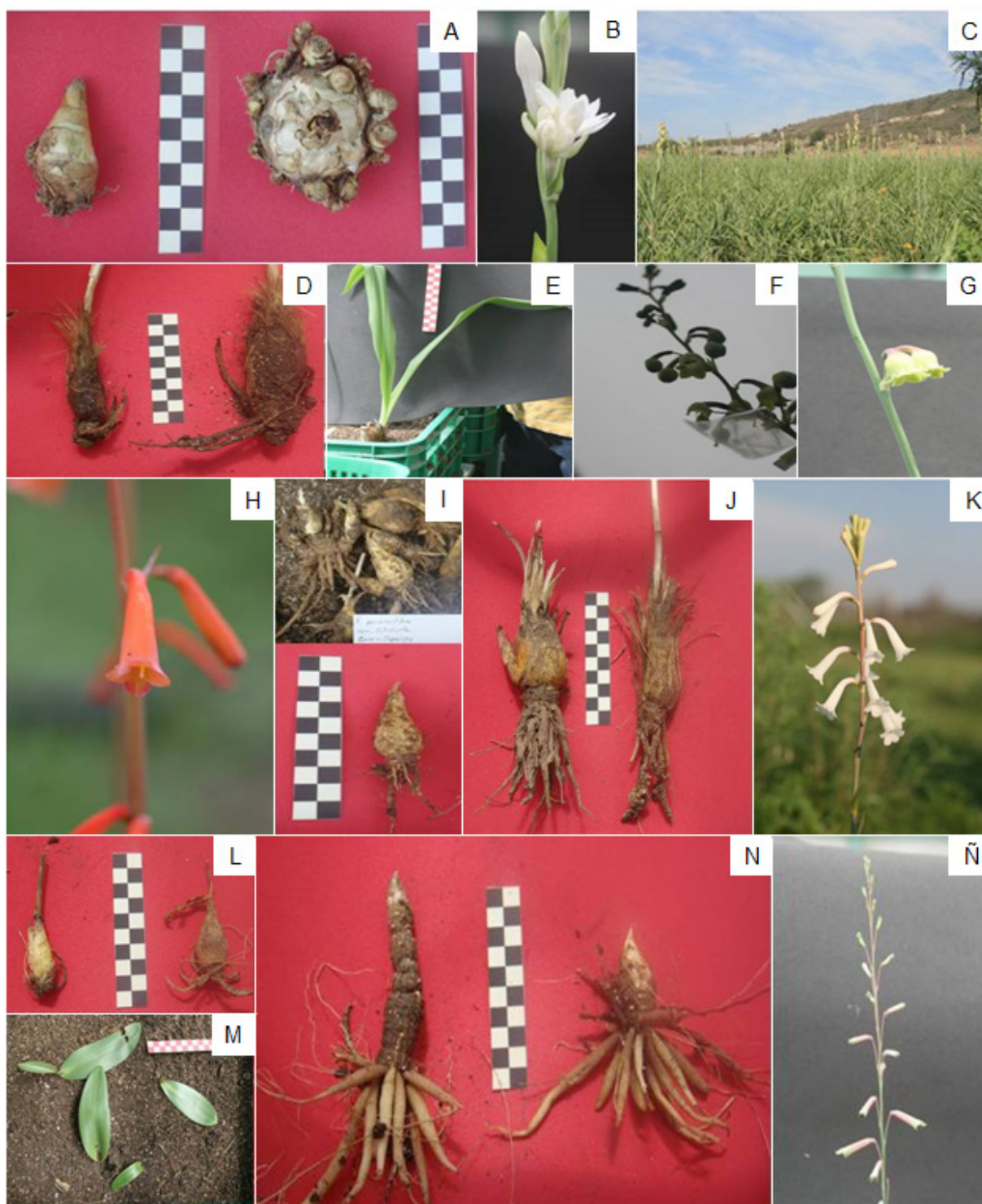


Figura 1. Características de algunos de los ejemplares colectados en este estudio. A, B y C: cormos, flores y sistema de producción a cielo abierto de *Polianthes tuberosa* en Morelos México; D, E, F y G: cormos, hojas y flores de *Procnyanthes mexicana*; H e I: flores y cormos de *P. geminiflora*; J y K: cormos y flores de *P. montana*; L y M: cormos y hojas de *P. platyphilla*; N y Ñ: cormos y flores de *P. howardii*.

A pesar de este potencial, algunas de estas especies se encuentran en riesgo de desaparecer, Feria-Arroyo *et al.* (2010), reevaluaron el riesgo de extinción de cinco especies del género *Polianthes*, concluyen que la modificación del hábitat es uno de los principales factores que afectan la prevalencia de las especies silvestres de este género, sugiriendo que es necesario la implementación de estrategias para su conservación. En la unidad de Biotecnología vegetal del CIATEJ ubicada en Guadalajara, Jalisco, México, desde el año 2010, se colectaron especímenes silvestres del género *Polianthes*, y algunos de sus géneros hermanos *Manfreda* y *Prochnyanthes* con el fin de iniciar un programa de mejoramiento genético (Barba-González *et al.*, 2012) y establecer estrategias de conservación de los genotipos silvestres que se encuentren en riesgo.

Para lograr estos objetivos se han adoptado diferentes estrategias como el cultivo in vitro, para la propagación y conservación de los genotipos colectados (De La Cruz, 2013); el cultivo de anteras y doblamientos cromosómicos (alternas al mejoramiento convencional) (Ferrer *et al.*, 2020) y la caracterización de los compuestos volátiles de sus flores (Fragoso-Jiménez *et al.*, 2019; 2020) y sus cormos (García-Ochoa *et al.*, 2020).

Además de estas herramientas, también se han utilizado marcadores AFLP (polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados) (Vos *et al.*, 1995), para la caracterización de los genotipos colectados en campo; lo que ha mostrado que, a pesar que se trata en su mayoría de poblaciones pequeñas, la variación genética entre los diferentes géneros y especies es amplia (Barba-González *et al.*, 2013). Otra aplicación de los marcadores moleculares es la confirmación temprana de híbridos, lo que es importante en bulbosas como el caso del nardo, ya que el tiempo necesario para que estos híbridos alcancen la madurez puede llevar hasta tres años, lo que implica tiempo y recursos para su manejo (Barba-González *et al.*, 2012). Al no contar con una característica morfológica que nos pueda confirmar el estatus híbrido de estas líneas en etapas tempranas de desarrollo surge la necesidad de probar alternativas confiables para realizar su selección.

De este modo el objetivo del presente trabajo fue caracterizar los tipos de suelo presente en las zonas donde los géneros *Manfreda*, *Polianthes* y *Prochnyanthes* habitan y confirmar el estatus híbrido en líneas F1 interespecíficas (*Polianthes tuberosa* var. Doble x *Polianthes howardii*) e intergenérica (*Polianthes geminioflora* var. clivicola x *Prochnyanthes mexicana*) usando marcadores AFLP (polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados).

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis físico químico de suelo

Se realizaron salidas de campo a diferentes localidades en donde crece de manera natural las especies silvestres *Polianthes*, *Prochnyanthes* y *Manfreda*, estas zonas fueron previamente ubicadas y georreferenciadas a partir de colectas previas que se han realizado en CIATEJ durante el 2010 (Barba-González *et al.*, 2012; Barba-González *et al.*, 2013).

La muestra de suelo fue tomada alrededor del área donde se encuentra la mayor cantidad de raíces de estas especies, a una profundidad de entre 30 a 40 cm y fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad de Guadalajara (UDG) donde se determinó el pH, textura del suelo y el porcentaje de materia orgánica (MO).

Análisis por AFLP

El material vegetal consistió en hojas jóvenes y visiblemente sanas de 10 híbridos interespecíficos (*Polianthes tuberosa* var. Doble x *Polianthes howardii*) (códigos TXH1-TXH10), 10 híbridos intergenéricos (*Polianthes geminiflora* var. *clivicola* x *Prochnyanthes mexicana*) (códigos GXP1-GXP10), que fueron obtenidos en cruzamientos previos en el 2010 (Barba-González *et al.*, 2012; Barba-González *et al.*, 2013), la edad de estos híbridos putativos fue de 2 años; se tomó también, material vegetal de sus respectivos progenitores, así como dos individuos de *Agave tequilana* Weber var. Azul como controles externos (Tabla 1).

Tabla 1. Progenitores e híbridos interespecíficos e intergenéricos evaluados en este estudio

Código	Genealogía
	<i>Polianthes tuberosa</i> var. Doble / Progenitor
	<i>Polianthes howardii</i> / Progenitor
	<i>Polianthes geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> / Progenitor
	<i>Prochnyanthes mexicana</i> / Progenitor
TXH1	<i>Polianthes tuberosa</i> var. Doble x <i>Polianthes howardii</i> /Interespecífico
TXH2	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH3	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH4	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH5	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH6	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH7	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH8	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH9	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico
TXH10	<i>P. tuberosa</i> var. Doble x <i>P. howardii</i> /Interespecífico

Código	Genealogía
GXP1	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>Prochnyanthes mexicana</i> / intergenérico
GXP2	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP3	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP4	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP5	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP6	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP7	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP8	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP9	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
GXP10	<i>P. geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> x <i>P. mexicana</i> / intergenérico
	<i>Agave tequilana</i> Weber var. Azul /control
	<i>Agave tequilana</i> Weber var. Azul /control

Extracción de ADN

La extracción de ADN se realizó siguiendo el método propuesto por Saghai-Marooof *et al.* (1984), con algunas adaptaciones para la subfamilia *Agavoideae*, con una consecuente estimación de la calidad del ADN con un gel de agarosa al 1,0% y tinción con bromuro de etidio (1 µg/mL); confirmando posteriormente esta pureza y la concentración de ADN utilizando las relaciones de absorbancia con un Fluoroespectrómetro Nanodrop Thermo Scientific.

Análisis AFLP

El análisis mediante AFLP se realizó de acuerdo con el protocolo propuesto por Vos *et al.* (1995), con algunas modificaciones. Se cortaron alrededor de 500 ng de ADN genómico con dos enzimas de restricción, *Mse I* (2,5U; Invitrogen), y *Eco RI* (2,5U; Invitrogen), en un volumen final de 50 µL por 4 h a 37 °C. El ADN cortado se ligó por 5 h a temperatura ambiente adicionando 10 µL de la mezcla de ligación que contenía 1 U de T4 DNA ligasa (Invitrogen) y 1 µL de cada adaptador *Eco* (5 µM) y *Mse* (50 µM) (Tabla 2) previamente apareados.

Tabla 2. Secuencia de adaptadores e iniciadores AFLP, probados para la identificación de híbridos intergénicos e interespecíficos de *Polianthes*.

Nombre	Secuencia
<i>Mse</i> I Adaptadores	5'-GACGATGAGTCCTGAG TACTCAGGACTCAT-5'
<i>Eco</i> RI Adaptadores	5'-CTCGTAGACTGCGTACC CTGACGCATGGTTAA-5'
<i>Mse</i> I + C	5'-GATGAGTCCTGAGTAAC-3'
<i>Eco</i> RI + A	5'-GACTGCGTACCAATTCA-3'
<i>Mse</i> I + CAT	5'-GATGAGTCCTGAGTAA/ CAT-3'
<i>Mse</i> I + CAG	5'-GATGAGTCCTGAGTAA/ CAG-3'
<i>Mse</i> I + CTG	5'-GATGAGTCCTGAGTAA/ CTA-3'
<i>Eco</i> RI + ACG	5'-GACTGCGTACCAATTC/ ACG-3'
<i>Eco</i> RI + AGT	5'-GACTGCGTACCAATTC/ AGT-3'

La amplificación selectiva se efectuó usando elADN ligado y usando iniciadores complementarios a los adaptadores, pero con una base selectiva +1 (Tabla 2) (*Mse* + C y *Eco* + A). Las condiciones de amplificación fueron una desnaturalización inicial de 94 °C 1 min, 65 °C 1 min, 72 °C 1 min y una extensión final de 5 min a 72 °C (25 ciclos). El producto de la preamplificación se diluyó 1:5 para usarse en la amplificación selectiva usando iniciadores complementarios a los adaptadores, con 3 bases selectivas (*Mse* +3 y *Eco* +3), probando 6 combinaciones de iniciadores +3 (Tabla 2). El programa de amplificación consistió en una desnaturalización inicial de 94 °C 2 min y 13 ciclos de 94°C por 1 min, 65°C a 56°C por 1 min (disminuyendo 0,7°C cada ciclo) y 72°C por 1 min; finalmente 26 ciclos de 94 °C 30 s, 56 °C 30 s, 72 °C 60 s. Todas las amplificaciones se desarrollaron en un termociclador Techne (modelo TC-412).

Electroforesis y tinción

Los productos de PCR generados a partir de la amplificación selectiva para cada combinación se mezclaron con 8 µL de solución de carga (98% formamida, 10 mM EDTA, 0,05% Xileno cianol, 0,05% azul de bromofenol), desnaturalizados 5 min a 90 °C, y colocados en hielo. Los fragmentos se separaron en geles de acrilamida al 6% en una cámara de secuenciación (Sequi-Gen® GT Nucleic Acid Electrophoresis Cell), cargando 8 µL de la muestra tratada por pozo, usando para la corrida buffer TBE 1X, a 50 W por 2 h. Después de este tiempo los cristales de la cámara se separaron y los fragmentos se visualizaron por tinción con nitrato de plata usando el procedimiento descrito por Bassam y Caetano-Anolles (1993).

Codificación de los fragmentos

Las bandas de AFLP fueron codificadas asignando el valor de 1 a la presencia de una banda dada y 0 a su ausencia; formando así, una matriz de código binario la cual se usó para calcular las similitudes genéticas (usando el coeficiente Jaccard) entre los híbridos y sus respectivos progenitores, mediante el uso del paquete computacional Sistema de Análisis estadístico multivariado (MVSP), versión 3.1. (Kovach, 2007). Para cada combinación de AFLP probada se evaluó la existencia de fragmentos en común de los progenitores con sus respectivos híbridos y se determinó cuál de estas combinaciones fue la de mayor utilidad para la confirmación de hibridación en los diferentes tipos de cruzamientos (interespecíficos y/o intergenéricos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sitios de colecta

Se realizaron en total 14 muestreos de suelo en diferentes estados de la República Mexicana (Colima, Tlaxcala, Morelos y Jalisco) en donde previamente se han colectado ejemplares silvestres de diferentes especies de los genero *Polianthes*, *Prochnyanthes* y *Manfreda*, pero principalmente en el estado de Jalisco (Tabla 3), que como se menciona la literatura, la mayor riqueza es reportada el occidente de México (El estado de Jalisco y Colima se encuentran en esta región) donde los tres géneros presentan la mayor diversidad y endemismos (García-Mendoza, 1995; Solano y Feria, 2006).

Tabla 3. Localidades y especies asociadas donde fueron tomadas muestras de suelo asociadas a diferentes especies silvestres y comerciales de los géneros *Polianthes*, *Prochnyanthes* y *Manfreda* y resultados de análisis fisicoquímico.

Lugar de colecta (estado/ municipio)	Coordenadas geográficas	Especies vegetales asociadas	Análisis Físico- químicos		
			pH	Textura	MO
Lagos de Moreno/ Jalisco	21° 15.59' 0.90" N 101° 48' 40.3" O	<i>Polianthes montana</i>	5,2	Franco arcilloso	2,5
Lagos de Moreno/ Jalisco	21° 16' 2.9" N 101° 48' 46.5" O	<i>Polianthes montana</i>	5,5	Franco arenoso	2,37
Cerro La Cumbre- Colima	19° 10' 43.3" N 103° 41' 42.8" O	<i>Polianthes howardii</i>	6,6	Franco arenoso	7,13
Cerro La Cumbre- Colima	19° 11' 13.3" N 103° 41' 25.5" O	<i>Polianthes howardii</i>	6,6	Franco arenosos	6,6
Cerro La Cumbre- Colima	19° 10' 43.8" N 103° 41' 42.8" O	<i>Polianthes howardii</i>	6,5	Franco arenoso	6,7

Lugar de colecta (estado/ municipio)	Coordenadas geográficas	Especies vegetales asociadas	Análisis Físico- químicos		
			pH	Textura	MO
Ameca/Mascota/ Jalisco	20° 31' 05.2" N 104° 20' 24.9" O	<i>Polianthes platiphylla</i> , <i>Manfreda</i> , <i>Prochnyanthes</i>	5	Franco arenoso	2,81
Autlan /Jalisco	19° 41' 37.5" N 104° 23' 40.6" O	<i>Polianthes geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> , <i>Manfreda</i> , <i>Prochnyanthes</i>	4,8	Franco	3,5
Autlan km /Jalisco	19° 41' 37.5" N 104° 23' 40.6" O	<i>Polianthes geminiflora</i> var. <i>clivicola</i> , <i>Manfreda</i> , <i>Prochnyanthes</i>	4,8	Franco	1,29
Hospital Angel Leaño/Zapopan/ Jalisco	20° 45' 49" N 103° 24' 54.9" O	<i>Polianthes</i> <i>pringleii</i> , <i>Manfreda</i> , <i>Prochnyanthes</i>	4,8	Franco arenoso	2
Hospital Angel Leaño/Zapopan/ Jalisco	20° 45' 49" N 103° 24' 54.9" O	<i>Polianthes</i> <i>pringleii</i> , <i>Manfreda</i> , <i>Prochnyanthes</i>	4,9	Franco arenoso	1,1
Mirador de San Cristobal de la barranca/Jalisco	20° 57' 41.0" N 103° 24' 32.7" O	<i>P. zapopanensis</i> , <i>Manfreda</i>	5	Franco arenoso	2,05
Mesa de San Juan/Jalisco	20° 57' 16.4" N 103° 26' 41.9" O	<i>Polianthes pringleii</i> , <i>Manfreda</i>	5,4	Franco	2,11
Sanctorum/ Tlaxcala	19° 30' 17" N 98° 24' 29" O	<i>Polianthes pueblensis</i>	5	Franco arcilloso	4,4
Cuauchiciniola, Puente de Ixtla/ Morelos	18° 39' 46" N 98° 21' 47" O	<i>P. tuberosa</i> var. Doble	6,9	Franco arcilloso	5

Con base en recorridos de colecta realizados en diferentes años y la colecta de suelo, se observa que las poblaciones de los tres géneros son pequeñas y en continua reducción como lo menciona Solano (2000), principalmente por la pérdida de sus hábitats en respuesta al crecimiento poblacional y el cambio de uso de suelo de condiciones de bosques o pradera a zonas de pastoreo (Solano y Feria, 2006). Algunos de los sitios de colecta y las condiciones en donde se encuentran estos géneros se pueden apreciar en la Figura 2. De igual manera, según la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), *Manfreda brunea*, *M. guerrerensis*, *M. longiflora*, *M. nachititlensis*, *M. planifolia* y *M. potosina* (todas endémicas de México) se encuentran amenazadas; mientras que cinco especies de *Polianthes* (*P. densiflora*, *P. howardii*, *P. longiflora*, *P. palustris* y *P. platyphylla*) se encuentran incluidas en la categoría de protección especial en la misma norma. Feria-Arroyo *et al.* (2010) reevaluaron el riesgo

de extinción de estas cinco especies concluyendo que *P. densiflora* y *P. howardii* están en peligro de extinción, *P. longiflora* y *P. platyphylla* se encuentran amenazadas y *P. palustris* está probablemente extinta, sugiriendo que es necesario la implementación de estrategias de conservación tanto *in situ*, como *ex situ*, sobre todo porque ninguna de estas especies se encuentra reportada dentro de un área natural protegida.

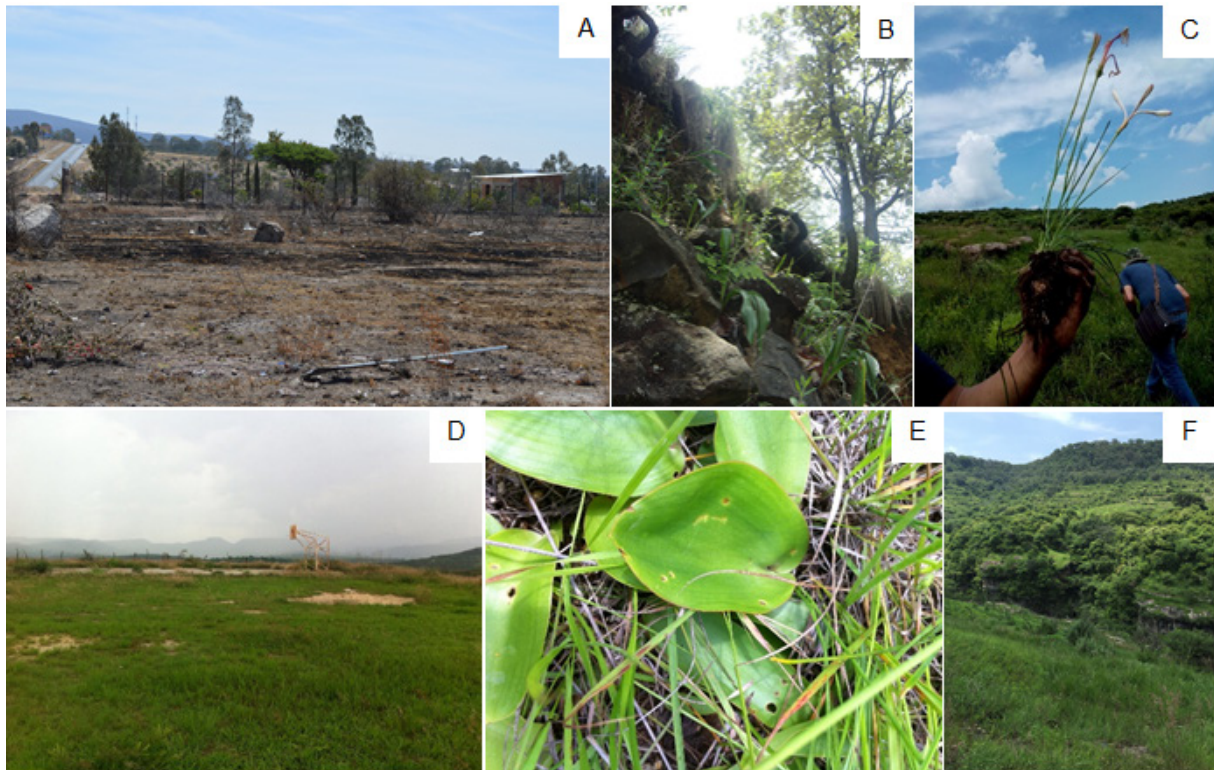


Figura 2. Imágenes de sitio donde fueron colectados algunas de las especies silvestres A: *Polianthes montana*; B: *Prochnyanthes mexicana*; C y F: sitio de colecta de ejemplares de *P. pringleii*; D y E: sitio de colecta entre *P. platyphylla*.

En trabajos previos, se han evaluado diferentes condiciones de sustrato para establecer tanto las variedades comerciales, como las especies silvestres del género *Polianthes* así como de ejemplares de los géneros hermanos *Prochnyanthes* y *Manfreda*, principalmente con intención de ser usados en cruzamientos intergenéricos e interespecíficos (Barba-González *et al.*, 2012; Barba-González *et al.*, 2013), pero también como parte de una estrategia de conservación de estas especies. Sin embargo, algunas de las especies no han prosperado adecuadamente bajo estas condiciones provocando plantas solo en estado vegetativo, floraciones tardías y/o poco homogéneas (no reportado).

