

Artículo de Revisión

Bases para la mejora genética en la rosa del desierto (*Adenium obesum*)

Andrés Zúñiga Orozco¹, Ayerin Carrodegua Gonzalez²

1. Carrera Ingeniería Agronómica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia. Apdo. 474-2050 San Pedro, San José, Costa Rica. azunigao@uned.ac.cr.
2. Instituto de Investigaciones Horticolas Lilliana Dimitrova, Cuba. genetica2@lilliana.co.cu

Recibido: 04 de Noviembre de 2020 Aceptado: 07 de Abril de 2021

RESUMEN

Adenium obesum es una planta de la familia Apocynaceae con alto valor ornamental. La diversidad de sus flores, junto a la porción de tallo engrosado que presenta, le confieren un elevado atractivo. El mercado de plantas ornamentales exige la creación constante de nuevas variedades de *A. obesum* para aumentar la oferta. El mejoramiento genético es la herramienta que ha permitido obtener nuevas variedades en esta especie, principalmente por el método convencional de cruzamiento. Sin embargo, no se han tomado en cuenta técnicas biotecnológicas para apoyar los programas de mejora genética. A pesar de que *A. obesum* es una planta muy apreciada en la jardinería y altamente comercializada, existen muy pocos estudios sobre su genética, biología reproductiva, herencia de caracteres, heredabilidad, polinización y genes reguladores. En esta revisión se realiza una consolidación de información acerca de todo lo relacionado a la genética de *A. obesum* para crear la base de un futuro programa de mejora. Se abordaron aspectos como: características generales de la especie, morfología floral, métodos de propagación, polinización manual, autoincompatibilidad y diferentes técnicas que pueden apoyar un programa de mejora. Debido al valor económico y ornamental que posee *A. obesum*, existe un gran potencial para futuros estudios en: diversidad genética, origen, herencia, heredabilidad de los caracteres, estudios de interacción genotipo x ambiente, estudios de estabilidad fenotípica e incluso el uso de herramientas de edición genómica para la modificación puntual de sus genes, de tal forma que, se puedan producir nuevas variedades con características innovadoras.

Palabras claves: diversidad genética, ornamental, polinización, morfología floral, autoincompatibilidad

ABSTRACT

Bases for genetic improvement in the desert rose (*Adenium obesum*)

Adenium obesum is a plant of the Apocynaceae family with high ornamental value. The diversity of its flowers, with the thickened stem portion that it presents, gives it a high attractiveness. The market for ornamental plants requires the constant creation of new varieties of *A. obesum* to increase supply. Genetic improvement is the tool that has made it possible to obtain new varieties in this specie, mainly by the conventional method of crossing. However, biotechnological techniques have not been taken into account to support genetic improvement programs. Despite the fact that *A. obesum* is a highly valued plant in gardening and highly commercialized, there are very few studies on its genetics, reproductive biology, trait inheritance, heritability, pollination and regulatory genes. In this review, a consolidation of information about everything related to the genetics of *A. obesum* is carried out to create the basis for a future improvement program. Aspects such as: general characteristics of the species, floral morphology, propagation methods, manual pollination, self-incompatibility and different techniques that can support a breeding program were addressed. Due to the economic and ornamental value of *A. obesum*, there is great potential for future studies in: genetic diversity, origin, inheritance, heritability of traits, genotype x environment interaction studies, phenotypic stability studies and even the use of genetic edition for the specific modification of their genes, in such a way that new varieties with innovative characteristics can be produced.

Key words: genetic diversity, ornamental, pollination, floral morphology, self-incompatibility

Características generales de *Adenium obesum*

Adenium obesum (Forssk.) Roem. & Schult, conocida popularmente como rosa del desierto es una planta con alto valor ornamental de la familia Apocynaceae. El género *Adenium* es originario del este de África y el sur de la península Arábiga (Colombo *et al.*, 2018). *A. obesum* se puede encontrar como una planta silvestre en países como Yemen, Kenia, Sudán, Senegal, Etiopía, Arabia Saudita y Omán (Limonés *et al.*, 2018).