Análisis de suelos

Con base en el análisis fisicoquímico realizado en las 14 muestras colectadas (Tabla 2), el tipo de suelo en donde se encuentran las diferentes especies silvestres colectadas, se caracteriza por tener un bajo contenido de materia orgánica y suelos moderadamente ácidos como el caso de las muestras tomadas en Colima, en donde crece *P. howardii* que presentaron un pH de 6,6; a fuertemente ácidos, como el caso de las muestras de Autlán de Navarro, con pH de 4,8 en donde crece *P. geminiflora* var. *clivicola*, así como especies de los géneros *Manfreda* y *Prochnyanthes*.

Respecto a la textura, no se presentaron diferencias considerables en cuanto a esta característica en las muestras analizadas ya que, los tipos de suelo solo variaron de franco a franco arcilloso, de tal suerte que estas especies se ven favorecidas en suelos con un buen drenaje y que les permita una buena aireación de las raíces.

Los resultados obtenidos de los análisis de suelo indican poca variación en sus características generales con lo que el factor suelo no está afectando de manera importante en el establecimiento de las especies silvestres de los tres géneros colectados.

García-Mendoza (1995) menciona que sus órganos de reserva (cormo) le permite a estas geofitas una mayor adaptabilidad al medio, sin embargo, esta estructura también presenta algunas barreras fisiológicas que impiden su completa domesticación. De este modo se podría considerar algunos otros trabajos para buscar una mejor adaptación, como el caso de evaluar temperaturas de almacenamiento para romper la dormancia o el uso de reguladores de crecimiento, como se ha ensayado en *P. tuberosa* (Niebla-Lopez *et al.*, 2020; Fragoso-Jiménez *et al.*, 2021).

Análisis AFLP

Polimorfismo y similitud

No existen muchos reportes en la literatura sobre el uso de marcadores moleculares en los géneros *Manfreda*, *Prochnyanthes* y *Polianthes*, tal vez la especie más estudiada en este sentido sea *P. tuberosa* en donde se ha reportado el uso de marcadores RAPD e ISSR para diferenciar cultivares de *P. tuberosa* (Khandagale *et al.*, 2014; Ujjwal *et al.*, 2017). Los tres géneros han sido estudiados filogenéticamente por Eguiarte *et al.* (1994) y usando marcadores moleculares AFLP por Gil-Vega *et al.* (2007), quienes correlacionaron los estudios moleculares con clasificaciones morfológicas clásicas aceptadas, los resultados que obtuvieron fueron congruentes con los grupos taxonómicos definidos por los caracteres morfológicos.

A partir de las seis combinaciones de iniciadores AFLP evaluadas en este estudio se obtuvieron un total de 290 fragmentos de los cuales 220 (75,65%) fueron polimórficos. (Tabla 3). En el análisis de fragmentos por combinación de iniciadores se encontró que las combinaciones

Mse + CAT/ *Eco* + ACT y *Mse* CAT/ *Eco* CAG, generaron un número mayor de fragmentos respecto a los cuatro restantes (67 y 61 bandas respectivamente) y a su vez mayor porcentaje de bandas polimórficas (77% y 73% respectivamente). El número de bandas fue similar a lo reportado en la literatura ya que Vos *et al.* (1995), quienes mencionan que se pueden obtener de 50-100 bandas con sólo una combinación de amplificación selectiva. Un mayor polimorfismo es reportado por Gil-vega *et al.* (2007), quienes reportaron 355 fragmentos con un 100% de polimorfismos, pero esto es debido a que su estudio incluyó 71 especies del género *Agave* (incluyendo a *Polianthes*, *Manfreda* y *Prochnyanthes*). Similar a nuestros resultados, Barba-González *et al.* (2013), usando un par de combinaciones AFLP reportaron 112 fragmentos, 91 de éstos fueron polimórficos (82%) aunque en este estudio solo se evaluaron especies silvestres del género *Polianthes*.

Tabla 4. Porcentaje de polimorfismos y similitud promedio por combinación de iniciadores AFLP obtenidos en híbridos intergenéricos e interespecíficos, del género *Polianthes* y *Prochnyanthes*.

Iniciadores (<i>Mse</i> +3/ <i>Eco</i> +3)	Número de bandas totales	Bandas polimórficas	Polimorfismo (%)
CAG/ACG	40	31	77,5
CAG/ACT	30	21	70
CAT/ACG	61	45	73,7
CAT/ACT	67	52	77,6
CTG/ACG	48	33	68,75
CTG/ACT	44	38	86,36
Total	290	220	75,65

Respecto al polimorfismo encontrado, éste fue siempre mayor en los híbridos intergenéricos evaluados independiente mente de la combinación de iniciadores empleada en relación con los híbridos interespecíficos. Con base en estos indicadores (número de fragmentos y % de bandas polimórficas), hubo combinaciones de iniciadores más informativas para los híbridos interespecíficos como lo fueron *Mse* +CAG/ *Eco* +ACG y *Mse* +CTG/ *Eco* +ACT; mientras que, para el caso híbridos intergenéricos las combinaciones con mayor porcentaje polimórfico fueron: *Mse* +CAG/ *Eco* +ACT y *Mse* +CAT/ *Eco* +ACT (Tabla 4).

La matriz de similaridad generada (no reportada), al igual que en el caso del polimorfismo, presentó una mayor similitud entre los híbridos interespecíficos y sus progenitores *P. tuberosa* y *P. howardii* (0,65); mientras que, para el caso de los híbridos intergenéricos de *P. geminiflora* var. *clivicola* x *Prochnyanthes mexicana*, los valores promedio de similaridad fueron de 0,46 (Tabla 4). Tanto *Polianthes*, como *Manfreda* y *Prochnyanthes*, son considerados géneros muy relacionados (Eguarte *et al.*, 2000; Gil-Vega *et al.*, 2007), sin embargo, en este estudio se observa que las diferencias entre los géneros fueron mayores al generar un mayor polimorfismo en los cruzamientos intergenéricos.

Tanto cruzamientos intergenéricos como interespecíficos son realizados con el objetivo de generar variabilidad genética y esta es aún mayor si se incluye en los cruzamientos especies silvestres que en general son altamente heterocigóticas. Los niveles de similitud entre los diferentes tipos de híbridos es lógica, debido a que se esperaría una mayor similitud entre los híbridos interespecíficos que entre los intergenéricos ya que los progenitores de estos últimos son más distantes entre sí, propiciando progenies más heterocigóticas, ambos tipos de cruzamientos resultan de gran utilidad desde el punto de vista de la variabilidad que se pueda generar ya que es uno de los propósitos de este tipo de cruzamientos (Van Tuyl y De Jeu, 1997).

Análisis de agrupamiento

A partir de la matriz de similitud se generó un dendrograma (Figura 3) y el plano de coordenadas principales (Figura 4). En el dendrograma (Figura 3), se observan relaciones concordantes en la mayoría de los híbridos y sus progenitores, principalmente en el caso de los híbridos interespecíficos que formaron un grupo más compacto y asociados a sus dos progenitores *P. tuberosa* x *P. howardii* con alrededor de un 0,6 de similitud. En el caso de los híbridos intergenéricos la mayoría de los híbridos tendieron a agruparse a una similitud del 0,5 pero se observaron más distantes con respecto a sus progenitores. dos híbridos putativos GXP9 y GXP7 se ubicaron fuera de este agrupamiento, con similitudes de 0,4; de igual modo el híbrido putativo GXP2, se encuentra poco relacionado con los otros híbridos y más relacionado con *P. mexicana*. En el caso de estos tres individuos pudiera tratarse de falsos híbrido producto de contaminación de otro polen en los cruzamientos controlados.

En el caso del plano de coordenadas principales (Figura 4), se observa una distribución similar que en dendrograma en donde se encuentran más relacionados los híbridos interespecíficos de *P. tuberosa* x *P. howardii* entre ellos incluso respecto a sus progenitores, debido a sus altos niveles de similitud y el mayor número de fragmentos en común (como ya se discutió en el apartado de polimorfismo y similitud). Por su parte, los híbridos intergenéricos de *P. geminiflora* var. *clivicola* x *Prochnyanthes mexicana* presentaron una distribución más heterogénea dentro del plano de coordenadas principales; sin embargo, en este plano los híbridos intergenéricos GXP9, GxP7 y GXP2 que en el dendrograma se ubican fuera de los grupos, en el plano de la Figura 4 se observan dentro del grupo y muy asociados al progenitor *P. mexicana*. Con base en estos resultados podríamos seleccionar aquellos individuos donde se pudo confirmar la hibridación y tomar con reserva a aquellos dudosos (GXP9, GxP7 y GXP2) hasta poder confirmar morfológicamente su origen, tomando características cuantitativas y cualitativas de los híbridos y sus respectivos progenitores como lo reportado por Kuligowska *et al.* (2015) en híbridos de *Kalanchoe*.

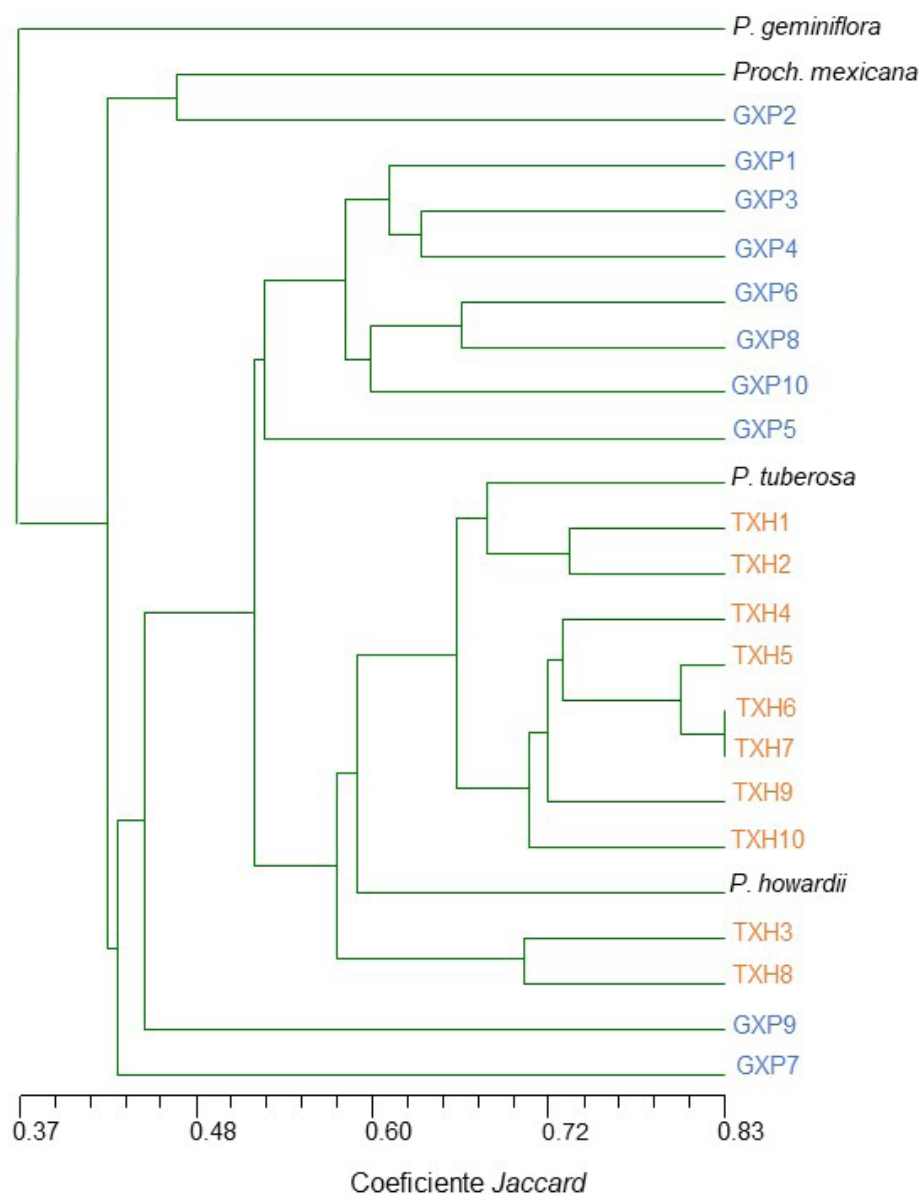


Figura 3. Dendrograma de agrupamiento de híbridos interespecíficos (*P. tuberosa* var. doble x *P. howardii*) e intergenéricos híbridos de (*P. geminiflora* var. clivicola x *Prochnyanthes mexicana*), con sus respectivos progenitores usando 6 combinaciones de iniciadores AFLP.

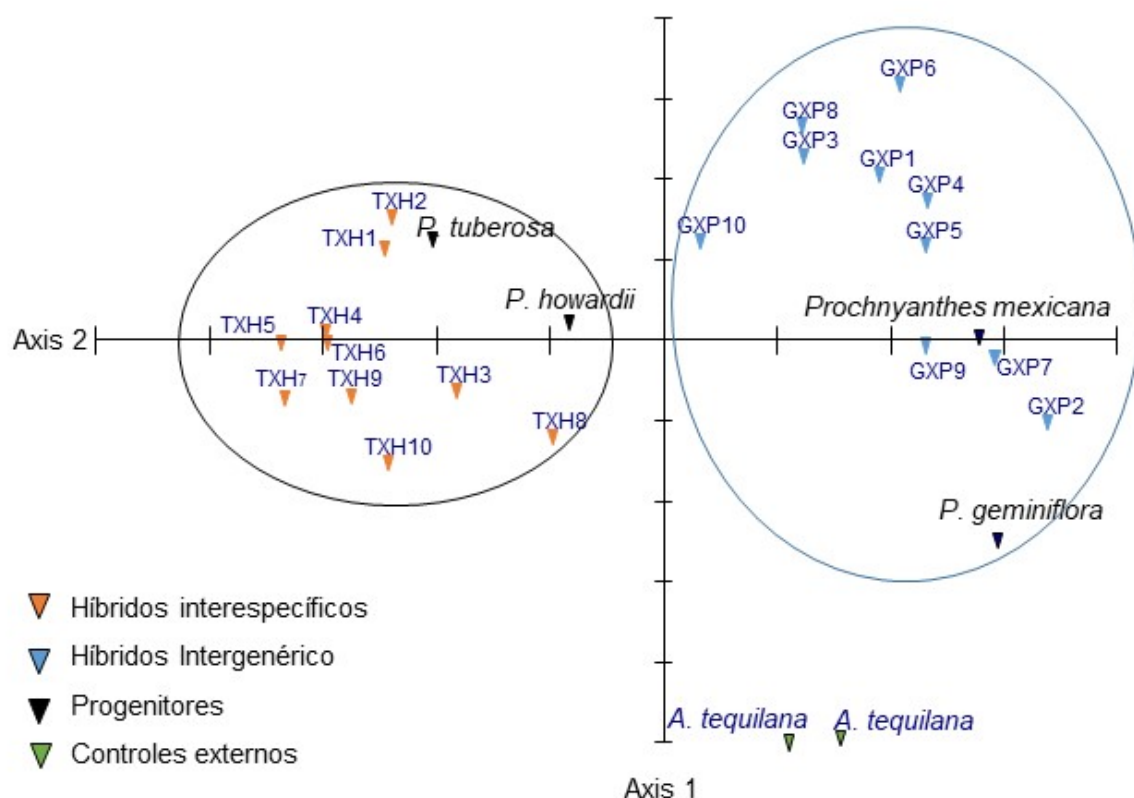


Figura 4. Análisis de Coordenadas Principales de híbridos interespecíficos (*Polianthes tuberosa* var. doble x *Polianthes howardii*) e intergenéricos (*Polianthes geminiflora* var. *clivicola* x *Prochnyanthes mexicana*), con sus respectivos progenitores usando 6 combinaciones de iniciadores AFLP.

Después de realizar cruzamientos intergenéricos y/o interespecíficos el siguiente paso es seleccionar dentro de la progenie a aquellos individuos con las características que deseamos insertar en nuestras variedades, esta labor puede tardar algún tiempo, dependiendo del ciclo de la planta que estamos mejorando o si tenemos algún marcador morfológico que en etapas tempranas funcione para seleccionar individuos. En el caso de *P. tuberosa*, no se cuenta con algún carácter morfológico que en etapas tempranas de desarrollo nos permita confirmar el estatus híbrido de nuestras cruces. Actualmente, para optimizar los procesos de hibridación se han utilizado diferentes técnicas como marcadores moleculares y citogenética, facilitando la caracterización de parentales y plantas híbridas (Kuligowska *et al.*, 2016). La eficacia de estos métodos radica en su reproducibilidad y la anticipación con las que pueden ser usados en estados del desarrollo de la planta.

De este modo, los marcadores AFLP han demostrado ser una herramienta útil para estos propósitos, debido entre otras cosas a que no se necesita conocimiento previo del genoma bajo estudio, generan una gran cantidad de polimorfismos con una sola combinación de iniciadores, bajo requerimiento de ADN lo que permite tomar pequeñas cantidades de tejido en etapas tempranas de desarrollo, entre otras (Tapia-Campos *et al.*, 2005). Estos marcadores

los habíamos empleado previamente en la evaluación de la diversidad genética en el género *Polianthes* (Barba-Gonzalez *et al.*, 2013; Fragoso-Jiménez *et al.*, 2015), donde se reporta que, a pesar de tratarse de poblaciones pequeñas, son muy diversas debido a su sistema de reproducción alógamo.

La efectividad de los marcadores AFLP en la confirmación de híbridos se ha reportado en estudios previos como el de Bastianel *et al.* (2006) quienes evaluaron la diversidad genética de 148 híbridos de *C. sinensis* x *L. Osbeck* y Tangor “Murcott” (*Citrus reticulata* Blanco x *C. sinensis* *L. Osbeck*) y en el caso de plantas ornamentales como *Clematis* (Yuan *et al.*, 2010) y *Helleborus* (Meiners *et al.*, 2012). En nuestro caso, la clara separación de híbridos intergenéricos e interespecíficos confirman también la utilidad de los marcadores AFLP como herramienta de apoyo en el mejoramiento genético de estas bulbosas mexicanas.

CONCLUSIONES

La técnica de AFLP fue útil para determinar la hibridación interespecífica e intergenérica en *Polianthes* aunque se necesita confirmar también por caracteres morfológicos. Las combinaciones más informativas fueron *Mse* +CAG/ *Eco* +ACG y *Mse* +CTG/ *Eco* +ACT; para los híbridos interespecíficos; y las combinaciones *Mse* +CAG/ *Eco* +ACT y *Mse* +CAT/ *Eco* +ACT en el caso de los híbridos intergenéricos. El análisis de suelo de las diferentes localidades donde crecen de manera silvestre las especies de los géneros *Polianthes*, *Manfreda* y *Prochnyanthes* no presentó diferencias substanciales en las variables pH, textura y contenido de materia orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Al fondo SEP-CONACYT CB-2015-01 proyecto No. 258866 por los recursos otorgados para la presente investigación.

REFERENCIAS

Angiosperm Phylogeny Group (APG III). 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 105-121.

BARBA-GONZALEZ, R.; RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ, J.M.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; RODRÍGUEZ, A.; VAN TUYL, J.M.; TAPIA-CAMPOS, E. 2012. “Mexican geophytes I. The genus *Polianthes*”. *Floriculture and Ornamental Biotechnology* 6(1), 122-128.

- BARBA-GONZÁLEZ, R.; RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ, J.M.; DE LA CRUZ-CRUZ, A.; LARA-BAÑUELOS, T.Y.; TAPIA-CAMPOS, E.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M. C. 2013. *Polianthes* Breeding. Acta Hort. 999, 505-510.
- BASSAM, B.J.; CAETANO-ANOLLES, G. 1993. Silver Staining of DNA in polyacrylamide gels. Appl. Biochem Biotech 42, 181-188.
- BASTIANEL, M.; OLIVEIRA, A.C.; CRISTOFANI, M.; MACHADO, M.A. 2006. Genetic diversity among hybrids of sweet orange and 'Murcott' tangor evaluated by fAFLP and RAPD markers. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41 (5), 779-784.
- BENSCHOP, M. 1993. *Polianthes*. En: DE HERTOOG, A; LE NARD, M (Eds.) The Physiology of flower bulbs, Elsevier, Amsterdam, pp. 589-602.
- CHAKRABARTY, D.; DATTA, S.K. 2006. Bulbous ornamentals: Improvement through Biotechnology. En: Souvenir of National Symposium on ornamental bulbous crops at SVBP University of Agriculture & Technology, Meerut on 5-6th Dec. 2006. pp 7-13.
- DE LA CRUZ, C.A. 2013. Eficiencia en la propagación de *Polianthes howardii* y *Polianthes plathyphilla*, en relación a *P. tuberosa*. Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara. 60 pp.
- DE ZAYAS, A. 1989. Distribución geográfica y posible origen de las agavaceae. Revista Del Jardín Botánico Nacional, 10(1), 25-36. <http://www.jstor.org/stable/42597464>, verificado 25/01/2021.
- EGUIARTE, L.E.; DUVALL, M.R.; LEARN JR, G.H.; CLEGG, M.T. 1994. The systematic status of the *Agavaceae* and *Nolinaceae* and related Asparagales in the Monocotyledons: An analysis based on the rbcL gene sequence. Boletín de la Sociedad Botánica de México 54, 35-56.
- EGUIARTE, L.; SOUZA, V.; SILVA-MONTELLANO, A. 2000. Evolución de la familia *Agavaceae*: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. Boletín de la Sociedad Botánica de México 66, 131-150.
- FERIA-ARROLLO, T.P.; SOLANO, E.; GARCÍA-MENDOZA, A. 2010. Reevaluación del riesgo de extinción de cinco especies del genero *Polianthes* L. (*Agaveceae*). Acta Botánica Mexicana 92, 11-28.
- FERRER-CERVANTES, M.J.; RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ, J.M.; BARBA-GONZALEZ, R.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; TAPIA-CAMPOS, E. 2020. Obtaining polyploids in wild species of the genus *Polianthes*. Acta Hort. 1288, 65-70.
- FRAGOSO-JIMÉNEZ, J.C.; BARBA-GONZÁLEZ, R.; DUPRE, P.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; TAPIA-CAMPOS, E. 2015. Diversidad genética en especies del género *Polianthes*. Congreso Internacional, Biología, Química y Agronomía UAG. Guadalajara, Jalisco. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/281/1/4%20Fragoso%202015%20Diversidad%20Genetica.pdf>, verificado 25/01/2021.

FRAGOSO-JIMÉNEZ J.C.; TAPIA-CAMPOS, E.; ESTARRON-ESPINOSA, M.; BARBA-GONZALEZ, R.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; CASTILLO-HERRERA, G.A. 2019. Effect of Supercritical Fluid Extraction Process on Chemical Composition of *Polianthes tuberosa* Flower Extracts. *Processes*. 7 (2), 60.

FRAGOSO-JIMENEZ, J.C.; LUGO-CERVANTES, E.C.; ESTARRÓN-ESPINOZA, M.; CASTILLO-HERRERA, G.A.; BARBA-GONZALEZ, R.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; TAPIA-CAMPOS, E. 2020. Volatile compounds in flowers of *Polianthes* genus. *Acta Hortic.* 1288, 219-224.

FRAGOSO-JIMENEZ, J.C.; SILVA-MORALES, J.; BARBA-GONZALEZ, R.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; TAPIA-CAMPOS, E. 2021. Temperature effects on meristem differentiation and flowering date in tuberose (*Agave amica* L.), *Scientia Horticulturae*, 275 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109663>, verificado 25/01/2021.

GARCÍA-MENDOZA, A.; GALVÁN, R. 1995. Riqueza de las familias *Agavaceae* y *Nolinaceae* en México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 56, 7-24.

GARCIA-OCHOA, E.Y.; LEÓN-MORALES, J.; LUGO-CERVANTES, E.C.; TAPIA-CAMPOS, E. 2020. In vitro biological activity of metabolic extracts of wild and cultivated species of the genus *Polianthes*. *Acta Hortic.* 1288, 149-152.

GIL-VEGA, K.C.; DÍAZ-QUEZADA, C.E.; NAVA-CEDILLO, A.; GARCÍA-MENDOZA, A.; SIMPSON, J. 2007. Análisis AFLP del género *Agave* refleja la clasificación taxonómica basada en caracteres morfológicos y otros métodos moleculares. En: COLUNGA-GARCÍA, M.P.; LARQUÉ SAAVEDRA, A.; EGUIARTE, L.E.; ZIZUMBO-VILLARREAL, D. (Eds.) *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, Mérida, México, pp 23-39. <http://www.ira.cinvestav.mx/portals/0/Labs/JSW/2007%20CapituloCICY%202007.pdf>, verificado 25/01/2021.

HODGES, L. 2010. Tuberose as a Cut Flower. *The cut Flower* 22, 55-59.

KHANDAGALE, K.; PADMAKAR, B.; REDDY, D.C.L.; SANE, A.; ASWATH, C. 2014. Genetic Diversity Analysis and Barcoding in Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) Cultivars Using RAPD and ISSR Markers. *Journal of Horticultural Sciences* 9 (1), 5-11.

KOVACH, W.L. 2007. MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.

KULIGOWSKA, K.; LÜTKEN, H.; CHRISTENSEN, B.; MÜLLER, R. 2015. Quantitative and qualitative characterization of novel features of *Kalanchoë* interespecific hybrids. *Euphytica* 205 (3), 927-940.

KULIGOWSKA, K.; LÜTKEN, H.; MÜLLER, R. 2016. Towards development of ornamental plants: status and progress in wide hybridization. *Planta* 244 (1), 1-17.

MEINERS, J.; WINKELMANN, T. 2012. Evaluation of reproductive barriers and realization of interspecific hybridizations depending on genetic distances between species in the genus *Helleborus*. *Plant Biology* 14 (4), 576–585.

MORAN, F. 2004. Producción de plantas ornamentales en maceta en invernadero. En: SÁNCHEZ, R.F.J.; MORENO R.A., PUENTE M.J.L.; ARAIZA, CH. J. (Eds.) *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción* Torreón, Coahuila, México, Octubre 13, 14 y 15. pp 10-18. http://www.uaaan.mx/postgrado2/images/files/hort/simposio4/02-Prod_plantas_ornam_macetaeninvernadero.pdf, verificado 25/01/2021.

NIDIRY, E.S.J.; BABU, C.S.B. 2005. Antifungal Activity of Tuberose Absolute and Some of its Constituents. *Phytotherapy Research* 19, 447-449.

NIEBLA-LÓPEZ, I.; RODRÍGUEZ-CAMPOS, J.; CERVANTES-MARTÍNEZ, J.; BARBA-GONZALEZ, R.; CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; TAPIA-CAMPOS, E. 2020. Effect of different storage temperatures in flowering of *Polianthes tuberosa* L. *Acta Hort.* 1288, 189-192.

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. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2454.pdf>, verificado 25/01/2021.

RZEDOWSKI, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora Fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14, 3-12.

SAGHAI-MAROOF, M.A.; SOLIMAN, K. M.; JORGENSEN, R.A.; ALLARD, R.W. 1984. Ribosomal spacer length polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 81 (24), 8014-8019.

SHEELA, V.L. 2008. *Flowers for Trade*. Horticultural Science Series-10. K.V. Peter ed. New India Publishing Agency. New Delhi, India. 369 p.

SOLANO, C.E. 2000. Sistemática del género *Polianthes* L. (*Agavaceae*). Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, División de Estudios de Posgrado, UNAM, México, D.F.

SOLANO, E.; FERIA, T.P. 2006. Ecological niche modeling and geographic distribution of the genus *Polianthes* L. (*Agavaceae*) in Mexico: using niche modeling to improve assessments of risk status. En: HAWKSWORTH, D.L.; BULL, A.T. (Eds.) *Plant Conservation and Biodiversity*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6444-9_20, verificado 26/01/2021.

TAPIA, C.E.; ESPINOSA, M.A.G.; WARBURTON, M.L.; VARELA, A.S.; MONTER, Á.V. 2005. Characterization of mandarin (*Citrus* spp) using morphological and AFLP markers. *Interciencia* 30 (11), 687-693.

- UJJWAL, I.; KUMAR, M.; CHAUHAN, P.; KUMAR, N.; PRAKASH, S.; CHAND, P.; NARESH, R.K.; SHARMA, V.; CHAUDHARY, V. 2017. Genetic Diversity in Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) Germplasm using Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) Markers. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6 (5), 1313-1321.
- VAN TUYL, J.M.; DE JEU, M.J. 1997. Methods for overcoming interspecific crossing barriers. En: SHIVANNA, K.R.; SAWHNEY, V.K. (Eds.) *Pollen biotechnology for crop production and improvement*. Cambridge Univ. Press, London, pp 273-292.
- VILLASEÑOR, J.L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28, 160-167.
- VERHOEK, S. 1978. Huaco and Amole: A Survey of the Uses of *Manfreda* and *Prochnyanthes*. *Economic Botany* 32 (2), 124-130. www.jstor.org/stable/4253919, verificado 25/01/2021.
- VOS, P.; HOGERS, R.; BLEEKER, M.; REIJANS, M.; VAN DE LEE, T.; HORNES, M.; FRIJTERS, A.; POT, J.; PELEMAN, J.; KUIPER, M.; ZABEAU, M. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23, 4407-4414.
- YUAN, T.; WANG, L.Y.; ROH, M.S. 2010. Confirmation of *Clematis* hybrids using molecular markers. *Scientia Horticultureae* 125, 136-145.

BARRERAS DE AISLAMIENTO REPRODUCTIVO E HIBRIDACIÓN INTERESPECÍFICA EN EL MEJORAMIENTO DE *PASSIFLORA* EN LA ARGENTINA

Verónica Bugallo^{1,2}, Gabriela Facciuto²

¹Universidad de Buenos Aires, Argentina (UBA), Facultad de Agronomía, Cátedra de Genética. Argentina

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Floricultura. Argentina

¹Autor para correspondencia: bugallo.veronica@inta.gob.ar

RESUMEN

Por más de 10 años, el Instituto de Floricultura del INTA (IF) ha trabajado en el mejoramiento genético del género *Passiflora* para la obtención de variedades ornamentales. En el proceso, diversos estudios fueron enriqueciendo el conocimiento sobre las especies nativas de Argentina involucradas y diversos aspectos relacionados con su genética, biología reproductiva y características fenotípicas particulares. En este capítulo se abordan los estudios que exponen barreras de aislamiento reproductivo pre-polinización entre especies que ocurren en la naturaleza, como diferencias en las características florales que determinan la polinización por diferentes agentes, el aislamiento fenológico y eco-geográfico. También se profundiza en los mecanismos que ocurren con posterioridad a la polinización, ya sean pre-cigóticos, que interrumpen el crecimiento del tubo polínico; como post-cigóticos, que involucran diferencias citogenéticas en los parentales que provocan esterilidad en los híbridos, así como la incompatibilidad embrión-endosperma que impide la nutrición del embrión en las semillas. Cada una de estas barreras fue abordada por el mejoramiento genético en el camino a la obtención de variedades ornamentales.

Palabras clave: *Passiflora*, biología reproductiva, hibridación interespecífica, mejoramiento genético.

ABSTRACT

For more than 10 years, the Institute of Floriculture (IF) has worked on breeding in the *Passiflora* genus to obtain ornamental varieties. In the process, various studies were enriching the knowledge about the native Argentinean species and various aspects related to their genetics, reproductive biology, and particular phenotypic characteristics. In this chapter, studies that expose pre-pollination reproductive isolation barriers between species that occur in nature, such as differences in floral characteristics that determine pollination by different agents, phenological and eco-geographic isolation, are addressed. It also delves into the mechanisms that occur after pollination, whether they are pre-zygotic, which interrupt the growth of the

pollen tube; as post-zygotic, involving cytogenetic differences in the parents that cause sterility in the hybrids, as well as the embryo-endosperm incompatibility that prevents the nutrition of the embryo in the seeds. Each of these barriers was addressed by genetic improvement on the way to obtaining ornamental varieties.

Keywords: *Passiflora*, reproductive biology, interspecific hybridization, breeding.

Mejoramiento genético de especies nativas de *Passiflora* en el Instituto de Floricultura (IF) en Argentina

Por muchos años, los recursos genéticos sudamericanos han sido explotados por empresas extranjeras para la obtención de variedades ornamentales sin ninguna retribución a los países de origen (Facciuto *et al.*, 2019). A partir del Convenio de Diversidad Biológica y el Protocolo de Nagoya, cada país tiene soberanía sobre sus recursos genéticos, por lo cual puede crear sus propias variedades a partir de germoplasma nativo y recibir los beneficios que se generen (Naciones Unidas, 2011).

El género *Passiflora* posee más de 500 especies (MacDougal y Feuillet, 2004) distribuidas en zonas tropicales y subtropicales; en su mayoría se distribuyen en centro y, sobre todo, en Sudamérica (Killip, 1938). Sus flores poseen un aspecto exótico que ha despertado el interés de los coleccionistas europeos durante siglos (Ulmer y MacDougal, 2004). Argentina cuenta con 19 especies nativas de *Passiflora*, distribuidas en 4 subgéneros botánicos (Deginani, 2001).

El mejoramiento en el género *Passiflora* se enmarca en un proyecto que tiene como objetivo la obtención de variedades argentinas a partir de las plantas nativas. La hibridación interespecífica es uno de los métodos más utilizados en la obtención de variabilidad genética para el mejoramiento de plantas ornamentales (van Tuyl y de Jeu, 1997). En este género, la intención del plan de mejoramiento fue obtener variedades con colores de flor llamativos, tolerancia a las temperaturas invernales de Buenos Aires y que proporcionen una alta cobertura en estructuras como alambrados y pérgolas, tanto por su valor ornamental, así como también para potenciales aplicaciones funcionales en paredes verdes.

Durante los 12 años de actividad en el mejoramiento se ha profundizado en distintos aspectos que influyen en el éxito de un programa de hibridación interespecífica. Todos ellos están relacionados con las similitudes y diferencias entre especies y con las barreras reproductivas que influyeron en la historia de especiación en el género. Este capítulo compendia el conocimiento adquirido sobre las características reproductivas de las especies argentinas de *Passiflora* y el abordaje de la hibridación por parte del mejoramiento para la obtención de plantas ornamentales.

Barreras de aislamiento reproductivo pre-polinización

Los fenómenos que ocurren en la naturaleza y que aíslan reproductivamente a dos especies, favoreciendo la especiación puede ocurrir antes o después de la llegada del polen al estigma. Los mecanismos que evitan la polinización tienen que ver con una o varias de tres situaciones: las plantas poseen diferentes polinizadores, por lo cual el polen no es transportado de una hacia la otra; presentan diferencias fenológicas que hacen que la etapa reproductiva ocurra a destiempo; o existe un aislamiento eco-geográfico que previene su convivencia (Baak *et al.*, 2015).

Características florales y especialización de los polinizadores

Las 19 especies argentinas de *Passiflora* están distribuidas en 4 subgéneros (Deginani, 2001). El subgénero *Passiflora* posee 11 especies: *P. alata*, *P. amethystina*, *P. caerulea*, *P. cincinnata*, *P. edulis*, *P. elegans*, *P. giberti*, *P. mooreana*, *P. tenuifolia*, *P. palmatisecta* y *P. tucumanensis*. Entre las especies de este subgénero se encuentran los fenotipos de flores más grandes y con colores vivos, como *P. alata*, que posee flores rojas; *P. amethystina*, azules y *P. cincinnata*, púrpura. El subgénero *Decaloba* cuenta con 5 especies: *P. capsularis*, *P. misera*, *P. morifolia*, *P. suberosa* y *P. urnaeifolia*. Las especies del subgénero *Decaloba* poseen flores pequeñas de 1 a 3,5 cm de diámetro, *P. suberosa* es apétala mientras que las otras 4 especies poseen pétalos blancos a verdosos. El subgénero *Dysosmia* cuenta con dos especies: *P. foetida* y *P. chrysophylla*, ambas con flores blancas de entre 3 y 5,5 cm de diámetro. Finalmente, el subgénero *Tacsonioides* posee una sola especie, *P. umbilicata*, que presenta flores de hasta 7 cm con pétalos de color violáceo.

El color de las flores es el resultado de complejas rutas metabólicas y las diferencias entre especies reflejan la historia evolutiva del género (Clegg y Durbin, 2000). Entre los pigmentos que determinan los colores de las flores, las antocianinas y sus derivados, son sintetizadas en el citoplasma de las células, transportadas y acumuladas en las vacuolas donde expresan su color (van der Kooi *et al.*, 2016; Zhao y Tao, 2015).

Con el objetivo de estudiar el color de las flores en el género, se analizaron las características colorimétricas en varias especies argentinas y en los híbridos interespecíficos obtenidos entre ellas (Bugallo *et al.*, 2017).

Se encontró una amplia variabilidad en el color de las flores en las especies *P. amethystina*, *P. caerulea*, *P. elegans*, *P. edulis f. edulis*, *P. edulis f. flavicarpa* y *P. mooreana*, así como también en los híbridos interespecíficos obtenidos entre ellas, en los tres componentes colorimétricos que componen la escala CIELAB.

Los híbridos *P. amethystina* x *P. caerulea*, *P. amethystina* x *P. edulis* f. *flavicarpa*, *P. amethystina* x *P. mooreana* y *P. amethystina* x *P. edulis* f. *edulis* mostraron valores colorimétricos intermedios respecto de los de sus parentales, excepto en los híbridos de *P. amethystina* x *P. elegans* donde los valores fueron similares a los de *P. amethystina* (Bugallo *et al.*, 2017). Según estos resultados, el color de flor en *Passiflora* respondería a herencia cuantitativa, con la posible interacción entre alelos y/o genes de las especies *P. amethystina* y *P. elegans* que afectaría el color de flor en sus híbridos. Las interacciones genéticas pueden ocurrir entre diferentes alelos del mismo gen (dominancia) o entre distintos genes (epistasia) y pueden ser detectadas como una desviación del valor fenotípico en el híbrido respecto de los expresados por los parentales (Mackay, 2014; Torielli *et al.*, 2009; Phillips, 2008). Además, en estudios de microscopía de los pétalos, se encontró que el color de las flores de *P. amethystina* se determinaba por la presencia de inclusiones vacuolares antocianicas irregulares, físicamente ubicadas en las vacuolas de las células epidérmicas.

En relación con las características florales, la especialización de los polinizadores puede representar una de las fuerzas actuantes en el aislamiento reproductivo. La diversidad en especies que presenta el género habría sido favorecida por una amplia variedad de polinizadores: aves, murciélagos e insectos. En todas las especies estudiadas de *Passiflora*, la relación con polinizadores estuvo fuertemente asociada a la calidad de la recompensa ofrecida y a los atractivos florales abordados en el mejoramiento de ornamentales (Varassin *et al.*, 2001), así como también al tamaño relativo de las piezas florales y la antesis (Amela García y Hoc, 2012). Inclusive, un mismo taxón puede poseer varias especies de polinizadores, tanto efectivos como ocasionales, como se comprobó para *P. edulis* f. *flavicarpa* (Yamamoto *et al.*, 2012).

Ulmer y MacDougal (2004) afirman que las especies de *Passiflora* con flores rojas y rosadas sin aroma, son polinizadas por colibríes, pero no atraen abejas. Algunas especies con flores perfumadas de colores pálidos y antesis nocturna son polinizadas por murciélagos, como *P. mucronata*, *P. trisecta*, *P. ovalis* y *P. penduliflora*.

Dentro del subgénero *Passiflora*, los polinizadores de *P. caerulea* serían varias especies de *Xylocopa*: *X. augusti*, *X. frontalis*, *X. nigrocincta* y *X. artifex* (Amela García y Hoc, 2007; Aquino y Amela García, 2019), *Bombus opifex*, *B. morio* y *Xylocopa splendidula* (Torres *et al.*, 2012) y una especie de *Centris* (Aquino y Amela García, 2019), mientras que los registrados para *P. alata* por Varassin *et al.* (2001) fueron *Centris flavifrons*, *C. longimana*, *C. lutea*, *Xylocopa brasilianorum*, *X. frontalis*, *X. ordinaria*, *Eulaema cingulata* y *E. nigrata*. Si bien estas diferencias en las especies polinizadoras estarían relacionadas con el hecho de que los estudios fueron realizados en distintas localidades (Torres *et al.*, 2012 en la provincia de Córdoba, Argentina y Varassin *et al.*, 2001 en la costa Atlántica del Estado de Espírito Santo, Brasil), también podrían plantear especificidades por polinizadores diferentes que las mantendrían aisladas, al menos parcialmente, dada la diferencia en algunos caracteres florales de estas dos especies.

Aislamiento fenológico, el desencuentro en el tiempo

Entre los factores de aislamiento reproductivo externos que se dan en la naturaleza, el aislamiento temporal se produce entre individuos con diferente período de floración ya que el desencuentro entre sus gametas en el tiempo impide el cruzamiento (Grant, 1989).

Las especies de *Passiflora* de la colección del IF mostraron variación en sus períodos de floración bajo invernáculo. Entre las que presentaron floración primavera-estivo-otoñales (PEO) se destacan, dentro del subgénero *Passiflora*, *P. alata*, *P. caerulea*, *P. cincinnata* y *P. mooreana* y, en el subgénero *Decaloba*, *P. misera*.

Otras florecieron en período estivo-otoñales (EO), en el subgénero *Passiflora*, fueron *P. edulis* f. *flavicarpa* y *P. tucumanensis*; *P. foetida*, perteneciente al subgénero *Dysosmia* y *P. capsularis* y *P. morifolia* del subgénero *Decaloba*.

También se encontraron especies con floraciones otoño-invernales (OI) como *P. amethystina* y otras que se extendieron hasta la primavera, como *P. edulis* f. *edulis*, *P. elegans* y *P. tenuifolia* en el subgénero *Passiflora*. *Passiflora suberosa* floreció desde enero hasta agosto (EOI).

A pesar de este tipo de aislamiento, esta barrera fue fácilmente sorteada por la recolección de polen y su conservación para su uso en la polinización diferida de las distintas especies. El ambiente más apropiado para el mantenimiento de la viabilidad del polen es aquel en el que se reducen la humedad y la temperatura. En el caso del polen de especies de *Passiflora*, se colocaron las anteras dentro de grajeas y éstas sobre sílica-gel en cajas plásticas herméticas. Se lograron cruzamientos exitosos con polen conservado, inclusive después de los dos años.

Aislamiento ecogeográfico: distribución de nativas y tolerancia a las bajas temperaturas en especies e híbridos

En la naturaleza, las barreras que separan a las especies haciéndolas diferentes operan en distintos niveles. Existen factores de aislamiento ambientales, que se manifiestan en diferencias ecológicas entre taxones. Estas suelen evolucionar tempranamente en la especiación ya que la selección natural favorece la adaptación a diferentes nichos ecológicos, derivando en aislamiento reproductivo (Arnégard *et al.*, 2014).

Las especies argentinas de *Passiflora* se distribuyen, en su mayoría, en el norte del país, sin embargo, algunas pocas superan los 34° de latitud sur, donde se encuentra Buenos Aires, el mayor centro de producción de plantas ornamentales. La tolerancia a las bajas temperaturas es una de las mayores limitantes para el cultivo de estas plantas y, por ese motivo, es uno de los objetivos principales de mejoramiento propuestos por el IF, en Argentina (Bugallo *et al.*, 2011). Algunas de las especies nativas que poseerían mayor tolerancia a las bajas temperaturas son: *P. capsularis* y *P. misera*, del subgénero *Decaloba*; *P. chrysophylla* y *P. foetida*, del subgénero *Dysosmia*; y del subgénero *Passiflora*, *P. mooreana* y *P. caerulea*, siendo esta última la de distribución más austral (Missouri Botanical Garden, 2021).

Debido a la preferencia de la mayoría de las especies por los climas cálidos, la colección de trabajo *in vivo* para el mejoramiento en el IF se mantuvo bajo invernáculo con una temperatura mínima controlada de 10 °C.

Se han realizado ensayos para verificar la tolerancia de las plantas a las temperaturas fuera del invernáculo, en Buenos Aires (Bugallo *et al.*, 2011; 2014). Los resultados mostraron que *P. caerulea* fue la especie de mejor comportamiento, presentándose casi inalterada luego del período invernal. Para otras, como *P. alata* y *P. amethystina*, la exposición al frío causó inicialmente, marchitamiento y necrosis en las hojas y con posterioridad, la muerte (Bugallo *et al.*, 2011; 2014). En híbridos interespecíficos, la tolerancia a bajas temperaturas mostró un comportamiento intermedio al de las plantas parentales. En el caso de híbridos entre plantas no tolerantes y tolerantes como, por ejemplo, *P. amethystina* x *P. caerulea*, fue posible la supervivencia de las plantas al aire libre en invierno con poco daño a los tejidos vegetativos (Bugallo *et al.*, 2014).

El mejoramiento genético por hibridación entre especies con barreras pre-polinización

Si bien en la naturaleza existen especies en las que no se podrían producir híbridos por poseer diferencias en sus polinizadores, momento reproductivo o distribución eco-geográfica, estas barreras pueden ser fácilmente sorteadas mediante la hibridación artificial.

La realización de cruzamientos en el género implica una serie de pasos. El primero de ellos involucra la selección de los parentales para los cruzamientos. En esta instancia, se propuso enfocar el trabajo dentro del subgénero *Passiflora*. La decisión de seleccionar a las especies de este subgénero se debió a su gran variabilidad en colores y tamaños de flores, a la presencia de especies con la capacidad de sobrevivir al invierno en Buenos Aires y a que, en pruebas preliminares, no se lograron obtener resultados en los cruzamientos entre subgéneros diferentes. El paso siguiente luego de la selección de parentales es el de la realización de los cruzamientos. Las flores femeninas se emasculan cuando los pimpollos permanecen cerrados, pero los pétalos ya están coloreados. Este estadio se observa el día anterior a la apertura de las flores. Para la castración, se retiran los sépalos, los pétalos, la corona y las anteras con una pinza de punta fina (Figura 1.A). Este paso se realiza ya que, si bien la mayoría de las especies de *Passiflora* son autoincompatibles, otras no lo son (Ulmer y MacDougal, 2004). Luego de castrar las flores, se coloca un sobre de papel envolviendo cada una, a la espera del momento en que los estigmas estén receptivos, etapa que ocurre con la apertura natural de la flor. Al día siguiente, se retira el sobre de papel protector y se frota sobre la superficie de los tres estigmas la antera de la planta selecta como parental masculino (Figura 1.B). El cruzamiento se rotula con una etiqueta colgante con hilo que se ubica alrededor del pedicelo de la flor polinizada y se vuelve a cubrir con el sobre de papel

para evitar la contaminación con otro polen (Figura 1.C). La formación y maduración del fruto ocurre en un tiempo variable en las distintas especies de *Passiflora* pero el viraje del color es el indicador para el momento de la cosecha (Figura 1.D). Los frutos se retiran junto con la etiqueta rotulada que indica el cruzamiento y se abre el fruto para retirar las semillas. Todas las especies de *Passiflora* poseen semillas con arilo, el cual puede ser retirado frotándolas contra una toalla de papel. En condiciones naturales, las semillas de este género suelen ser ingeridas por los pájaros que se alimentan del arilo. Las semillas pasan por el buche del animal y los tegumentos gruesos y duros son escarificados. Las semillas son eliminadas por los pájaros, cayendo en las bases de alambrados o árboles en condiciones óptimas para su germinación. Imitando este proceso, una vez eliminados los arilos, las semillas pueden ser escarificadas frotando la zona de la sutura por un papel de lija (Ferreira *et al.*, 2005). Algunos estudios indican que mantener las semillas remojadas en agua corriente ayuda a eliminar algunas sustancias químicas que impiden la germinación (Siddique y Kumar, 2018; Çırak *et al.*, 2007); luego de este tratamiento, se siembran las semillas para que germinen.