En la actualidad, existen diferentes criterios sobre la taxonomía en el género *Adenium*. Algunos autores como Plaizier (1980), Forster (1998) y Hargreaves (2002) plantean que el género está constituido por una sola especie (*Adenium obesum*), la cual contiene diferentes subespecies o variedades. Sin embargo, el criterio que se toma en la horticultura consiste en que el género está dividido en 11 especies: *A. oleifolium*, *A. swazicum*, *A. boehmianum*, *A. multiflorum*, *A. obesum*, *A. somalense* 'Nova' (Tanzania), *A. somalense*, *A. crispum*, *A. socotranum*, *A. arabicum* and *A. Oman* (Dimmitt *et al.*, 2009).

A. obesum es una planta arbustiva y suculenta del tipo caudiciforme. Se ha adaptado a sobrevivir en lugares muy cálidos donde la escasez de agua es muy frecuente; por tanto, ha desarrollado mecanismos para la acumulación de este recurso. Por esta razón, posee un engrosamiento en la parte inferior del tallo conocido como caudice, con el objetivo de almacenar agua. Debido a esta característica tan peculiar, recibe el nombre de *A. obesum*, que hace referencia al grosor del tallo (Limonés *et al.*, 2018).

Además del atractivo que le confiere el caudice, también posee flores muy llamativas, las cuales se pueden encontrar en diferentes tonalidades y con distinto número de pétalos, que le confiere un verdadero potencial ornamental. Debido a lo anterior, su demanda en el mercado de plantas ornamentales aumenta constantemente (Varela *et al.*, 2015). También ayuda el hecho de que se utilice para decorar interiores y para exteriores (Wannakrairoj, 2008). Además, *A. obesum* es una planta de fácil cultivo debido a que tolera distintos tipos de suelos, altas temperaturas y presenta bajos requerimientos hídricos.

Además de su alto valor ornamental, Adamu *et al.* (2005) informan que los extractos preparados a partir de la suberina que contiene esta especie, presentan un alto potencial antimicrobiano. Existen otros estudios científicos relacionados con los compuestos citotóxicos producidos por *A. obesum* para el control de células cancerosas (Nakamura *et al.* 2000) y el virus de la influenza (Kiyohara *et al.*, 2012). Las potencialidades de esta especie en el mercado ornamental y en la medicina, ha provocado la destrucción de su hábitat natural en países de África tropical; por tales razones, la rosa del desierto está considerada actualmente en peligro (Amorin *et al.* 2020).

La propagación de *A. obesum* es un poco complicada para quien no tenga experiencia. Puede ser tanto sexual como asexual. La asexual se produce mediante el corte y el posterior enraizamiento de los esquejes. La sexual puede ser difícil porque es necesario polinizar manualmente las flores, las cuales poseen una compleja estructura. Por dichas razones, la propagación por semillas se limita a las personas que poseen el conocimiento de cómo realizar la polinización manual. Actualmente, existen muchos cultivares de *A. obesum* obtenidos por métodos de cruce convencionales. Sin embargo, la demanda en el mercado mundial exige la creación de un mayor número. A pesar de su alto valor ornamental, se encuentran disponibles muy pocos estudios científicos que sirvan como base para un programa de mejora. Es muy necesario el desarrollo de investigaciones relacionadas con la genética de la especie, encaminadas a estudiar la variabilidad genética, heredabilidad de caracteres y genes reguladores de caracteres deseables, que sirvan como base para desarrollar nuevos cultivares. Según los antecedentes anteriores, el objetivo de esta revisión, es consolidar todo lo que se conoce sobre la genética de esta especie para crear la base de un futuro programa de mejora genética en *A. obesum*.

Descripción morfológica de la flor de *A. obesum*

Las flores de *A. obesum* son tubulares y pueden llegar a medir de 2 a 5 cm de altura y de 4 a 5 cm de diámetro. Generalmente presentan 5 sépalos y 5 pétalos, los cuales, en la mayoría de las plantas son de tonalidades rosa. También se pueden encontrar color en rojo, blanco, naranja, blanco-azul, blanco-naranja y blanco-rosa. La forma, el tamaño y el color de las flores pueden variar con las condiciones ambientales (Limonés *et al.*, 2018). Se ha reportado que los cambios en la coloración de las flores a causa de variaciones de la temperatura son bastante frecuentes (Rowley, 1995), por lo cual es un factor a tomar en cuenta en una evaluación de progenies.