Por más que se trate del mismo cruzamiento e inclusive dentro de un mismo fruto, todos los híbridos son diferentes. La autoincompatibilidad encontrada en la mayoría de las especies de *Passiflora* produce genotipos altamente heterocigotas, haciendo que las gametas que se generen posean una inmensa variabilidad genética que, en la combinación interespecífica, resulta casi infinita.

El género *Passiflora* es muy prolífico en híbridos interespecíficos (Ocampo *et al.*, 2016; Giovannini *et al.*, 2012; Bugallo *et al.*, 2011; Ramírez, 2006; Ulmer y MacDougal, 2004; Vanderplank, 1991; Payán y Martín, 1975). En el programa de mejoramiento en el IF, de 72 parejas interespecíficas de nativas del subgénero *Passiflora* (incluyendo cruzamientos recíprocos), 40 de ellos produjeron híbridos. El cruzamiento que produjo frutos con mayor frecuencia fue *P. amethystina* x *P. elegans*. Sin embargo, el cruzamiento entre algunas de las especies de la colección del IF nunca fue fructífero. Para algunas de las parejas de especies, no se conocen híbridos, lo cual podría implicar la incompatibilidad entre las mismas. En otros casos, una pareja de especies que entre plantas de la colección fue infértil, se registra como fértil en la bibliografía. En el caso del cruzamiento *P. cincinnata* x *P. caerulea*, del cual no se lograron obtener híbridos en el IF, se hallaron registros de las variedades *P.* “Blue Carnival”, *P.* “Catherina Howard”, *P.* “Jeeny”, *P.* “Lada”, *P.* “Linda”, *P.* “Rinconata” y *P.* “Vladena” (Passiflora Society International, 2021). Este hecho, podría estar indicando que la incompatibilidad encontrada se da entre los genotipos y no entre las especies.

Citometría de flujo: cantidad de ADN en especies e híbridos, confirmación de hibridación y de poliploidía

La citometría de flujo es una técnica muy empleada para la investigación en plantas, tanto para estudios en poblaciones naturales como por su aplicación en programas de mejoramiento genético. Por su capacidad para detectar el ADN en el núcleo celular, puede ser empleada en la estimación de la cantidad de ADN, así como también en la detección de poliploides naturales e inducidos y en la confirmación de la hibridación, en algunos casos.

Los tamaños genómicos conocidos para el género *Passiflora*, así como los de otros géneros, son compendiados en el Plant DNA C-values Database (Kew, 2021). En el género *Passiflora*, la variabilidad en la cantidad de ADN por cada genoma, como en tantos otros aspectos, es enorme. Según los datos publicados, esta característica puede variar entre 0,21 pg en *P. organensis*, hasta 2,68 pg en *P. quadrangularis* (sin. de *P. alata*). Si bien este dato podría parecer menor, cuando se convierten las unidades por medio de la fórmula $1 \text{ pg} = 978 \text{ Mpb}$ (Dolezel *et al.*, 2003), la diferencia resulta en 2.415.000 pares de bases. Entre las nativas de Argentina, la diferencia encontrada es de 1.916.000 pares de bases, considerando el menor valor publicado, 0,25 para *P. misera*, y el mayor, 2,21 para *P. alata*.

Las variaciones en el tamaño del genoma se pueden deber a la amplificación de ADN no repetitivo, especialmente retrotransposones, que produciría un aumento; o a la recombinación desigual y la recombinación ilegítima, que producirían una reducción (Grover y Wendel, 2010).

Debido a que la citometría de flujo es una técnica que estima la cantidad de ADN de manera indirecta, a través de la intensidad de fluorescencia de las tinciones, algunos autores afirman que ciertos compuestos presentes en las plantas podrían interferir en el proceso, alterando los resultados. Sin embargo, en varias especies se ha comprobado genuina variación en el tamaño genómico debida a rearreglos cromosómicos, ADN repetitivo y elementos transponibles (Sader *et al.*, 2020; Boutte *et al.*, 2020; Inceer *et al.*, 2018; Šmarda y Bureš, 2010).

En el plan de mejoramiento del IF, se han estimado las cantidades de ADN para las especies presentes en la colección de trabajo, para algunas, por primera vez (datos en prensa).

En algunos pocos casos, se ha podido realizar una confirmación temprana de hibridación, sólo cuando la cantidad de ADN de los parentales fue significativamente diferente como, por ejemplo, en los cruzamientos entre *P. caerulea* y *P. alata*, con diferencias de 0,82 pg aproximadamente (Bugallo *et al.*, 2016). A pesar de las diferencias en tamaño genómico, los híbridos entre especies presentaron gran vigor vegetativo, sin embargo, se observó una importante reducción en la fertilidad que se ve reflejada en la viabilidad del polen (Bugallo *et al.*, 2011).

La citometría de flujo también se ha empleado para la detección de poliploides en plantales de inducción por colchicina (Bugallo *et al.*, 2016).

Barreras de aislamiento reproductivo post-polinización

En algunos casos, no existen fenómenos pre-polinización que aíslen reproductivamente a las especies, sino que las barreras ocurren con posterioridad a la llegada del polen al estigma de las flores. Entre ellas, se diferencian las pre-cigóticas, como la interrupción del crecimiento del tubo polínico; y las post-cigóticas, como los problemas en la germinación de las semillas o la esterilidad de los híbridos.

Barreras pre-cigóticas: interrupción del crecimiento del tubo polínico

La polinización artificial entre dos genotipos no siempre resulta en la obtención de un fruto con semillas. El estudio del crecimiento del tubo polínico en estas situaciones es de mucha utilidad en el mejoramiento ya que permite identificar el lugar específico donde se produjo la reacción de incompatibilidad y tomar medidas para sortearla.

La metodología para llevar a cabo este tipo de análisis implica varios pasos: la realización de varias polinizaciones entre los mismos genotipos, la fijación de los pistilos polinizados en FAA (formol, ácido acético, alcohol etílico y agua destilada 0,1: 0,05: 0,5: 0,35%) a diferentes períodos post-polinización (por ejemplo, a 1, 2 ó 3 días de realizada la polinización), la hidrólisis en hidróxido de sodio de los pistilos fijados, la tinción con azul de anilina y la observación bajo microscopio de fluorescencia (Rego *et al.*, 2000; Martin, 1958; Bugallo *et al.*, 2011).

Como resultado de esta técnica, se pudo observar la adhesión de los granos de polen en el estigma, su germinación, el crecimiento de los tubos polínicos a lo largo del estilo y su reacción (movimientos zigzagueantes, acumulación anormal de calosa en extremos y a lo largo del tubo, detención, etc.), su entrada al ovario y, en algunos casos, la entrada de tubos polínicos por la micrópila del óvulo (Bugallo *et al.*, 2015; 2011). Si alguno de estos pasos se ve interrumpido, manifestando barreras pre-cigóticas, el cruzamiento no producirá frutos. También puede ocurrir que los tubos polínicos lleguen a los óvulos sin interrupción y, a pesar de ello, no se produzcan frutos. Ese caso, podría mostrar la existencia de barreras pre-cigóticas que ocurren entre la entrada de los tubos polínicos al óvulo y la formación de la cigota, o de impedimentos de origen post-cigótico.

Barreras post-cigóticas

Las barreras post-cigóticas son las que se producen con posterioridad a la fecundación. Estas pueden deberse al aborto del cigoto en división, a defectos en la semilla híbrida que reprimen la germinación, a debilidad o letalidad vegetativa del híbrido interespecífico, a su esterilidad o a la de generaciones posteriores (Baack *et al.*, 2015).

El rescate de embriones in vitro es una de las técnicas comúnmente utilizadas para sortear esta barrera. Algunas de las barreras post-cigóticas impiden la formación del híbrido, por ejemplo, el aborto del embrión de la semilla; otras, inhiben la normal formación o uso del tejido de reserva de la semilla. En esos casos, un embrión híbrido muere por falta de nutrientes durante la germinación.

Los problemas en la germinación son la expresión de barreras post-cigóticas que puede provenir de diversos orígenes. Uno de ellos es la impronta genómica “genomic imprinting” que produce el “apagado” de una de las copias de varios genes y es fundamental en la función del endosperma para nutrir al embrión. Otro, deriva de una falla en la etapa de celularización durante el desarrollo del endosperma que deja sin alimento al embrión. Un tercero, se da en híbridos donde se observan endospermas defectuosos; este fenómeno ocurre independientemente del modo de desarrollo del endosperma (celular o nuclear) (Wolff *et al.*, 2015).

Esta situación se encontró en las semillas del híbrido *P. “Amethyst”* x *P. caerulea* quien producía frutos oblongos de color violeta oscuro de entre 5 y 8 cm de longitud completamente vacíos o con hasta dos semillas (Figuras 1. E, F, G). Las pocas semillas que fueron recolectadas en esa planta poseían un embrión, pero no germinaban con los protocolos usados para las especies. Por ese motivo, se cultivaron in vitro los embriones extraídos de las semillas: se desinfectaron semillas sumergiéndolas en etanol 70% durante 2 minutos, se retiraron los tegumentos con un bisturí bajo lupa en el flujo laminar, se extrajeron los embriones y se colocaron sobre medio de cultivo MS modificado, (macroelementos al 50% y sacarosa 40 g/L en tubos de ensayo. Si bien este método permitió la obtención de un híbrido (Figura 1.H), la mayor parte de los embriones cultivados no prosperaron o presentaron deformidades que comprometieron su crecimiento posterior. Esto demostró que las barreras post-cigóticas iban más allá de los problemas con las reservas de las semillas, comprometiendo la viabilidad vegetativa de esa progenie.

Citogenética, viabilidad y fertilidad de los híbridos interespecíficos

Las diferencias cromosómicas entre taxones constituyen uno de los factores de aislamiento reproductivo internos más importantes (Charron *et al.*, 2014). Cada especie tiene un complemento cromosómico propio. La comparación de los cromosomas de diferentes taxones muestra patrones y mecanismos de la evolución cariotípica y su importancia en la diversificación y posterior especiación (Leitch *et al.*, 2013). Las características del cariotipo son generalmente constantes en un grupo de especies y aún de géneros, pero a menudo ocurren variaciones estructurales y/o numéricas que pueden cambiar el número, tamaño y posición centromérica de los cromosomas y la simetría del cariotipo (Stebbins, 1971).

El género *Passiflora* posee varios números cromosómicos básicos y las especies argentinas presentan 3 de ellos: $x=6$, $x=9$ y $x=10$. Entre ellas, las del subgénero *Decaloba* poseen números básicos $x=6$, con números somáticos $2n=12$ (*P. morifolia*, *P. misera* y *P. capsularis*) y $2n=24$ (*P. suberosa*). Las especies del subgénero *Dysosmia* poseen $x=10$ con número somático $2n=20$ (*P. foetida*) y las del subgénero *Passiflora* $x=9$, siendo todas diploides $2n=2x=18$, excepto *P. mooreana* que presentó citotipos diploide y tetraploide (Bugallo *et al.*, 2020; 2013). A pesar de que todas las especies del subgénero *Passiflora* poseen números

cromosómicos $2n=8$, se encontraron diferencias en los cariotipos (Bugallo *et al.*, 2020). Estos fueron altamente simétricos, con cromosomas, en su mayoría, metacéntricos. Como se mencionó anteriormente, las diferencias entre subgéneros son tan profundas que, en ningún caso, permitieron la hibridación entre ellos.

Las barreras post-cigóticas pueden manifestarse en la viabilidad vegetativa del híbrido, mostrando alteraciones en su crecimiento y/o desarrollo; o con la llegada de la etapa reproductiva. En caso de verse comprometida la viabilidad vegetativa, el híbrido difícilmente llega a florecer.

Con frecuencia, los híbridos interespecíficos son estériles y esto se debe en gran parte a que, al presentar los genomas parentales una falta de homología, la meiosis no puede ocurrir normalmente. Se estimó la viabilidad del polen en 47 híbridos interespecíficos de *Passiflora* de la colección del IF, correspondientes a los 20 cruzamientos. Los porcentajes variaron entre un valor máximo de 79,4% para *P. amethystina* x *P. edulis f. edulis*, y un mínimo de 0% para *P. cincinnata* x *P. edulis f. flavicarpa* y *P. edulis f. edulis* x *P. mooreana* 4x. Comparando la viabilidad del polen promedio para cada pareja de especies, los cuatro cruzamientos que presentaron mayor fertilidad fueron: *P. amethystina* x *P. edulis f. edulis*, *P. amethystina* x *P. mooreana*, *P. amethystina* x *P. caerulea* y *P. caerulea* x *P. amethystina*. La esterilidad en un híbrido interespecífico puede eliminarse si se induce la duplicación cromosómica, ya que la copia de cada genoma producirá un homólogo para cada cromosoma.

Muchas veces ocurre la hibridación natural de dos especies diferentes y, en algunos casos, la duplicación cromosómica espontánea que resulta en la formación de un alopoliploide. Este híbrido, al poseer dos genomas de cada especie que pueden aparear sus cromosomas entre sí, muchas veces recupera la fertilidad.

La inducción de poliploidía es una técnica por la cual, a través de sustancias químicas inhibitoras de los husos acromáticos, se logra la duplicación cromosómica en el núcleo celular. Las consecuencias fenotípicas de la poliploidización en plantas incluyen: aumento en el tamaño del núcleo celular y, como consecuencia, en órganos como hojas y flores; modificación del color de flor; de la fragancia, etc. (Niazian y Nalousi, 2020).

En el género *Passiflora* se ha ensayado con éxito la inducción de poliploides *in vivo* en especies e híbridos interespecíficos. La técnica empleada involucró la aplicación de una solución acuosa de colchicina en concentraciones de 0,25 y 0,5%, a yemas de estacas enraizadas y a ápices de plántulas de 5 cm de longitud. Se obtuvieron plantas quiméricas y poliploides sólidos, que se confirmaron por citometría de flujo (Bugallo *et al.*, 2016).

Entre los autopoliploides, se destacó el obtenido a partir del citotipo tetraploide de *P. mooreana* ya que permitió la comparación de tres niveles de ploidía diferentes para el mismo genoma: diploide, tetraploide y octoploide (Bugallo *et al.*, 2014). Esta serie mostró que, si bien los pétalos de las flores permanecieron blancos, el color azul de los apéndices de la corona se intensificaba al aumentar el nivel de ploidía. Se encontró también un incremento en el tamaño de las hojas y de las flores y en la textura de las hojas. Sin embargo, los pétalos de las flores del octoploide se presentaban arrugados, la cantidad de flores era escasa y mostraba una reducida tasa de crecimiento. La disminución en la velocidad de crecimiento acompañó a la mayoría de los poliploides obtenidos en alguna medida (Bugallo *et al.*, 2014).

Entre los alopoliploides, obtenidos por la duplicación cromosómica de híbridos interespecíficos, pudieron apreciarse varios fenómenos interesantes. Por un lado, el tamaño promedio de los órganos fue mayor en poliploides que en diploides; a pesar de ello, en algunos casos, no se observaba este incremento. Resultados similares fueron registrados respecto de la recuperación de la fertilidad. Si bien algunos alopoliploides recuperaron la fertilidad, otros no lo hicieron.

La falta de uniformidad en la respuesta a la inducción de poliploides sugiere que este proceso no es lineal y que ocurrieron muchos otros cambios y ajuste en el momento de la duplicación cromosómica (Figura 1.1). Algunos de ellos serían consecuencia del dosaje génico, otros derivarían de modificaciones epigenéticas. La conclusión más general es que cada evento de inducción de poliploidía arroja un resultado único y debe ser estudiado separadamente.

CONCLUSIONES

El programa de mejoramiento llevado a cabo por más de 10 años en el Instituto de Floricultura aportó gran cantidad de conocimiento sobre las especies argentinas de *Passiflora*. Los estudios involucraron la realización de cruzamientos interespecíficos, estudios del crecimiento del tubo polínico, siembra de semillas, análisis de viabilidad de polen, rescate de embriones, citogenética, poliploidía, citometría de flujo y análisis fenotípicos. Los resultados muestran la inmensa variabilidad genética del género y permiten vislumbrar los procesos y mecanismos que tuvieron lugar en la especiación. También exhiben las infinitas posibilidades de generar aún más variación por métodos convencionales como la hibridación interespecífica. Además, la información obtenida enriquece el conocimiento sobre las especies nativas de la Argentina y aporta valiosos datos a los programas de mejoramiento en este género.



Figura 1. Mejoramiento genético en especies de *Passiflora* nativas de Argentina.

A- Pimpollo castrado; B- polinización artificial; C- ensobrado y rotulado del pistilo polinizado; D- fruto maduro; E, F, G- frutos, flores y semillas del híbrido *P. "Amethyst"* x *P. caerulea*; H- flor del híbrido obtenido por rescate de embriones de semillas de *P. "Amethyst"* x *P. caerulea*; I- fila inferior: híbridos de *P. amethystina* x *P. elegans* (2x), fila superior: poliploides inducidos (4x).

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que colaboraron en el programa de mejoramiento en *Passiflora* en el Instituto de Floricultura: María Julia Pannunzio, Javier Pizzi, Zulma Roa, Carolina Castagnet y Matías Soria. A María Teresa Amela García por su revisión y aportes a este capítulo.

REFERENCIAS

- AMELA GARCÍA, M.T.; HOC, P. S. 1997. Floral biology and reproductive system of *Passiflora caerulea* (Passifloraceae). Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 70: 1-20.
- AMELA GARCÍA, M.T.; HOC, P. S. 2011. Pollination mechanisms in *Passiflora* species: the common and the rare flowers – ecological aspects and implications for horticulture. Chapter 2. En: Raskin, N. D.; Vuturro, P. T. (Eds.). 2011. Pollination: mechanisms, ecology and agricultural advances. Nova Science Publishers, Inc. New York, U. S.
- AQUINO, D. S.; AMELA GARCÍA, M.T. 2019. Pollen dispersal in a population of *Passiflora caerulea*: spatial components and ecological implications. Plant Ecology 220, 845-860.
- ARNEGARD, M.E.; MCGEE, M.D.; MATTHEWS, B.; MARCHINKO, K.B.; CONTE, G.L.; KABIR, S.; BEDFORD, N.; BERGEK, S.; CHAN, Y.F.; JONES, F.C.; KINGSLEY, D.M.; PEICHEL, C.L.; SCHLUTER, D. 2014. Genetics of ecological divergence during speciation. Nature 511(7509), 307-311.
- BAAK, E.; MELO, M.C.; RIESEBERG, L.H.; ORTIZ-BARRIENTOS, D. 2015. The origin of reproductive isolation in plants. New Phytologist 207, 968-984.
- BOUTTE, J.; MAILLET, L.; CHAUSSEPIED, T.; LETORT, S.; AURY, J. M.; BELSER, C.; BOIDEAU, F.; BRUNET, A.; CORITON, O.; DENIOT, G.; FALENTIN, C.; HUTEAU, V.; LODÉ-TABUREL, M.; MORICE, J.; TROTOUX, G.; CHÈVRE, A. M.; ROUSSEAU-GUEUTIN, M.; FERREIRA DE CARVALHO, J. 2020. Genome Size Variation and Comparative Genomics Reveal Intraspecific Diversity in *Brassica rapa*. Frontiers in plant science, 11, 577536. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.577536>, verificado: 08/02/2021
- BUGALLO, V.; CARDONE, S.; PANNUNZIO, M.J.; FACCIUTO, G. 2014. Passionflowers from Argentina: domestication of native species and strategies to obtain new varieties. *Passiflora Online Journal UK* 5(1):58-67.
- BUGALLO, V.; CARDONE, S.; PANNUNZIO, M. J.; COVIELLA, A.; FACCIUTO, G. 2013. Chromosome Studies and the Implications on Ornamental Characteristics in *Passiflora mooreana* (Passifloraceae). Acta Horticulturae 1000 (1), 131-135.

- BUGALLO, V.; PANNUNZIO, M. J.; FACCIUTO, G. 2016. Flow cytometry: a useful tool for measuring ploidy in *Passiflora* breeding programs. *Passiflora Online Journal*, UK, 9(1): 4-7
- BUGALLO, V.; PANNUNZIO, M. J.; CARDONE, S.; FACCIUTO, G. 2015. The hidden path of hybridization in passionflower: microscopic steps to create a novel variety. *Passiflora Online Journal*, UK 7(1), 47-53.
- BUGALLO, V.; PANNUNZIO, M. J.; CARDONE, S.; FACCIUTO, G. 2011. Breeding Advances in *Passiflora* Native to Argentina. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, Global Science Books, UK. 5 (1), 23-34. ISSN: 1749-0294.
- BUGALLO, V.; PANNUNZIO, M.J.; FACCIUTO, G. 2017. Análisis colorimétrico en flores de especies e híbridos de *Passiflora*. *Horticultura Argentina* 36(90), 5-12.
- BUGALLO, V.; REALINI, F.; FACCIUTO, G.; POGGIO, L. 2020. Karyotypic analyses and genomic affinity among Argentinean species of *Passiflora* L. *Rodriguésia* 71: e03532018.
- CHARRON, G.; LEDUCQ, J.B.; LANDRY, C.R. 2014. Chromosomal variation segregates within incipient species and correlates with reproductive isolation. *Molecular Ecology* 23, 4362-4372.
- ÇIRAK, C.; KEVSEROĞLU, K.; AYAN, A. K. 2007. Breaking of seed dormancy in a Turkish endemic *Hypericum* species: *Hypericum aviculariifolium* subsp. *depilatum* var. *depilatum* by light and some pre-soaking treatments. *Journal of Arid Environments* 68(1), 159-164.
- CLEGG, M.T.; DURBIN, M.L. 2000. Flower color variation: a model for the experimental study of evolution. *PNAS* 97(13), 7016-7023.
- DEGINANI, N. 2001. Las especies argentinas del género *Passiflora*. *Darwiniana* 39(1-2), 43-129.
- DOLEZEL, J.; BARTOS, J.; VOGLMAYR, H.; GREILHUBER, J. 2003. Nuclear DNA content and genome size of trout and human. *Cytometry* 51, 127-128.
- KEW. 2021. Plant DNA C-values Database. <http://data.kew.org/cvalues/>, verificado: 08/02/2021.
- FACCIUTO, G.; BOLOGNA, P.; BUGALLO, V.; RIVERA, M. 2019. Desarrollo de plantas ornamentales a partir de recursos genéticos argentinos. *RG News* 5(1), 13-17. Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos.
- FERREIRA, G.; DE OLIVEIRA, A.; RODRIGUES, J. D.; BRAVO, D. G.; METONI, M.; TESSER, S. M.; ANTUNES, A. M. 2005. Effect of aril in *Passiflora alata* seed germination in different substrates and submitted to previous germinative treatments with gibberellin. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27 (2), 277-280.
- GIOVANNINI, A.; DENTE, F.; DE BENEDETTI, L.; NICOLETTI, F.; BRAGLIA, L.; GAVAZZI, F.; MERCURI, A. 2012. Interspecific hybridization in ornamental passionflowers. In XXIV International Eucarpia Symposium Section Ornamentals: Ornamental Breeding Worldwide 953, 111-118.

- GRANT, V. 1989. Especiación vegetal. Noriega editores. 1-587.
- GROVER, C.E.; WENDEL, J.F. 2010. Recent insights into mechanisms of genome size change in plants. *Journal of Botany* 2010:8.
- INCEER, H.; GARNATJE, T.; HAYIRLIOĞLU-AYAZ, S.; PASCUAL-DÍAZ, J. P.; VALLÈS, J.; GARCIA, S. 2018. A genome size and phylogenetic survey of Mediterranean *Tripleurospermum* and *Matricaria* (Anthemideae, Asteraceae). *PloS one* 13(10), e0203762.
- KILLIP, E. 1938. The American species of *Passifloraceae*. Field Museum of Natural History, Botanical series 19, 1-613.
- LEITCH, I. J.; GREILHUBER, J.; DOLEZEL, J.; WENDEL, J. F. 2013. Plant genome diversity, physical structure, behavior and evolution of plant genomes, Volume 2, 359 p.
- MACDOUGAL, J. M.; FEUILLET, C. 2004. Systematics. En: ULMER, T.; MACDOUGAL, J. M. (eds.). *Passiflora*: passionflowers of the World. Timber Press, Cambridge, UK., pp. 27-31.
- MACKAY, T. F. C. 2014. Epistasis and quantitative traits: using model organisms to study gene-gene interactions. *Nature Reviews Genetics* 15(1), 22-23.
- MARTIN, J. 1958. Staining and observing pollen tubes in the styles by means of fluorescence. *Stain Technology* 34, 125-128.
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN, 2021. Bases de datos de especímenes. <http://www.tropicos.org/SpecimenSearch.aspx>, verificado: 08/02/2021
- NACIONES UNIDAS. 2011. The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from Their Utilization to the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-en.pdf>, verificado: 08/02/2021
- NIAZIAN, M.; NALOUSHI, A. M. 2020. Artificial polyploidy induction for improvement of ornamental and medicinal plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 1-23.
- OCAMPO, J.; ARIAS, J.C.; URREA, R. 2016. Interspecific hybridization between cultivated and wild species of genus *Passiflora* L. *Euphytica* 209, 395-408.
- PASSIFLORA SOCIETY INTERNATIONAL, 2021. *Passiflora* Cultivars International Register. <https://www.passiflorasociety.org/>, verificado: 08/02/2021
- PAYÁN, F. R.; MARTIN, F. W. 1975. Barriers to the hybridization of *Passiflora* species. *Euphytica* 24, 709-716.
- PHILLIPS, P.C. 2008. Epistasis- the essential role of gene interactions in the structure and evolution of genetic systems. *Nature reviews Genetics* 9 (11), 855-867.

- RAMÍREZ, B. W. 2006. Hibridación interespecífica en *Passiflora* (*Passifloraceae*) mediante polinización manual y características florales para la polinización. *Lankesteriana* 6 (3), 123-131.
- RÊGO, M. M.; RÊGO, E. R.; BRUCKNER, C. H.; DA SILVA, E. A. M.; FINGER, F. L.; PEREIRA, K. J. C. 2000. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses. *Theoretical and Applied Genetics* 101(5), 685-689.
- SADER, M.; VAIO, M.; CAUZ-SANTOS, L.; DORNELAS, M.C.; VIEIRA, M.L.C.; PEDROSA-HARAND, A. 2020. Large vs. Small genomes in *Passiflora*: the influence of the mobilome and satellitome. *BioRxiv* preprint. <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2020/08/24/2020.08.24.264986.full.pdf>, verificado 08/02/2021.
- SIDDIQUE, A.; KUMAR, P. 2018. Physiological and Biochemical basis of Pre-sowing soaking seed treatments-An overview. *Plant Archive* 18(2), 1933-1937.
- ŠMARDÁ, P.; BUREŠ, P. 2010. Understanding intraspecific variation in genome size in plants. *Preslia* 82(1), 41-61.
- STEBBINS, G.L. 1971. Chromosomal evolution in higher plants. Edward Arnold Publishers, London, 1-216.
- TORNIELLI, G.; KOES, R.E.; QUATTROCCHIO, F. 2009. The genetics of flower color. Chapter 13. En: Gerats, T.; Strommer, J. *Petunia*. Springer Science, 269- 299.
- TORRES, C.; DAMBOLENA, J.S.; ZUNINO, M.P.; GALETTO, L. 2012. Nectar characteristics and pollinators for three native, co-occurring insect-pollinated *Passiflora* (*Passifloraceae*) from central Argentina. *The International Journal of Plant Reproductive Biology*, 4(2), 121-126.
- ULMER, T.; MACDOUGAL, J. M. 2004. *Passiflora*: passionflowers of the World. Timber Press, Cambridge, UK. 1-430.
- VAN DER KOOI, C.J.; ELZENGA, J.T.M.; STAAL, M.; STAVENGA, D.G. 2016. How to colour a flower: on the optical principles of flower coloration. *Proceedings of the Royal Society Biological Series*, 283: 20160429.
- VANDERPLANK, K. 1991. *Passionflowers and passionfruit*. Cassell Publishers Limited, London, 1-176.
- VAN TUYL, J. M.; DE JEU, M. J. 1997. Methods for overcoming interspecific crossing barriers. Chapter 13. En: *Pollen biotechnology for crop production and improvement* (Sawhney, VK; Shivanna, KR). Cambridge University Press.
- VARASSIN, I.G.; TRIGO, J.R.; SAZIMA, M. 2001. The role of nectar production, flower pigments and odour in the pollination of four species of *Passiflora* (*Passifloraceae*) in south-eastern Brazil. *Botanical Journal of the Linnean Society* 136, 139-152.

WOLFF, P.; JIANG, H.; WANG, G.; SANTOS-GONZALEZ, J.; KÖHLER, C. 2015. Paternally expressed imprinted genes establish postzygotic hybridization barriers in *Arabidopsis thaliana*. eLife 4: e10074.

YAMAMOTO, M.; SILVA, C.I.; AUGUSTO, S.C.; BARBOSA, A.A.A.; OLIVEIRA, P.E. 2012. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) (*Passifloraceae*) crop in central Brazil. Apidologie 43, 515-526.

ZHAO, D.; TAO, J. 2015. Recent advances on the development and regulation of flower color in ornamental plants. Frontiers in Plant Science 6, 261.

MEJORAMIENTO GENÉTICO EN EL GÉNERO *MECARDONIA* (*PLANTAGINACEAE*)

Julían Alejandro Greppi*, Mariana Cecilia Pérez de la Torre, Santiago Ariel Trupkin

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Instituto de Floricultura. Argentina

*Autor para correspondencia: greppi.julian@inta.gob.ar

RESUMEN

Mecardonia Ruiz & Pavon (*Plantaginaceae*) es un género americano compuesto por alrededor de nueve especies herbáceas, algunas de las cuales se caracterizan por su gran potencial ornamental. Por este motivo, el Instituto de Floricultura del INTA inicia en el año 2004 un programa de mejoramiento genético con el objetivo de desarrollar cultivares de *Mecardonia* para uso ornamental. Desde entonces, se han llevado a cabo distintas actividades, generando información de utilidad para el proceso de mejoramiento. Entre los aspectos abordados, se encuentran los taxonómicos, describiendo dos nuevas especies presentes en Argentina (*M. kamogawae* Greppi & Hagiwara y *M. reneeae* Greppi & Sosa). Conteos cromosómicos en dichas especies mostraron la existencia de mayores niveles de ploidía en *M. reneeae* (tetraploide) y en *M. kamogawae* (hexaploide) en relación al resto de las especies que suelen ser diploides. Se analizaron los contenidos de ADN y se evaluaron las relaciones de compatibilidad reproductiva en las especies y variedades botánicas nativas de Argentina. Los estudios indicaron la existencia de incompatibilidad reproductiva a excepción de unos pocos casos. A partir de los cruzamientos se pudieron crear hasta el momento siete cultivares, cuatro de ellos comercializados en Argentina y tres en el mercado internacional a través de un convenio de vinculación tecnológica con la empresa japonesa Sakata Seed. El proceso de mejoramiento de estos primeros cultivares estuvo basado en metodologías clásicas, llevando a cabo cruzamientos y selección de genotipos. Además, se abordó una estrategia no convencional para avanzar en el proceso de mejoramiento e incorporar nuevas características. La metodología utilizada se basó en la transformación genética con *Agrobacterium rhizogenes* salvaje para obtener plantas con un porte más compacto en cultivares estériles que no pueden ser cruzados o retrocruzados.

Palabras clave: mejoramiento, variedades, transformación.

ABSTRACT

Mecardonia Ruiz & Pavon (*Plantaginaceae*) is an American genus that is composed by about nine herbaceous species, some of which display a great ornamental potential. For this reason, in 2004 the Institute of Floriculture at INTA began a genetic program to develop *Mecardonia* cultivars for ornamental use. Since then, different activities have been carried out, generating useful information for the improvement process. Among the aspects addressed are the

taxonomic ones, describing two new species present in Argentina (*M. kamogawae* Greppi & Hagiwara and *M. reneeae* Greppi & Sosa). The numbers of chromosomes in these species showed the existence of higher levels of ploidy in *M. reneeae* (tetraploid) and in *M. kamogawae* (hexaploid) in relation to the rest of the species that are usually diploid. The DNA contents were analyzed and compatibility relationships were evaluated in the native species and varieties of Argentina. The studies indicated the existence of reproductive incompatibility except for a few cases, from which seven cultivars were developed, four of them commercialized in Argentina and three in the international market through a technological linkage agreement with the Japanese company Sakata Seed. The improvement process of these initial cultivars was based on classical methodologies, carrying out crosses and selection of genotypes for their commercialization, which are multiplied agamically. In addition, an unconventional strategy was used to advance with genetic improvement and incorporate new features. It was based on the genetic transformation of sterile cultivars, that cannot be crossed or backcrossed, with a wild type strain of *Agrobacterium rhizogenes* to obtain plants with a more compact growth habit.

Keywords: breeding, varieties, transformation.

Importancia del germoplasma nativo para el desarrollo de nuevos cultivos ornamentales

El enorme potencial ornamental que tiene la flora de Argentina aún no se ha aprovechado en toda su magnitud, ni por las grandes empresas florícolas internacionales ni por el sector productivo local que cuenta con los recursos fitogenéticos a su alcance.

Varios de los géneros ornamentales que actualmente se cultivan en el mundo son originarios de Sudamérica y varias de las especies que fueron utilizadas para su desarrollo crecen en Argentina. Sin embargo, a todos ellos se les ha realizado mejoramiento genético fuera del territorio argentino, ingresando a la horticultura ornamental comercial en forma de nuevos cultivos o nuevas variedades con gran valor agregado. De esta manera el país de origen y sus productores pierden la posibilidad de participar en el lucrativo negocio de estas creaciones fitogenéticas. La mejora genética vegetal es esencialmente una elección hecha por el hombre de las mejores plantas escogidas dentro de una población en la cual exista variabilidad (Sánchez-Monge, 1993). A partir de esta definición se pueden establecer las tres premisas más importantes para el planteamiento de cualquier programa de mejoramiento genético vegetal (Smith, 1986): 1- La existencia de variabilidad o bien la capacidad para crearla. 2- La capacidad de detectar dicha variabilidad, o la habilidad del mejorador para observar las diferencias que puedan tener valor económico. 3- La capacidad para manipular dicha variación para producir un nuevo cultivar estable. Finalmente, tan importante como el proceso de selección de un nuevo cultivar, es su transferencia al sector productivo, siendo este el principal objetivo de todo proceso de mejora.

El Instituto de Floricultura del INTA como pieza clave en el mejoramiento de plantas ornamentales a través del uso de germoplasma nativo

Como resultado de un convenio con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) creó en el año 2004 al Instituto de Floricultura (IF), ubicado en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) en la localidad de Hurlingham, provincia de Buenos Aires. A partir de entonces, en el IF se han comenzado a implementar programas de mejoramiento utilizando recursos fitogenéticos nativos para potenciar su valor económico como plantas ornamentales a través de la creación de cultivares.

El INTA, a través del proyecto antes mencionado, ha dado un primer paso hacia el desarrollo en la Argentina de la industria del mejoramiento de plantas ornamentales aprovechando los recursos fitogenéticos nativos. Actualmente cuenta con cultivares propios que fueron obtenidos utilizando herramientas clásicas de mejoramiento genético como cruzamientos interespecíficos y la selección de genotipos “elite” que luego son propagados en forma agámica mediante el enraizamiento de esquejes (Soto *et al.*, 2011). Debido a que la industria de las plantas ornamentales se encuentra permanentemente en la búsqueda de novedades, estos nuevos cultivos resultan de gran utilidad para aquellos productores que buscan diversificar sus cultivos y así incrementar su participación en el mercado.

En el IF se han realizado con éxito cruzamientos interespecíficos en los géneros *Tecoma* (Kobayashi *et al.*, 2004), *Tabebuia* (Facciuto *et al.*, 2007; Facciuto *et al.*, 2008), *Passiflora* (Bugallo *et al.*, 2011), *Nierembergia* (Soto, 2007; Soto *et al.*, 2007), *Calibrachoa* (Facciuto *et al.*, 2004), *Alstroemeria* (Pakoca *et al.*, 2021), *Glandularia* (Bologna, 2018) y *Mecardonia* (Greppi, 2012).

Aportes al mejoramiento genético del género *Mecardonia* con fines ornamentales

Taxonomía

Mecardonia Ruiz & Pavon (1794) es un género americano perteneciente a la tribu *Gratiroleae* (*Plantaginaceae*). El género está integrado por hierbas anuales o perennes con hábito reptante o decumbente, rara vez erecto, ramas y hojas glabras, pedicelos bibracteolados, flores normalmente amarillas, a veces blanquecinas o rosadas (en algunas poblaciones de *M. procumbens* var. *flagellaris*), y anteras con dos tecas separadas (D’Arcy, 1979). En el pasado, varias especies de *Mecardonia* fueron incluidas en géneros como *Bacopa*, *Herpestis*, *Pagesia* y *Gratiola* hasta que finalmente Rossow (1987) en su revisión del género lo delimita a 10 especies (Tabla 1), cinco de ellas nativas de Argentina, estableciendo la distribución del género desde la costa este de Estados Unidos hasta la Patagonia Argentina y Chile central. Este número de especies fue modificado por Souza (1997) y Souza & Giulietti (2009) quienes

sugieren que el género está conformado sólo por 7 especies (Tabla 1). Esta diferencia de tres especies respecto al número que había sido reconocido por Rossow (1987), se debe a que de acuerdo con la clasificación de Souza (1997), *M. flagellaris*, *M. tenella* y *M. caespitosa* representan variedades botánicas de *M. procumbens*. Recientemente, dos nuevas especies endémicas de la provincia de Corrientes, Argentina, fueron descriptas por investigadores del Instituto de Floricultura del INTA, *M. kamogawae* (Greppi y Hagiwara, 2011) y *M. reneeae* (Greppi *et al.*, 2017). De esta manera, el número total de especies de *Mecardonia* reconocidas en la actualidad asciende a 9, de las cuales 5 crecen en Argentina (Tabla 1).

Tabla 1. Especies y variedades de *Mecardonia* reconocidas actualmente.

Taxón	Nativa de Argentina
<i>M. acuminata</i> (Walt.) Small	No
<i>M. berroi</i> Marchesi	No
<i>M. exilis</i> (Brand.) Pennell	No
<i>M. grandiflora</i> (Benth.) Pennell	Sí
<i>M. kamogawae</i> Greppi & Hagiwara	Sí*
<i>M. procumbens</i> (Mill.) Small var. <i>procumbens</i>	Sí
<i>M. procumbens</i> (Mill.) Small var. <i>caespitosa</i> (Cham.) V.C. Souza	No
<i>M. procumbens</i> (Mill.) Small var. <i>flagellaris</i> (Cham. & Schltdl.) V.C. Souza	Sí
<i>M. procumbens</i> (Mill.) Small var. <i>herniarioides</i> (Cham.) V.C. Souza	Sí
<i>M. procumbens</i> (Mill.) Small var. <i>tenella</i> (Cham. & Schltdl.) V.C. Souza	Sí
<i>M. pubescens</i> Rossow	No
<i>M. reneeae</i> Greppi & Sosa	Sí*
<i>M. serpylloides</i> (Cham. & Schltdl.) Pennell	Sí

*Especie endémica de Argentina.

Estudios citológicos e implicancia taxonómica

Los estudios citológicos proveen información valiosa para llevar a cabo análisis taxonómicos y evolutivos, siendo de suma importancia también para ser usados en procesos de mejoramiento genético convencional o biotecnológico (Poggio *et al.*, 2004). Los números cromosómicos son considerados un carácter importante para delimitar géneros, especies y analizar las relaciones entre éstas (Guerra, 2008).

Debido a la reciente valoración de *Mecardonia* como cultivo ornamental, la información sobre su genoma es de vital importancia para la planificación de un adecuado programa mejoramiento para potenciar sus características ornamentales.

En *Mecardonia*, Lewis *et al.* (1962) reportan el número cromosómico $2n=44$ para la especie norteamericana *M. acuminata* y Kaul (1969) da a conocer el número cromosómico $2n=22$ para *M. procumbens* var. *procumbens*. Más recientemente, Mini *et al.* (2013) y Sosa *et al.* (2016), llevaron a cabo estudios en los cuales realizan el conteo del número cromosómico de algunas especies y variedades de *Mecardonia* que habitan en Argentina. En estos trabajos, se confirma que el número básico de cromosomas en *Mecardonia* es 11 y que *M. procumbens* var. *procumbens*, *M. procumbens* var. *flagellaris*, *M. procumbens* var. *tenella* y *M. grandiflora* son especies diploides con $2n=22$, mientras que *M. kamogawae* es hexaploide con $2n=66$. La última especie identificada, *M. reneae*, es tetraploide con $2n=44$ (Tabla 2) (Greppi *et al.*, 2017).

El contenido de ADN también provee información de gran utilidad para la taxonomía y para los estudios vinculados a los programas de mejoramiento genético (Angulo y Dematteis, 2013). La metodología de determinación del contenido de ADN mediante el uso de equipos de citometría de flujo es ampliamente utilizada con diversos objetivos de investigación básica y aplicada (Doležel y Bartos, 2005; Leitch y Bennett, 2004). Sosa *et al.* (2016) analizaron los contenidos de ADN de algunas especies de *Mecardonia* y observaron diferencias entre ellas, incluso entre las variedades de *M. procumbens*, de las cuales *M. procumbens* var. *tenella* presenta el genoma con el menor contenido de ADN (Tabla 2).

Tabla 2. Números cromosómicos, niveles de ploidía y contenidos de ADN de algunas especies de *Mecardonia* nativas de Argentina.

Taxón	2n	Nivel de ploidia	Contenido de ADN (pg)*
<i>M. procumbens</i> var. <i>procumbens</i>	22	2x	1,91
<i>M. procumbens</i> var. <i>flagellaris</i>	22	2x	2,06
<i>M. procumbens</i> var. <i>tenella</i>	22	2x	1,52
<i>M. grandiflora</i>	22	2x	2,05
<i>M. kamogawae</i>	66	6x	5,29
<i>M. reneae</i>	44	4x	3,7

*pg: Picogramos

Biología floral

El conocimiento de los mecanismos reproductivos de un cultivo, el momento de apertura de las flores o antesis, la dehiscencia de anteras, la viabilidad del polen y la receptividad del estigma constituyen aspectos básicos para poder proyectar convenientemente un plan de mejora (Smith, 1986).

Las especies del género *Mecardonia* poseen flores zigomorfas de alrededor de 1 cm de longitud, solitarias, axilares, sub-sésiles hasta largamente pediceladas con dos bractéolas en la base del pedicelo. El cáliz cubre aproximadamente la mitad inferior de la corola o un poco más y está formado por 5 sépalos imbricados y desiguales, siendo generalmente, el dorsal de mayor tamaño y forma oblonga, mientras que los dos laterales y el interno son más pequeños y lineares. La corola es gamopétala y bilabiada con el labio inferior 3-lobado y con un mechón de pelos claviformes en la cara interna del labio posterior, rara vez también presentan pelos claviformes o no claviformes en el labio inferior. El androceo posee 4 estambres didínamos, dos largos y dos cortos. El gineceo es súpero, glabro; el estilo es recto y el estigma es bilamelado y algo curvado. El fruto es una pequeña cápsula septicida, 2-valvada, dehiscente, de entre 5 y 8 mm de largo con alrededor de 400 semillas endospermadas, muy pequeñas, de aproximadamente 0,5 mm, rugosas y de color castaño oscuro (Rossow, 1987). Si bien no existen estudios que aborden la biología floral de todas las especies de *Mecardonia*, hay bibliografía referida a dos de ellas y, teniendo en cuenta la similitud morfológica entre las flores de las distintas especies, es posible inferir que el síndrome de polinización es idéntico en todas las especies del género. Cappellari (2003), afirma que *M. tenella* es una especie de polinización entomófila, siendo uno de sus visitantes los machos de *Euglossa mandibularis* (Hymenoptera). Asimismo, se ha observado que todas las especies evaluadas de *Mecardonia* son muy visitadas por abejas (Figura 1).

Faye *et al.* (2002) incluyen a *M. procumbens* en su relevamiento de la flora apícola para el sureste de la provincia de Córdoba, Argentina. Las flores de *M. tenella* no producen néctar, pero son portadoras de elaióforos (Cappellari, 2003). Estas glándulas productoras de aceites se encuentran en los ápices de los tricomas que poseen todas las especies de *Mecardonia* en la base del labio posterior de la corola. Estos aceites y el polen serían las únicas recompensas florales (Cappellari, 2003). En base al estudio de la disposición de las estructuras florales durante su desarrollo, se concluyó que debido a la posición del estigma en relación al primer par de anteras (superior), sería teóricamente posible la autopolinización (Cappellari, 2003). Sin embargo, este autor descarta la posibilidad de autogamia debido a que la actividad simultánea (i.e. viabilidad del polen y receptividad del estigma) de estos órganos ocurre sólo en una minoría de las flores analizadas y únicamente durante unos pocos días antes de la antesis. Si bien estos datos sugieren que las especies de *Mecardonia* serían autoincompatibles, aún no han sido bien estudiadas y al momento de llevar a cabo cruzamientos dirigidos será necesario tomar precauciones realizando la emasculación de las flores polinizadas. Del mismo modo, al tratarse de especies de polinización entomófila, se deberá estudiar previamente la receptividad del estigma en distintos momentos del desarrollo floral y remover las corolas para evitar la visita de los polinizadores y posibles contaminaciones con polen de otras plantas de *Mecardonia* distintas a la utilizada en el cruzamiento dirigido.



Figura 1. Abeja actuando como agente polinizador sobre flores de *Mecardonia*.

Estudios de compatibilidad reproductiva entre las especies de *Mecardonia* que crecen en Argentina

Estudios de autocompatibilidad en especies y variedades argentinas de *Mecardonia* (*M. procumbens* var. *procumbens*, *M. procumbens* var. *flagellaris*, *M. procumbens* var. *tenella*, *M. grandiflora*, *M. kamogawae* y *M. reneeae*) confirman que las mismas son autoincompatibles (Greppi, 2017; Greppi *et al.*, 2017). Gracias a esta característica, no es necesario emasculiar las flores para llevar a cabo los cruzamientos dirigidos. Sin embargo, a los fines de evitar la atracción de insectos polinizadores, antes de realizar los cruzamientos es necesario remover la corola de la flor. Al realizar esta tarea, indirectamente se produce la emasculación de las flores debido a que el androceo se encuentra soldado a la corola. Asimismo, las flores a polinizar deben ser seleccionadas en su estadio de pimpollo, previo a la antesis floral y estando maduro y receptivo el estigma. De esta manera, es posible tener certeza de que las flores no fueron polinizadas previamente por insectos.