Los pétalos se encuentran semi fusionados, formando una corola tubular, la cual en su superficie interna puede albergar hasta 15 delgados hilos rojos conocidos como guías de néctar y pueden ser confundidos con los estambres. Los estambres se encuentran debajo de esas estructuras, presentan forma de vaina y forman un cono, dentro de cual se encuentran los granos de polen y el estigma (Dimmitt *et al.*, 2009). Los estambres están formados por filamentos muy cortos y fuertes que surgen de la pared del tubo de la corola. Las cinco anteras triangulares largas se inclinan hacia adentro para formar un cono cerrado sobre el estilo (Fig. 1). El extremo inferior de cada antera se bifurca en dos largos puntos rígidos divergentes, como una punta de flecha. El ovario presenta dos pequeños carpelos que están libres el uno del otro, pero se fusionan arriba y forman el estilo. La única región fértil de los estambres se ubica en la parte superior del cono, donde el polen cuelga como una nube directamente sobre la cabeza de estilo (Rowley, 1980).

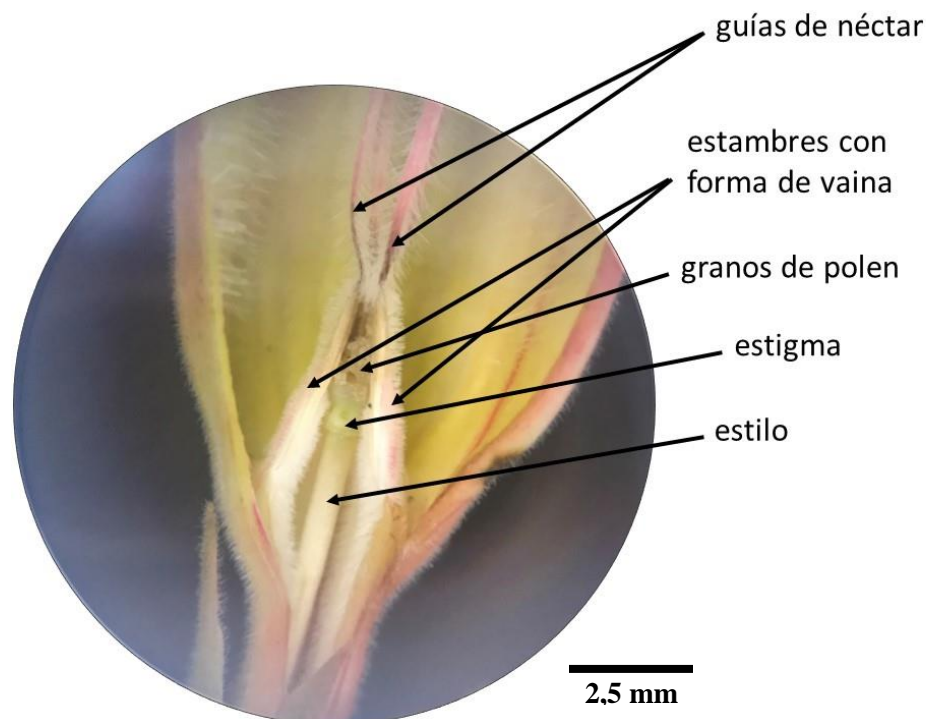


Figura 1. Estructura floral de *A. obesum*, se observa el androceo compuesto por el cono estaminal que sostienen los granos de polen y parte del gineceo (estigma y estilo). **Fuente:** elaboración propia

Autoincompatibilidad en *A. obesum*

La mayoría de las especies de la familia Apocynaceae muestran un alto grado de autoincompatibilidad, debido a lo cual se hace necesario, el cruce entre dos individuos diferentes para lograr la fertilización (Retief, 1978). En el género *Adenium*, como en la mayoría de las plantas con flores, la autoincompatibilidad no es absoluta, se conocen casos de vainas de semillas de un espécimen aislado, aunque es un fenómeno muy raro (Rowley, 1980).

Al observar una flor de *Adenium*, pareciera que es inevitable la caída del polen sobre el estigma producto a la gravedad, pero raramente ocurre porque los granos de polen son muy pegajosos y se mantienen sostenidos. Además, la zona receptiva del estigma se encuentra en los bordes inferiores (Fig. 2), lo que limita aún más la autopolinización. En *Adenium*, la arquitectura compleja de la flor parece estar relacionad con el comportamiento de un polinizador (Rowley, 1978).