Las cantidades de frutos y semillas y la obtención de híbridos fértiles al llevar a cabo cruzamientos recíprocos entre las variedades *M. procumbens* var. *procumbens* y *M. procumbens* var. *flagellaris*, demuestran que no existen barreras a la hibridación entre ellas en ningún sentido, confirmando su afinidad genética (Tabla 3) (Greppi, 2017). Este resultado concuerda con el estudio morfológico realizado por Souza (1997), justificando el tratamiento taxonómico de estas dos entidades a nivel varietal y no a nivel específico como lo sugiere Rossow (1987).

Tabla 3: Tabla de cruzamientos entre las variedades de *Mecardonia*.

Combinación	Obtención de híbridos	Híbrido fértil	Valor ornamental
MPP x MPF	Sí	Sí	Sí (b)
MPP x MPT	Sí (a)	No	No
MPP x MG	No	-	-
MPP x MK	No	-	-
MPP x MR	No	-	-
MPF x MPP	Sí	Sí	Sí (b)
MPF x MPT	Sí (a)	No	No
MPF x MG	No	-	-
MPF x MK	No	-	-
MPF x MR	No	-	-
MPT x MPP	No	-	-
MPT x MPF	No	-	-
MPT x MG	No	-	-
MPT x MK	No	-	-
MPT x MR	No	-	-
MG x MPP	No	-	-
MG x MPF	No	-	-
MG x MPT	No	-	-
MG x MK	No	-	-
MG x MR	No	-	-
MK x MPP	No	-	-
MK x MPF	No	-	-
MK x MPT	No	-	-
MK x MG	No	-	-
MK x MR	No	-	-
MR x MPP	No	-	-
MR x MPF	No	-	-
MR x MPT	Sí (a)	No	Sí
MR x MG	No	-	-
MR x MK	No	-	-

(a) escasas semillas por fruto y germinación pobre. (b) Si bien el valor ornamental es bajo, utilizando genotipos de *M. procumbens* var. *flagellaris* con color de flor diferente al amarillo (existen poblaciones con flores rosadas o blanquecinas), el híbrido hereda dicha característica. Siglas representativas de los taxa utilizados en los cruzamientos: MPP = *M. procumbens* var. *procumbens*. MPF = *M. procumbens* var. *flagellaris*. MPT = *M. procumbens* var. *tenella*. MG = *M. grandiflora*. MK = *M. kamogawae*. MR = *M. reneae*.

Cuando *M. procumbens* var. *tenella* fue utilizada como parental femenino, esta variedad resultó incompatible con todas las demás especies y variedades nativas. No obstante, esta incompatibilidad fue unilateral, debido a que fue posible obtener híbridos cuando esta variedad

fue utilizada como parental masculino en cruzamientos con *M. procumbens* var. *procumbens*, *M. procumbens* var. *flagellaris* y *M. reneae* (Tabla 3). Sin embargo, existe cierto grado de incompatibilidad reproductiva en estas combinaciones debido a que las probabilidades de éxito en los cruzamientos y la cantidad de semillas por fruto resultaron notablemente inferiores respecto de los cruzamientos intraespecíficos y los híbridos obtenidos fueron estériles en todos los casos. Esto sugiere que *M. procumbens* var. *tenella* se encuentra genéticamente aislada del resto de las especies de *Mecardonia* evaluadas e incluso de las otras dos variedades de su misma especie. Un análisis de marcadores ISSR en individuos de *M. procumbens* var. *tenella* y *M. procumbens* var. *flagellaris* mostró que los individuos se separaron en clados bien diferenciados (Pérez de la Torre *et al.*, 2010), al igual que los resultados del estudio morfológico de Rossow (1987) en el cual *M. procumbens* var. *tenella* es considerada como una especie diferente, bajo el binomio *M. tenella* (Cham. & Schltdl.) Pennell. Los resultados obtenidos en los cruzamientos dirigidos (Tabla 3) refuerzan el tratamiento de *M. tenella* como una especie válida, separada del complejo varietal de *M. procumbens*.

Las especies *M. grandiflora* y *M. kamogawae*, fueron totalmente incompatibles con el resto de las especies evaluadas, lo cual dificultó su utilización en los programas de mejoramiento genético basados en cruzamientos interespecíficos (Tabla 3).

Mecardonia reneae es una especie tetraploide y se encuentra suficientemente aislada genéticamente del resto de las especies evaluadas, presentando cierto grado de compatibilidad reproductiva sólo con *M. procumbens* var. *tenella* (Tabla 3) (Greppi *et al.*, 2017).

Los híbridos producidos por las combinaciones: *M. procumbens* var. *procumbens* x *M. procumbens* var. *flagellaris*, *M. procumbens* var. *flagellaris* x *M. procumbens* var. *procumbens* y *M. procumbens* var. *flagellaris* x *M. procumbens* var. *tenella* y *M. procumbens* var. *procumbens* x *M. procumbens* var. *tenella* carecen de valor ornamental debido a sus largos tallos rastreros, radicales y con entrenudos largos. Sin embargo, la variabilidad de color de flor y la fertilidad de los híbridos producidos entre las variedades *M. procumbens* var. *procumbens* y *M. procumbens* var. *flagellaris*, cuando de esta última especie se utilizan genotipos de las poblaciones con color de flor rosado o blanquecino, podría ser utilizada para la creación de nuevos cultivares con nuevos colores de flor, siendo ésta una característica necesaria para el crecimiento comercial de este cultivo.

Las evaluaciones llevadas a cabo sobre la descendencia sugieren que los híbridos con mayor potencial ornamental corresponden a la combinación *M. reneae* x *M. procumbens* var. *tenella* debido a su porte compacto, llamativa y abundante floración y a su período de floración temprano y prolongado, muy apropiado acorde al ciclo de producción del cultivo. Asimismo, la esterilidad de estos híbridos resulta muy apropiada a los fines comerciales (Figuras 2-3).

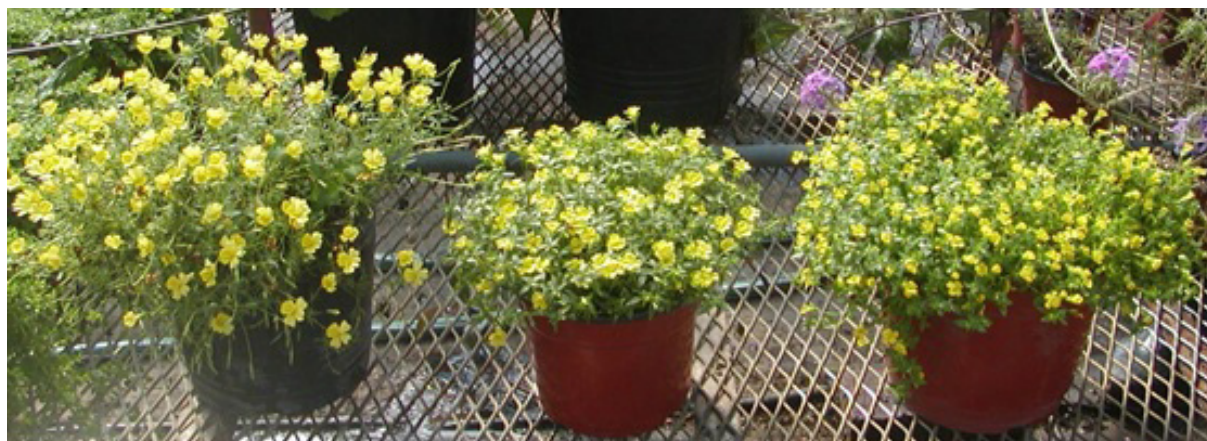


Figura 2. *Mecardonia reneae* (izquierda), *M. procumbens* var. *tenella* (derecha) y el híbrido obtenido de la combinación de dichas especies (centro).

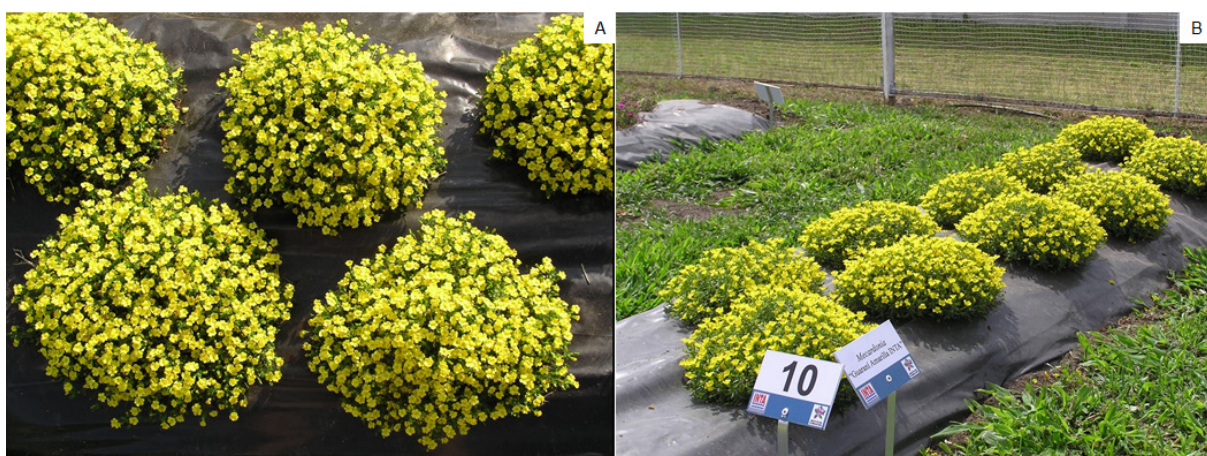


Figura 3. Híbrido obtenido de la combinación *Mecardonia reneae* x *M. procumbens* var. *tenella* en parcela de evaluación.

La esterilidad de todos los híbridos obtenidos en los cruzamientos realizados pone de manifiesto que, utilizando la metodología clásica de mejoramiento mediante cruzamientos sexuales, no sería posible avanzar más allá de una primera generación (F1). En caso de existir interés en la realización de retrocruzas o cruzamientos entre plantas F1 para la obtención de una segunda generación (F2), será necesario primero revertir la esterilidad de los híbridos seleccionados como parentales. Esta tarea puede lograrse mediante metodologías que duplican el número cromosómico mediante el uso de sustancias como colchicina, orizalina o amiprofos-metil (Ramulu *et al.*, 1991).

Los estudios de las características genéticas de las especies de *Mecardonia* utilizadas y sus relaciones de compatibilidad reproductiva, han permitido diagramar correctamente un programa de mejoramiento basado en cruzamientos interespecíficos.

Obtención y comercialización de cultivares ornamentales de *Mecardonia*

Los híbridos del género *Mecardonia* obtenidos por cruzamientos dirigidos han tenido impacto a nivel mundial por tratarse de una novedad como cultivo ornamental. A través de convenios de vinculación tecnológica con la empresa japonesa Sakata, tres de las primeras siete variedades de *Mecardonia* obtenidas; “Yellow Crossite”, “Magic Carpet Yellow” y “Yellow Jewel” se cultivan y comercializan en EE.UU., Canadá, Unión Europea y Japón (Figura 4 A, B, C). Otras cuatro variedades: “Poty Amarilla INTA”, “Guaraní Amarilla INTA”, “Tatarendy Melocotón INTA” y “Kambá Clara INTA” fueron registradas en el Registro Nacional de Cultivares del INASE por el INTA para iniciar su transferencia al sector florícola argentino y actualmente, su cultivo empieza a captar el interés de los productores (Figura 5 A, B, C, D). Actualmente, estos cultivares y otros pocos de empresas extranjeras del sector hortícola-ornamental como Suntory y Proven Winners, presentan variabilidad principalmente en el porte y en el tamaño de las flores, las cuales son amarillas. Por lo tanto, la incorporación de nuevas características, como la gama de colores de flor, es de fundamental importancia para el crecimiento de *Mecardonia* como cultivo ornamental.



Figura 4. A) Imagen de catálogo del cultivar ‘Yellow Crossite’ INTA-Sakata comercializado en Japón. B) Imagen de catálogo del cultivar “Yellow Jewel” INTA-Sakata comercializado en Japón.



Figura 5. A) Cultivar “Poty Amarilla INTA”. B) Cultivar “Guaraní Amarilla INTA”. C) Cultivar “Tatarendy Melocotón INTA”. D) Cultivar “Kambá Clara INTA”.

Mejoramiento de *Mecardonia* a través del uso de una herramienta no convencional

Transformación con *Agrobacterium rhizogenes* salvaje

En la industria de plantas ornamentales el aspecto compacto de las plantas es una característica de calidad relevante. Plantas más compactas y homogéneas son preferidas por los consumidores, al mismo tiempo que simplifican el transporte y minimizan los daños. Los productores suelen podar las plantas de acuerdo al cultivo y en muchos países se utilizan reguladores del crecimiento vegetal como, por ejemplo, inhibidores de las respuestas a las giberelinas (Milošević *et al.*, 2015). Sin embargo, la poda es laboriosa, insume mucha mano de obra costosa y el uso de químicos puede producir efectos negativos a las plantas, a las personas que aplican estos productos y al medioambiente (Lütken *et al.*, 2012; Milošević *et al.*, 2015). Muchas de las especies de *Mecardonia* que crecen en Argentina tienen entrenudos muy largos que, a pesar de haberse reducido a través de cruzamientos interespecíficos en algunos de los híbridos generados, en otras ocasiones esto no ha sido posible. Una de las barreras más importantes, como se mencionó previamente, es

la incompatibilidad reproductiva, la cual dificulta o imposibilita totalmente la obtención de híbridos (De Nettancourt, 2005). También han sido frecuentes los problemas de esterilidad en los híbridos obtenidos.

Una estrategia alternativa consiste en producir plantas más compactas y estables a través de la introducción de genes *rol* presentes en cepas salvajes de *Agrobacterium rhizogenes*, los cuales son incorporados e integrados al genoma vegetal a través de un proceso natural de transformación genética. Este proceso involucra la infección de órganos de la planta, como por ejemplo tallos u hojas con dichas bacterias y la transferencia e integración estable de un T-DNA (*transfer DNA*) en un cromosoma al azar. Para ello, las cepas de *A. rhizogenes* cuentan con un plásmido Ri (Root-inducing) que presenta los genes que permiten la transferencia del T-DNA al núcleo de células vegetales. En dicho T-DNA se encuentran presentes los genes *rolA-D*, entre otros, capaces de mostrar expresión en la planta. Luego de la transformación, en los sitios de infección suelen desarrollarse raíces pilosas (*hairy roots*) que son capaces de crecer en medios de cultivo en ausencia de hormonas vegetales. Las cepas de *A. rhizogenes* patógenas están asociadas a la enfermedad de raíz pilosa (*hairy root syndrome* o *hairy root disease*) (Cardarelli *et al.*, 1987; Christensen y Müller, 2009; Milošević *et al.*, 2015; Slightom *et al.*, 1986). Bajo condiciones controladas, es posible regenerar vástagos a partir de las raíces pilosas, muchas veces utilizando hormonas vegetales incorporadas exógenamente a los medios de cultivo. Tanto las raíces pilosas como las plantas regeneradas a partir de dichas raíces presentan normalmente alteraciones en el crecimiento celular y el desarrollo, asociados a la expresión en la planta de los genes bacterianos (Alpizar *et al.*, 2008; Casanova *et al.*, 2005; Christensen y Müller, 2009; Milošević *et al.*, 2015; Prinsen *et al.*, 1994; Schmülling *et al.*, 1993). Las plantas obtenidas suelen ser más compactas, debido a la reducción de la longitud de los entrenudos, entre otras modificaciones morfológicas y fisiológicas como la reducción de la dominancia apical y tamaño de las hojas, mayor formación de raíces adventicias y secundarias, cambios en la morfología de las hojas y flores, tiempo a floración, entre otras características. Las modificaciones generadas dependen fuertemente de la interacción entre los genes bacterianos que son transferidos y la genética de la planta que es transformada (Christensen *et al.*, 2008; Giovannini *et al.*, 1997; Godo *et al.*, 1997; Holefors *et al.*, 1998; Lütken *et al.*, 2012; Milošević *et al.*, 2015; Mishiba *et al.*, 2006; Schmülling *et al.*, 1988; Tepfer, 1984, 1990; Welandar *et al.*, 2004).

El uso de cepas salvajes de *A. rhizogenes* presenta la ventaja de que las putativas líneas transformadas pueden ser seleccionadas por el fenotipo característico de las raíces pilosas que se producen en los sitios de infección, constituyendo una selección libre de antibióticos o herbicidas, como es característico en las transformaciones clásicas que involucran el uso de ingeniería genética (Christey, 2001; Lütken *et al.*, 2012; Roychowdhury *et al.*, 2013). De esta manera, otra de las ventajas radica en que las plantas obtenidas por este método no son consideradas organismos vegetales genéticamente modificados (OVGM, del inglés: *GMOs*) en EE.UU. (USDA APHIS, 7 CFR part 340), Japón (Mishiba *et al.*, 2006)

y Argentina (SAGYP N°701/11), porque son producidas por un proceso de transformación que no involucra técnicas de ADN recombinante in vitro, debido a que se utilizan cepas salvajes. De hecho, las cepas silvestres pueden transformar plantas en el ambiente, como ha sido observado en cultivares de batata, en donde la transformación ha ocurrido durante el proceso de domesticación de dicho cultivo (Kyndt *et al.*, 2015). En la Unión Europea, según la legislación actual, las plantas generadas por este método no son consideradas OVGM (European Union, 2001; Lütken *et al.*, 2012a; Lütken *et al.*, 2012b).

En el IF, se evaluó la capacidad de una cepa salvaje de *A. rhizogenes* (ATCC15834) de producir crecimiento más compacto en *Mecardonia*, a través de la transformación del cultivar 'Guaraní Amarilla INTA'. En dicho trabajo, se estudió la capacidad de transformación, regeneración y las alteraciones morfológicas producidas en las plantas (Pérez de la Torre *et al.*, 2018). Raíces adventicias fueron generadas desde los sitios de infección producidos en los entrenudos de plantas cultivadas in vitro. Veinte líneas independientes de raíces pilosas fueron obtenidas, las cuales regeneraron espontáneamente vástagos en medio de cultivo ausente de hormonas vegetales. Fueron seleccionadas cuatro líneas en base a su grado de compacidad diferencial, para estudiar in vitro y en invernadero sus aptitudes ornamentales en comparación con plantas control (Pérez de la Torre *et al.*, 2018). Bajo condiciones de invernadero, las líneas modificadas presentaron reducción en la longitud de entrenudos y tallos, en la biomasa aérea y radicular, en la cobertura aérea, en el área foliar, en el tamaño de las flores y en el número de flores por planta. A su vez, se incrementaron el número de nudos, las ramificaciones laterales, la densidad de flores por unidad de superficie y el tamaño de las flores en relación a la superficie cubierta, sin modificar en general el tiempo a floración (Figura 6). A través de esta estrategia de mejoramiento, un crecimiento más compacto y estéticamente más ordenado pudo ser obtenido, incrementándose el valor ornamental. Actualmente, se están preparando los registros para su comercialización en Argentina de dos cultivares de *Mecardonia* modificados a través de este método.

CONCLUSIONES

Los estudios taxonómicos, citológicos y las relaciones de compatibilidad reproductiva entre las especies y variedades de *Mecardonia* nativas de Argentina, permitieron avanzar en los programas de mejoramiento del género, logrando una serie de cultivares que se comercializan en Argentina y en el exterior. Debido a que todos los híbridos interespecíficos son estériles, la transformación genética con *A. rhizogenes* se presenta como una herramienta de gran potencial para obtener cultivares más compactos, resultando esta característica sumamente necesaria principalmente para aquellos híbridos que presenten colores de flor diferentes al amarillo pero que debido a su porte poco compacto poseen escaso valor ornamental. Por este motivo, la transformación genética permitiría, indirectamente, ampliar la gama de colores de flor en el cultivo.

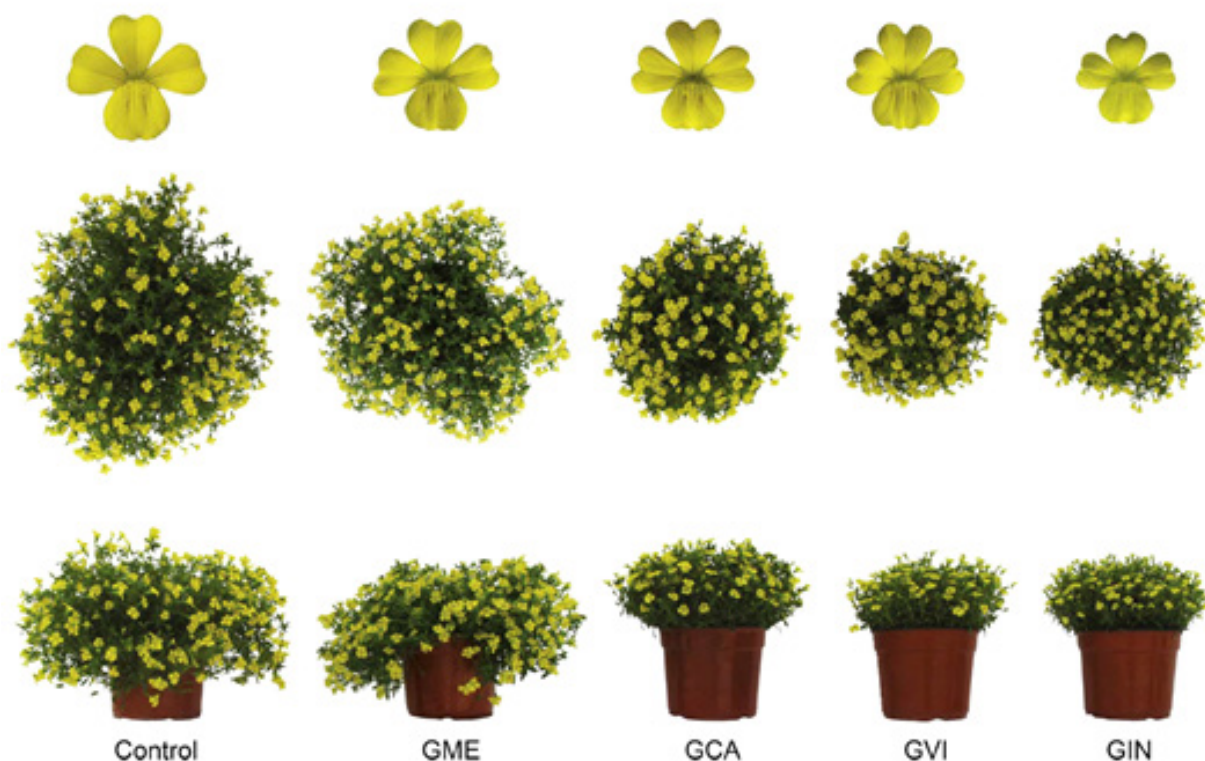


Figura 6. Vista aérea y lateral de plantas de 4 meses de edad en macetas de 14 cm de diámetro. Imágenes representativas de las flores y de plantas del cultivar 'Guaraní Amarilla INTA' (control) y de cuatro líneas modificadas (GME, GCA, GVI y GIN). Figura adaptada de Pérez de la Torre *et al.* (2018).

REFERENCIAS

- ALPIZAR, E. ; DECHAMP, E. ; LAPEYRE-MONTES, F. ; GUILHAUMON, C. ; BERTRAND, B. ; JOURDAN, C.; LASHERMES, P.; ETIENNE, H. 2008. *Agrobacterium rhizogenes*-transformed roots of coffee (*Coffea arabica*): conditions for long-term proliferation, and morphological and molecular characterization. Ann. Bot. 101, 929-940.
- ANGULO, M.B.; DEMATTEIS, M. 2013. Nuclear DNA content in some species of *Lessingianthus* (*Vernonieae*, *Asteraceae*) by flow cytometry. Journal of Plant Research 126, 461-468.
- BOLOGNA, P. 2018. Nuevos cultivares de *Glandularia* obtenidos en Argentina. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 44 (2): 136-139.
- BUGALLO, V.; PANNUNZIO, M. J.; CARDONE, S.; FACCIUTO, G. 2011. Breeding Advances in *Passiflora* Native to Argentina. Floriculture and Ornamental Biotechnology, Global Science Books, UK. 5 (1): 23-34. ISSN: 1749-0294.

- CAPPELLARI, S.C. 2003. Blüten von *Mecardonia tenella* (Scrophulariaceae) als alternative Duftstoff-Trachtquelle für Männchen von *Euglossa mandibularis* (Apidae: Euglossini). <http://www.pro-araucaria-online.com/assets/applets/Cappellari-2003.pdf>, verificado: 18/03/2021.
- CARDARELLI, M.; MARIOTTI, D.; POMTPONI, M.; SPANÒ, L.; CAPONE, I.; COSTANTINO, P. 1987. *Agrobacterium rhizogenes* T-DNA genes capable of inducing hairy root phenotype. Mol. Gen. Genet. 209, 475-480.
- CASANOVA, E.; TRILLASA, M.I.; MOYSSETA, L.; VAINSTEIN, A. 2005. Influence of *rol* genes in floriculture. Biotechnol. Adv. 23, 3-39.
- CHRISTENSEN, B.; MÜLLER, R. 2009. The use of *Agrobacterium rhizogenes* and its *rol*-genes for quality improvement in ornamentals. Eur. J. Hort. Sci. 74 (6), 275-287.
- CHRISTENSEN, B.; SRISKANDARAJAH, S.; SEREK, M.; MÜLLER, R. 2008. Transformation of *Kalanchoe blossfeldiana* with *rol*-genes is useful in molecular breeding towards compact growth. Plant Cell. Rep. 27, 1485-1495.
- CHRISTEY, M.C. 2001. Use of Ri-mediated transformation for production of transgenic plants. In Vitro. Cell. Dev. Biol. Plant. 37, 687-700.
- D' ARCY, WG. 1979. Scrophulariaceae in Flora of Panama. Annals of the Missouri Botanical Garden 66 (2), 173-272.
- DOLEŽEL, J.; BARTOS, J. 2005. Plant DNA flow cytometry and estimation of nuclear genome size. Annals of Botany 95, 99-110.
- FACCIUTO, G.; COVIELLA, A.; BOLOGNA, P.; PANNUNZIO, S.; SOTO, S. 2007. Hibridization between pink and yellow *Tabebuia* species native to Argentina (Bignoniaceae). Acta Horticulturae 813, 127-132.
- FACCIUTO, G.; HAGIWARA, J.C.; SOTO, M.S.; MATA, D.; BUALO, R.; MORISIGUE, D.; ESCANDON, A.; KAMOGAWA, T.; BULLRICH, L. 2004. Evaluación de plantas nativas herbáceas para uso en cantero. II Congreso Argentino de Floricultura y Plantas Ornamentales. Buenos Aires. Libro de resúmenes: pp 457-461.
- FACCIUTO, G.; SOTO, S.; MALDONADO, S. 2008. Domestication and breeding of ornamental plant native to Argentina. The cases of *Tabebuia* and *Nierembergia* genera. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology. Advances and Topical Issues. Vol. 5, 164-170.
- FAYE, P.F.; PLANCHUELO, A. M. y MOLINELLI, M. L. 2002. Relevamiento de la flora apícola e identificación de cargas de polen en el sureste de la provincia de Córdoba, Argentina. Agriscientia Vol. XIX, 19-30.

- GIOVANNINI, A.; PECCHIONI, N.; RABAGLIO, M.; ALLAVENA, A. 1997. Characterization of ornamental *Datura* plants transformed by *Agrobacterium rhizogenes*. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 33, 101-106.
- GODO, T.; TSUJII, O.; ISHIKAWA, K.; MII, M. 1997. Fertile transgenic plants of *Nierembergia scoparia* Sendtner obtained by a mikimopine type strain of *Agrobacterium rhizogenes*. Sci. Hortic. 68, 101-111.
- GREPPI, J., SOSA, M., de las, M., DEMATTEIS, M. 2017. A new polyploid species of *Mecardonia* (Gratioleae, *Plantaginaceae*) from South America. Phytotaxa 303 (3), 264-270.
- GREPPI, J.A. 2012. Manual de cultivo de *Mecardonia*. Variedades comerciales: 'Poty Amarilla INTA' y 'Guaraní Amarilla INTA'. Instituto de Floricultura, 9 pp.
- GREPPI, J.A.; HAGIWARA, J.C. 2011. Una nueva especie de *Mecardonia* (*Plantaginaceae*). Darwiniana 49 (1).
- GUERRA, M. 2008. Chromosome numbers in plant cytotaxonomy: concepts and implications. Cytogenetic Genome Research 120, 339–350.
- HOLEFORS, A.; XUE, Z.T.; WELANDER, M. 1998. Transformation of the apple rootstock M26 with the *rolA* gene and its influence on growth. Plant Sci. 136, 69-78.
- KAUL, M.L.H. 1969. Cytogenetical studies on ecological races of *Mecardonia dianthera* (SW) Pennell I. Cytology, floral-biology and pollination mechanism. Cytologia 34, 169-177.
- KOBAYASHI, N.; HAGIWARA, J. C.; MIYAJIMA I.; FACCIUTO, G.; SOTO, S.; MATA, D.; ESCANDON, A. 2004. A New Pot Plant Variety Bred by Interspecific Crossing between *Tecoma stans* (L.) H. B. K. and *T. garrocha* Hieron. J. Japan Soc. Hort. Sci. 73 (1), 69-71.
- KYNDT, T.; QUISPE, D.; ZHAI, H.; JARRET, R.; GHISLAIN, M.; LIU, Q.; GHEYSEN, G. 2015. The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: an example of a naturally transgenic food crop. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 112 (18), 5844-5849.
- LEITCH, I.J., BENNETT, M.D. 2004. Genome downsizing in polyploid plants. Biological Journal of Linn. Soc. 82, 651-663.
- LÜTKEN, H.; CLARKE, J.L.; MÜLLER, R. 2012a. Genetic engineering and sustainable production of ornamentals: current status and future directions. Plant Cell Rep. 31 (7), 1141-1157.
- LÜTKEN, H., WALLSTRÖM, S.V., JENSEN, E.B. et al. 2012b Inheritance of *rol*-genes from *Agrobacterium rhizogenes* through two generations in *Kalanchoë*. *Euphytica* 188, 397–407. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0701-5>, verificado: 18/03/2021.

- MILOŠEVIĆ, S.; CINGEL, A.; SUBOTIĆ, A. 2015. *Agrobacterium*-mediated transformation of ornamental species: a review. *Genetika* 47 (3), 1149-1164.
- MISHIBA, K.; NISHIHARA, M.; ABE, Y.; NAKATSUKA, T.; KAWAMURA, H.; KODAMA, K.; TAKESAWA, T.; ABE, J.; YAMAMURA, S. 2006. Production of dwarf potted gentian using wild-type *Agrobacterium rhizogenes*. *Plant Biotechnol.* 23, 33-38.
- De NETTANCOURT, D. 2005. Incompatibility and Incongruity. En: *Wild and Cultivated Plants*. Berlin. Springer.
- PAKOCA, C.; BUGALLO, V.; FACCIUTO, G. 2021. Mejoramiento genético de *Alstroemeria* en Argentina: Obtención de híbridos a través de rescate de embriones. *Revista FAVE. Ciencias Agrarias* 20 (1), 133-145.
- PÉREZ DE LATORRE, M.C.; FERNANDEZ, P.; GREPPI, J.A.; COVIELLA, M.A.; FERNÁNDEZ, M.N.; ASTIGUETA, F.; MATA, D.A.; TRUPKIN, S.A. 2018. Transformation of *Mecardonia* (*Plantaginaceae*) with wild-type *Agrobacterium rhizogenes* efficiently improves compact growth, branching and flower related ornamental traits. *Sci. Hortic.* 234, 300-311.
- PÉREZ DE LA TORRE, M.C.; ZIRILLI, P.; ULRICH, N.; SETTEN, L.; ESCANDÓN, A. 2010. Caracterización molecular en el género *Mecardonia* Ruiz & Pav. (*Plantaginaceae*) utilizando marcadores ISSR. *Rev. La Fac. Agron. La Plata* 109, 23–30.
- PRINSEN, E.; CHRIQUI, D. ; VILAINE, F.; TEPFER, M. ; VAN ONCKELEN, H. 1994. Endogenous phytohormones in tobacco plants transformed with *Agrobacterium rhizogenes* pRi TLDNA genes. *J. Plant Physiol.* 144, 80-85.
- RAMULU, K.S.; VERHOEVEN, H.A. & DIJKHUIS, P. 1991. Mitotic blocking, micronucleation, and chromosome doubling by oryzalin, amiprophos-methyl, and colchicine in potato. *Protoplasma* 160, 65-73.
- ROSSOW, R.A. 1987. Revisión del género *Mecardonia* (*Scrophulariaceae*). *Candollea* 42 (2), 431-474.
- ROYCHOWDHURY, D.; MAJUMDER, A.; JHA, S.; *et al.* 2013. *Agrobacterium rhizogenes*-mediated transformation in medicinal plants: prospects and challenges. En: Chandra, S. (Ed.), *Biotechnology for Medicinal Plants: Micropropagation and Improvement*. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 29-68.
- SÁNCHEZ-MONGE, E. 1993. Introduction, pp 3-5. En: *Plant Breeding. Principles and prospects*. M.D. Hayward, N.O. Bosemark, I. Romagosa (Eds.), 550 pp. Chapman & Hall. London.

- SCHMÜLLING, T.; FLADUNG, M.; GROSSMANN, K.; SCHEL, J. 1993. Hormonal content and sensitivity of transgenic tobacco and potato plants expressing single *rol* genes of *Agrobacterium rhizogenes* T-DNA. *Plant J.* 3, 371-382.
- SCHMÜLLING, T.; SCHELL, J.; SPENA, A. 1988. Single genes from *Agrobacterium rhizogenes* influence plant development. *EMBO J.* 7 (9), 2621-2629.
- SLIGHTOM, J.L.; DURAND-TARDIF, M.; JOUANIN, L.; TEPFER, D. 1986. Nucleotide sequence analysis of TL-DNA of *Agrobacterium rhizogenes* agropine type plasmid. *J. Biol. Chem.* 261, 108-121.
- SOSA, M.M.; ANGULO, M.B.; GREPPI, J.A.; BUGALLO, V. 2016. Chromosome numbers and ADN content in some species of *Mecardonia* (*Gratiolae*, *Plantaginaceae*). *Cytogenetics* 10 (4), 769-780.
- SOTO, M.S. 2007. Estudios de las relaciones interespecíficas en el género *Nierembergia*, como herramientas del mejoramiento. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 205 pp.
- SOTO, M.S.; BULLRICH, L.; PANNUNZIO, M.; BOLOGNA, P.; FACCIUTO, G. 2007. Interspecific hybridization in *Nierembergia*: a source of variation. *Acta Horticulturae* 813, 407-412.
- SOTO, M.S.; GREPPI, J.A.; FACCIUTO, G. 2011. Exploration and Collection of Ornamental Germplasm Native to Argentina. *Floriculture and Ornamental Biotechnology* 5(1), 10-22.
- SOUZA, V.; GIULIETTI, A.M. 2009. Levantamento das espécies de *Scrophulariaceae* sensu lato nativas do Brasil. *Pesquisas Botânica* 60, 7-288.
- SOUZA, V.C. 1997. Consideraciones sobre la delimitación de *Mecardonia procumbens* (Mill.) Small (*Scrophulariaceae*). *Acta Botanica Brasilica* 11, 181-189.
- TEPFER, D. 1984. Transformation of several species of higher plants by *Agrobacterium rhizogenes*: sexual transmission of the transformed genotype and phenotype. *Cell* 37, 959-967.
- TEPFER, D. 1990. Genetic transformation using *Agrobacterium rhizogenes*. *Physiol. Plant.* 79, 140-146.
- WELANDER, M.; ZHU, L.H.; LI, X.Y. 2004. Transformation of dwarfing apple and pear rootstocks with the *rolB* gene and its influence on rooting and growth. *Acta Hortic.* 663, 437-442.

***Transferencia de nuevas
variedades al sector productivo***



INNOVACIÓN EN EL MERCADO FLORÍCOLA: ESTRATEGIAS DE TRANSFERENCIA AL SECTOR PRODUCTIVO DE VARIEDADES OBTENIDAS A PARTIR DE RECURSOS GENÉTICOS NATIVOS DE ARGENTINA

Gabriela Facciuto*, Carmen Stosic, Santiago Stancanelli, María Silvina Soto, Daniel Morisigue

Instituto de Floricultura INTA. Nicolas Repetto y de los Reseros s/n. Hurlingham Buenos Aires. Argentina

*Autor para correspondencia: facciuto.gabriela@inta.gob.ar

RESUMEN

Se presenta el proceso para la introducción en el mercado nacional de variedades ornamentales obtenidas en el Instituto de Floricultura a partir de recursos genéticos nativos, como una estrategia de innovación en el mercado florícola. Dado que se trata de novedades, y la adopción de las mismas no presenta antecedentes, se ha desarrollado una estrategia de transferencia que requirió modificaciones según la experiencia adquirida. Secuencialmente, las etapas del proceso consistieron en la transferencia de diferentes materiales vegetales. Primeramente, se realizó la transferencia de plantas madres a viveristas seleccionados, posteriormente fue la evaluación inicial de venta de plantines, seguido por la transferencia de esquejes sin enraizar y, por último, la entrega de plantas madres a una empresa especializada, con la firma de un Convenio de asistencia técnica. Estas modificaciones fueron propuestas de acuerdo al análisis continuo de los resultados obtenidos en cada etapa, y la influencia de factores internos y externos al proceso que ocasionó la selección de productores más tecnificados. La transferencia tecnológica se ha ido modificando de acuerdo a una acumulación de conocimiento que retroalimentó en forma permanente al sistema para la innovación siguiendo un modelo en espiral. Se puede considerar que las variedades ornamentales INTA han ingresado al mercado por encontrarse en producción y disponibles en una empresa productora de plantines, eslabón inicial de la cadena productiva y comercial florícola. Estas acciones, que se formalizarán en un futuro convenio, han logrado la introducción en el mercado de nuevas creaciones varietales a través de un proceso de innovación en el sector florícola.

Palabras clave: floricultura, propagación, transferencia de tecnología.

ABSTRACT

The process for innovation in the floriculture sector is presented through the introduction in the national market of ornamental varieties obtained in the Institute of Floriculture from native genetic resources. Given that these are novelties, and the adoption of these has no background, a transfer strategy has been developed that underwent modifications based on

the experience acquired. Sequentially, the stages consisted of delivery of mother plants to selected nurserymen, delivery of seedlings in trays to all the demanding public, delivery of unrooted cuttings and, finally, delivery of seedlings to obtain mother plants to a specialized company, with the signing of a technical assistance agreement. These modifications were proposed according to the continuous analysis of the results obtained in each stage, and the influence of internal and external factors to the process that caused the selection of more technified producers. The technological transfer has been modified according to an accumulation of knowledge that fed back into the system for innovation following a spiral model. It can be considered that INTA ornamental varieties have entered to the market because they are in production and available in a company that produces seedlings, an initial link in the floricultural production and commercial chain. These actions, which will be formalized in a future agreement, have achieved the market introduction of new varietal creations through a process of innovation in the floricultural sector.

Keywords: floriculture, propagation, technology transfer.

INTRODUCCIÓN

La literatura ofrece un variado conjunto de definiciones y términos relativos al concepto de innovación. La definición más acertada para el caso presentado en este trabajo podría ser la aportada por Rothwell (1992), quien define la innovación como “un proceso que incluye la técnica, el diseño, la fabricación y las actividades comerciales y de gestión implicadas en la venta de un nuevo producto o el uso de un nuevo proceso de fabricación o equipamiento”.

En el área de la floricultura, la innovación puede incluir un nuevo cultivo y/o variedad, técnicas de producción, marketing y/o aspectos organizacionales (Lambrecht *et al.*, 2015). A pesar de esta clasificación, las innovaciones a menudo están estrechamente relacionadas y son interdependientes (Beruto, 2013). En el caso de la transferencia de una nueva variedad ornamental para su introducción en el sector florícola, se debe recurrir a mecanismos que, además de entregar el material vegetal, aseguren una adecuada producción para la obtención de plantas de calidad. En la República Argentina, hasta el momento existe una sola organización, el Instituto de Floricultura (IF) del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), que trabaja en la investigación, desarrollo e innovación florícola, creando variedades ornamentales a partir de recursos genéticos nativos. Las actividades comerciales y de gestión implicadas en las ventas de nuevas variedades ornamentales utilizadas por organizaciones o empresas semilleras extranjeras, si bien sirven de guía, no pueden ser replicados dadas las diferencias existentes tanto en el sector productivo como en la cadena comercial.

La producción florícola comienza con la propagación o multiplicación de las variedades ornamentales para dar origen a una gran variabilidad de productos que conforman el mercado (flor de corte, planta en maceta o cantero, arbusto, plantín, etc). Dentro de la cadena de producción florícola argentina este primer eslabón, denominado “propagador” o “plantinera”, cuenta con procesos productivos deficitarios vinculados a la calidad que repercute negativamente en la tracción de productos nuevos, a diferencia de lo que sucede en el mercado florícola internacional donde se observa una permanentemente demanda de nuevos productos. En Argentina, la incorporación de productos nuevos es puntual o para determinados nichos de mercado, generalmente siguiendo tendencias provenientes del extranjero. Son pocos los productores que cuentan con una estructura que les permita diversificar con variedades nuevas y realizar una campaña de mercadeo para llegar a los consumidores finales (CNA, 2002; JICA-INTA, 2003; CHFBA, 2005; Morisigue *et al.*, 2012; Villanova y Morisigue, 2016).

El presente trabajo relata la estrategia de transferencia empleada por el IF para la introducción al mercado de variedades ornamentales desarrolladas a partir de recursos genéticos nativos, en un proceso de innovación interactivo y de aprendizaje permanente para la toma de decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el proceso de transferencia fueron utilizadas las variedades registradas en Argentina obtenidas en el IF-INTA. Las mismas se caracterizan por ser florales herbáceas, con floración primavera-verano, a excepción de *Handroanthus* que tiene floración en época otoño-invernal. Actualmente, el IF cuenta con 18 variedades de plantas herbáceas correspondientes a los géneros *Glandularia*, *Mecardonia*, *Nierembergia* y *Calibrachoa* (Figura 1) y dos variedades florales leñosas de *Handroanthus* y *Tecoma*, todas de propagación agámica (Tabla 1).

Tabla 1: Variedades ornamentales obtenidas por el Instituto de Floricultura INTA inscritas en el Registro Nacional de Cultivares INASE.

Especies	Nombres	Uso Ornamental
<i>Nierembergia linariaefolia</i>	“Luna INTA-JICA”	Maceta/cantero
<i>N. linariaefolia</i>	“Estrella INTA-JICA”	Maceta/cantero
<i>N. linariaefolia</i>	“Cielo INTA-JICA”	Maceta/cantero
<i>Nierembergia</i> híbrida	“Yvoty Blanca INTA”	Maceta/cantero
<i>Calibrachoa</i> híbrida	“Pampa Salmón INTA”	Maceta
<i>Calibrachoa</i> híbrida	“Overa Fucsia INTA”	Maceta
<i>Mecardonia</i> híbrida	“Tatarendy Melocotón INTA”	Maceta/ bordura
<i>Mecardonia</i> híbrida	“Kamba Clara INTA”	Maceta/ bordura
<i>Mecardonia</i> híbrida	“Poty Amarilla INTA”	Maceta/ bordura
<i>Mecardonia</i> híbrida	“Guaraní Amarilla INTA”	Maceta/ bordura
<i>Glandularia</i> híbrida	“Extrema Roja INTA”	Cantero
<i>Glandularia</i> híbrida	“Natali Rosa INTA”	Cantero
<i>Glandularia</i> híbrida	“Alba INTA”	Cantero
<i>Glandularia</i> híbrida	“Extrema Violeta INTA”	Cantero
<i>Glandularia</i> híbrida	“Dulce Coral INTA”	Cantero
<i>Glandularia</i> híbrida	“Hana Magenta INTA”	Maceta/cantero
<i>Tecoma</i> híbrida	“Victoria INTA-JICA”	Maceta
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	“Sorpresa Rosa INTA”	Maceta

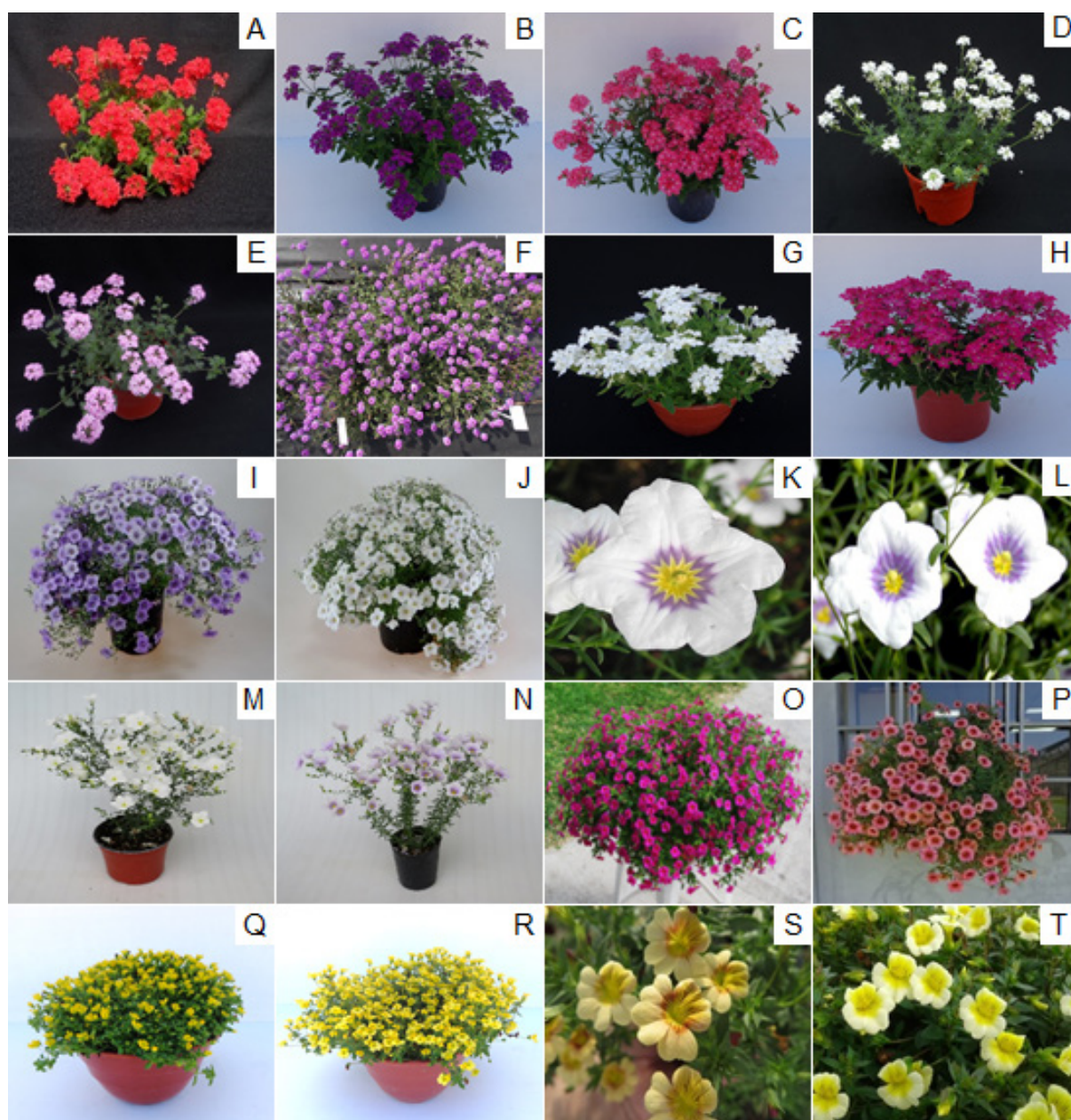


Figura 1. Variedades herbáceas obtenidas por el grupo de mejoramiento genético del Instituto de Floricultura. Glandularias: A. “Extrema Roja INTA”, B. “Extrema Violeta INTA”, C. “Dulce Coral INTA”, D. “Natali Rosa INTA”, E. “Natali Mora INTA”, F. “Alba INTA”, G. “Nevada Bariloche INTA”, H. “Hana Magenta INTA”; Nieremergias: I. “Cielo INTA”, J. “Nieve INTA”, K. “Luna INTA”, L. “Estrella INTA”, M. “Yvoty Celeste INTA”, N. “Yvoty Blanca INTA”; Calibrachos: O. “Overá Fucsia INTA”, P. “Pampa Salmón INTA”; Mecardonias: Q. “Poty Amarilla INTA”, R. “Guarani Amarilla INTA”, S. “Tatarendí Melocotón INTA”, T. “Kambá Clara INTA”.

Se analizaron diferentes políticas, y se pusieron en práctica estrategias que permitieran que los productores florícolas dispusieran de los nuevos materiales y de la tecnología de producción. A partir del año 2008, el IF encaró el proceso de transferencia en forma sistematizada y generó las propuestas que se detallan a continuación:

Etapas 1. Transferencia de plantas madre (2008-2011).

Se trabajó para lograr la aceptación de las variedades por parte de los productores, y llevar a cabo una fuerte política de difusión focalizada en el consumidor final, tomando como premisa que la innovación se produciría por tracción de la demanda. Como estrategia tecnológica productiva, se entregaron plantas madres de las variedades registradas a un reducido número de productores locales, quienes, mediante la firma de un convenio de confidencialidad, se comprometían a evaluar los nuevos materiales. Los productores debían mantener el plantel de plantas madres, propagar mediante el enraizamiento de esquejes, y cultivarlos hasta la obtención de plantas terminadas para su comercialización. Esta etapa fue acompañada por acciones de difusión por parte del IF especialmente con jornadas abiertas para mostrar los productos al sector florícola (productores, paisajistas y empresas) y a los consumidores finales.

Etapas 2. Transferencia de plantines en bandejas (2012-2014).

Se planteó la introducción masiva de las variedades al mercado. El IF tomó el rol de propagador y comenzó producir plantines, mediante el enraizamiento de esquejes, a pedido de quien lo demandare. Los plantines se entregaron en bandejas alveoladas (*plugs*), que se acondicionaron en cajas de cartón y, de acuerdo al destino, se despacharon por los medios de transporte disponibles tales como camiones de transporte de mercaderías varias o transporte de pasajeros de larga distancia (Figura 2).

Asimismo, se inició un trabajo utilizando las redes de comunicación como Facebook, páginas web para la difusión y asistencia al consumidor con fichas técnicas de las variedades, características de los cultivos y recomendaciones para el manejo de los mismos (<http://inta.gob.ar/documentos/variedades-inta>). También se comenzó a presentar las variedades en las muestras del sector (Congreso Nacional de Viveristas, Buenos Aires en Flor, Fiesta de la Flor, Moreno Florece, Expo Flor La Plata, etc.), con la intención de llegar al consumidor final de todo el país. El contacto con el consumidor final permitió el análisis del impacto de las variedades en el mercado, usando como metodología encuestas de satisfacción de producto.

Etapas 3. Transferencia de esquejes sin enraizar (2014-2016).

Dado que las variedades comenzaron a ser conocidas tanto en el sector productivo como entre los consumidores, empezó un período de diferenciación de producto. Se adoptó la estrategia de ofrecer esquejes sin enraizar bajo la hipótesis de que esta forma de entrega, limitaría y seleccionaría la demanda, dado que solamente aquellos productores suficientemente tecnificados serían los que podían lograr plantines de calidad. Los esquejes se entregaron en bolsas de plástico herméticas colocadas en cajas de cartón, y se incluyó un protocolo para enraizar y hormona de enraizamiento.

Etapla 4. Transferencia de material básico para su multiplicación. Convenio con plantinera (2017 a la fecha)

El IF decidió proponer a una plantinera un acuerdo para la transferencia de material básico de las variedades a fin de que lo cultivaran, armaran el plantel de plantas madres y extrajeran los esquejes para enraizar. En abril de 2017 se firmó el Convenio de Asistencia Técnica entre el Centro de Investigación de Recursos Naturales de INTA, del cual depende el IF, y la plantinera Geoplant S.R.L. Esto permitió que el sistema cuente con una mayor organización, especialización, calidad y alcance nacional.

En este período el IF trabajó intensamente en la producción de material de propagación de sanidad y calidad controlada para poder entregar al propagador (material básico), en forma programada. Asimismo, generó los protocolos para asegurar su trazabilidad.



Figura 2. Entrega de plantines en bandejas (superior), bandejas en plantinera (inferior).

A fin de evaluar la innovación, se realizó un seguimiento de las entregas de materiales de propagación de las variedades. Se contabilizaron las cantidades y los destinatarios, diferenciando a los productores que tenían como principal actividad económica el cultivo de plantas, de quienes no lo eran. Se discuten los resultados en base al sistema en espiral propuesto por Hobday (2005).

RESULTADOS

Etapas 1: Este mecanismo se empleó durante dos años. Los productores comenzaron a familiarizarse con las nuevas variedades. Sin embargo, se detectaron algunas limitantes tales como la falta de experiencia en el mantenimiento de plantas madres y en la propagación agámica. No se mantuvieron los plántulos de plantas madres en los establecimientos de los productores, porque las vendieron o desconocieron su mantenimiento. No se evidenció producción masiva por lo que tuvo muy bajo impacto en el mercado. En cuanto a la difusión se logró que comience a aparecer la demanda, pero sin poder ser satisfecha por el sector productivo.

Etapas 2: Esta etapa permitió hacer más masiva la producción de las variedades, ya que la entrega de plántulos animó a muchos productores a intentar su cultivo. Sin embargo, algunos de ellos no eran productores formales y no tenían la infraestructura ni las capacidades para realizarlo en forma eficiente. Se observó que no siempre se lograban plantas terminadas y en algunos casos, eran de baja calidad. Por otro lado, la demanda de bandejas era superior a la capacidad operativa del IF, que se dedica a la investigación y, por lo tanto, no cuenta con los recursos humanos ni la logística de una empresa comercial. A su vez, la logística inadecuada provocaba, en algunos casos, pérdidas durante el transporte. Hubo escasa llegada al mercado de plantas y a los consumidores, observando una baja calidad en los pocos productos comerciales introducidos en este período.

Etapas 3: Los propagadores/productores con mayor tecnología fueron los demandantes dado que contaron con la estructura y la especialización suficientes. La demanda se concentró en muy pocos productores y se obtuvieron plántulos de mejor calidad.

El envío de esquejes fue más sencillo y económico que el realizado en la etapa anterior, lo que permitió que el IF pusiera el énfasis en aspectos técnicos referidos al mantenimiento del plantel de plantas madres.

Etapas 4: Se consolidó la política que se venía trabajando, realizando algunos ajustes en las acciones. Se detectó que la plantinera que había sido la principal demandante de los esquejes, estaba especializada en la propagación de especies ornamentales, tenía buena infraestructura, experiencia en el manejo de plantas madres y en la obtención de plántulos y abastecía habitualmente al sector productivo florícola con una logística ajustada para el

envío a cualquier parte del país. A la observación de estos resultados, se sumó el análisis de los mecanismos empleados por algunas empresas florícolas internacionales que poseen tercerizada la propagación de esquejes en gran escala.

De acuerdo a la experiencia, los materiales adquiridos por productores tuvieron mejor calidad y mayor posibilidad de ser comercializados en el mercado florícola que aquellos adquiridos por aficionados, dependencias oficiales, escuelas o paisajistas. En la Figura 3 se puede observar la evolución en número de esquejes entregados a partir de la producción masiva y se discrimina el destino de los mismos.

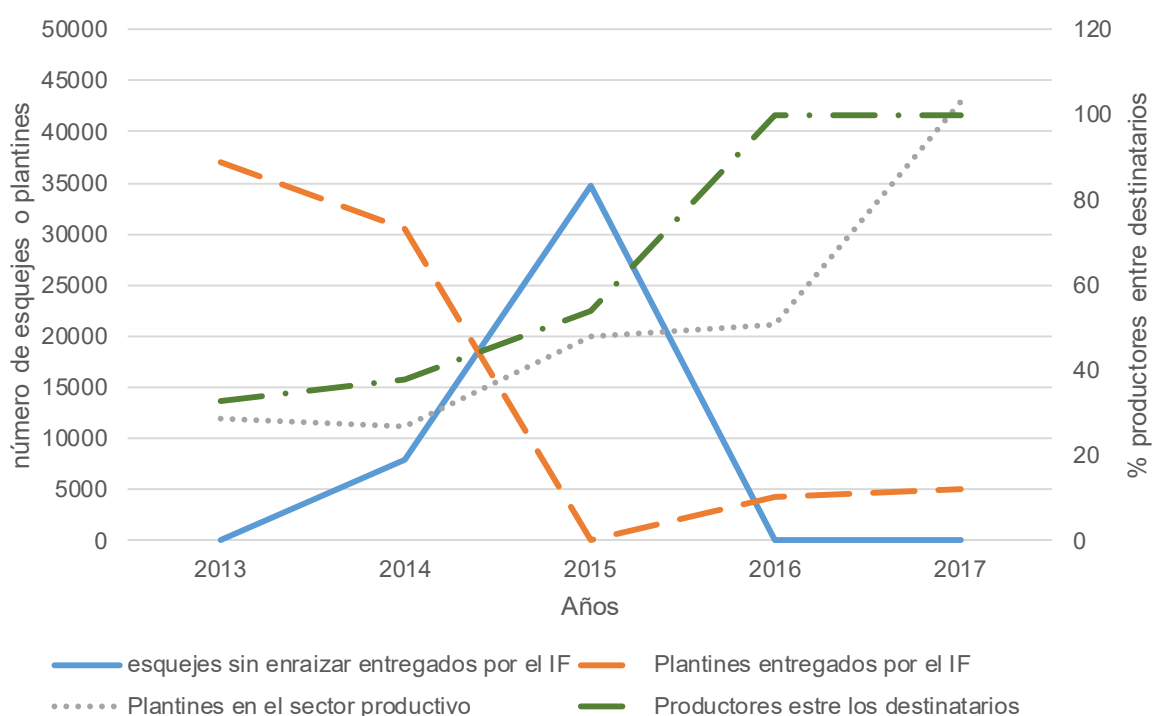


Figura 3. Cantidad de esquejes o plantines de las variedades ornamentales INTA transferidos al sector productivo.

Si se analiza el total de esquejes entregados por el IF, se puede apreciar que mientras se entregaban los esquejes enraizados, la demanda era alta. El número de esquejes en el año 2013 ascendió a 35.800. Sin embargo, un bajo porcentaje de ellos llegaba a la cadena productiva-comercial dado que sólo el 35% de los adquirentes eran productores. La entrega en bandejas invitaba a muchos consumidores, no específicamente productores, a solicitarlos dada la facilidad del cultivo, solo era necesario el trasplante y el engorde hasta la obtención de producto final. En el año 2014, luego de entregar 30.800 plantines, se comenzó a entregar esquejes sin enraizar, que alcanzaron las 7.700 unidades. Para la campaña 2015, la estrategia ya fue la entrega de esquejes sin enraizar, y si bien el número total de esquejes no varió demasiado, siendo de 34.700, el destino de los mismos denotó un importante cambio,

ascendiendo a un 57% lo entregado a productores. La empresa productora de plantines Geoplant S.R.L., concentró el 84% de la producción. Esto demostró que solamente aquellos que tenían la suficiente infraestructura y capacidad estaban en condiciones de solicitar y enraizar los esquejes. De esta manera, el IF entregó una escasa cantidad de esquejes enraizados a una plantinera para cultivo como plantas madres, quien llevó adelante la tarea de enraizado y distribución entre los productores para cultivarlas hasta planta terminada. Esta experiencia positiva llevó a firmar en mayo de 2017 un Convenio entre INTA y Geoplant SRL, a fin de establecer bases técnicas para desarrollar el *know how* para la propagación de las variedades INTA en diferentes condiciones que permitan un seguimiento técnico en cultivos comerciales. Como primeros resultados, se observa que en el año 2016 los plantines entregados por Geoplant a productores, ascendió a 21.200 y en el 2017 a 41.200. Si bien el número de esquejes no sufrió un cambio cuantitativo importante, el cambio de estrategia tuvo un impacto directo en aspectos cualitativos en los productos logrando mejor calidad. En el período estudiado, para cada etapa se implementó una estrategia de transferencia acordada a las políticas y objetivos planteados por el grupo de trabajo en función de la factibilidad y el análisis de los resultados en cada etapa sobre la adopción de las variedades.

En la Figura 4 se sintetizan los cambios durante el período examinado basándose en cuatro factores influyentes del proceso: mejoramiento genético y desarrollo de la variedad, difusión y *marketing*, estrategias de transferencia y mercado. Se observa que la actividad desarrollada es un proceso continuo de aprendizaje o acumulación de *know how* que involucra elementos internos y externos, y que en la medida que se analizan los resultados obtenidos al cabo de un ciclo, la posición en relación al mismo recurso empleado en la etapa anterior varía. Como resultado de un proceso de retroalimentación se toman decisiones y enfrentan cambios. Los mejoradores tienen en cuenta los resultados obtenidos para redefinir sus líneas de trabajo, se ajustan las estrategias de *marketing* y, fundamentalmente, las de transferencia de material vegetal teniendo en cuenta la situación del mercado. En este proceso, el IF forma parte de una red con productores de diferentes niveles productivos y tecnológicos, otros institutos de investigación, universidades, proveedores, consumidores, comercios, usuarios, redes comunicacionales, etc. en la cual, el avance tecnológico y el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación forman parte del proceso de innovación. Los resultados se obtienen como producto de los datos observables e intangibles. El estudio de posibles causas y efectos de esos resultados permitieron tomar decisiones que afectaron la continuidad del proceso.

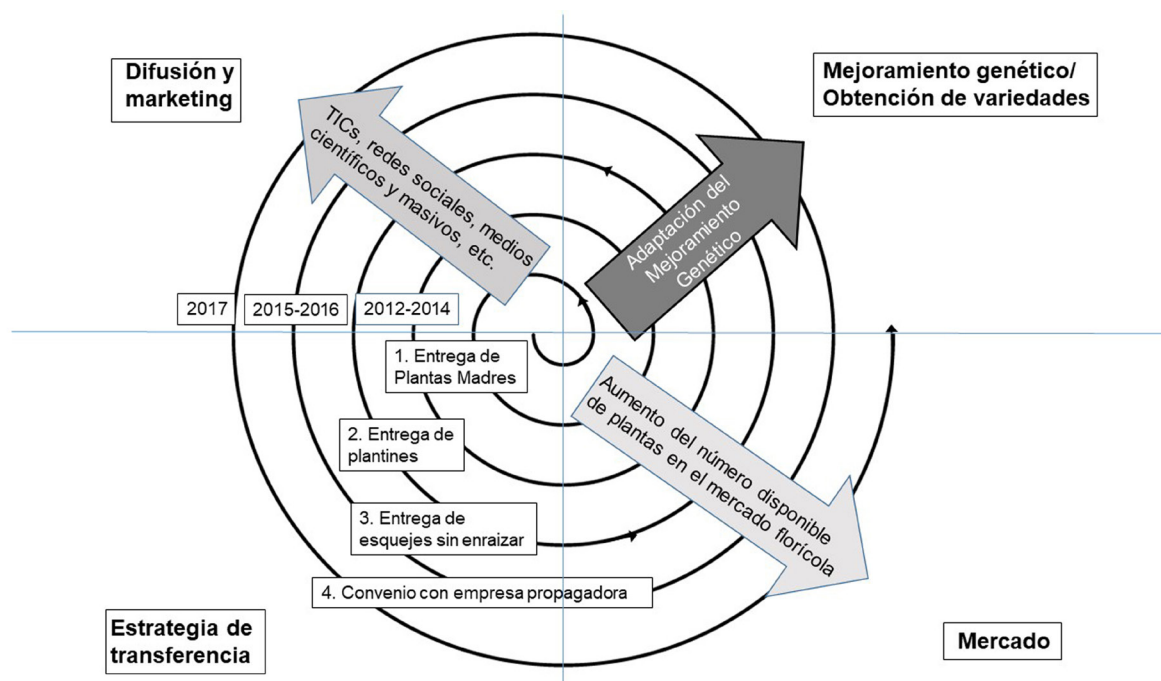


Figura 4. Modelo de transferencia de variedades INTA realizado por el Instituto de Floricultura.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El foco de este estudio estuvo puesto en los cambios de la estrategia de transferencia de las variedades ornamentales, siendo la gestión del conocimiento el principal proceso que permitió dar respuesta a las nuevas demandas de cambios y mejoras. Nonaka y Takeuchi, (1995), definen al conocimiento como “La creencia en una verdad justificada”, argumentando que, si se cree en una propuesta de conocimiento, ésta solo puede ser justificada por hechos (Reyes, 2005). En este caso los mejoradores, comunicadores y otros integrantes del equipo involucrado, llevaron el control y monitoreo de los procesos que conformaron la estrategia de transferencia, contextualizando cada resultado. Sus interpretaciones con ayuda de la experiencia se transformaron en conocimiento útil, permitiendo adaptar las actividades a fin de obtener productos acordes al análisis en cada proceso. Es así como se logra la estrategia de transferencia más adecuada, cuyas políticas se han ido modificando de acuerdo a ese conocimiento acumulado que retroalimenta en forma permanente al sistema en la medida que sigue el proceso de innovación (García Bode *et al.*, 2013). El conocimiento es la principal materia prima que da respuesta a las nuevas demandas de cambio y mejora, para mantener una posición competitiva, empleándose de manera intensiva las capacidades de las personas (Nonaka y Takeuchi, 1995).

En este marco, se puede considerar que las variedades han ingresado al mercado por encontrarse en producción y disponibles en una empresa productora de plantines, eslabón inicial de la cadena productiva y comercial florícola. Estas acciones, que se formalizarán en un

futuro convenio, han logrado una innovación en el sector florícola debido a la creación varietal y su introducción en el mercado. Está previsto la formalización del vínculo una vez que se alcance la escala comercial que lo justifique.

Se observa que la innovación es permanente, y que cada ciclo no es circular, sino que a medida que se repiten las actividades requeridas en el proceso, el aprendizaje provoca que no se realicen desde la misma posición. Existe un proceso de acumulación de conocimiento para resolver problemas creados por necesidades articuladas, que al diagramarse surge el modelo en espiral (Hobday, 2005). Este desarrollo colabora con la distribución del producto lo que asegura la llegada de las variedades al consumidor. Según Layt (2015) las claves del éxito para que se produzca una innovación son el producto, el precio, la distribución y la promoción, variables que se han tomado como pilares en el proceso de transferencia de las variedades ornamentales al sector productivo.

REFERENCIAS

BERUTO, M. 2013. Introduction of new ornamental plants and production technologies: case studies. *Acta Horticulturae* 1000, 23-34.

Censo Nacional Agropecuario (CNA). 2002. INDEC.

CHFBA. 2005. Censo Provincial Hortícola y Florícola de la provincia de Buenos Aires

GARCÍABODE, O. E.; DÍAZABREU, D. M.; GONZÁLEZ, L. J. 2013. Gestión del conocimiento y desarrollo agrario: fundamentos teóricos para un estudio de caso (parte 1). *Revista Académica de Investigación* 13, 160-186.

HOBDAY, M. 2005. Firm-level Innovation Models: Perspectives on Research in Developed and Developing Countries. *Technology Analysis & Strategic Management* 17(2), 121-146.

JICA-INTA. 2003. Estudio sobre la caracterización de la producción florícola en la República Argentina, INTEA S.A.

LAYT, T. 2015. Introduction of New Ornamental PBR Plants; Benefits and Strategies. *Acta Horticulturae* 1097, 227-233.

LAMBRECHT, E.; TARAGOLA, N.; KÜHNE, B.; CRIVITS, M.; GELLYNCK, X. 2015. Networking and innovation within the ornamental plant sector. *Agricultural and Food Economics* 3, 10 2-20.

MORISIGUE, D.; MATA, D.; FACCIUTO, G.; BULLRICH, L. 2012. *Floricultura Pasado y presente de la producción florícola argentina*. Ediciones INTA, Bs. As.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. 1995. *The knowledge-creating company*. New York: Oxford University Press.

REYES MELEÁN, C. F. 2005. Análisis de la relación entre la ingeniería del conocimiento y la gestión del conocimiento en base al modelo de Nonaka y Takeuchi. *Intangible Capital* 1 (3), 71-85.

ROTHWELL, R. 1992. Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s. *R&D Management* 22, 221-239.

VILLANOVA, I.; MORISIGUE, D. 2016. Relevamiento de la producción de flores y plantas ornamentales en el Área Metropolitana de Buenos Aires y el partido de San Pedro, provincia de Buenos Aires. ISBN 978-987-46022-1-3.

La flora ornamental latinoamericana ha sido fuente origen de numerosas variedades que hoy el mundo dispone. A pesar de ello, la mayoría de las mismas han sido obtenidas fuera de la región. En este libro se presentan trabajos científicos realizados por investigadores latinoamericanos que apuntan a poner en valor los recursos genéticos locales. Se abordan diferentes aspectos necesarios para la obtención de nuevos cultivos y variedades tales como la caracterización del potencial ornamental del germoplasma latinoamericano, el mejoramiento genético y experiencias en la transferencia de nuevas variedades al sector productivo. Es importante mencionar que estos trabajos fueron realizados por los autores luego de realizar un curso en el Instituto de Floricultura-INTA que permitió el intercambio de experiencias en la temática, generó sinergias entre las instituciones y proyectos conjuntos.



Ministerio de Relaciones Exteriores,
Comercio Internacional y Culto
Argentina



CIRN



Instituto de **Floricultura**

ISBN 978-987-679-312-4



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina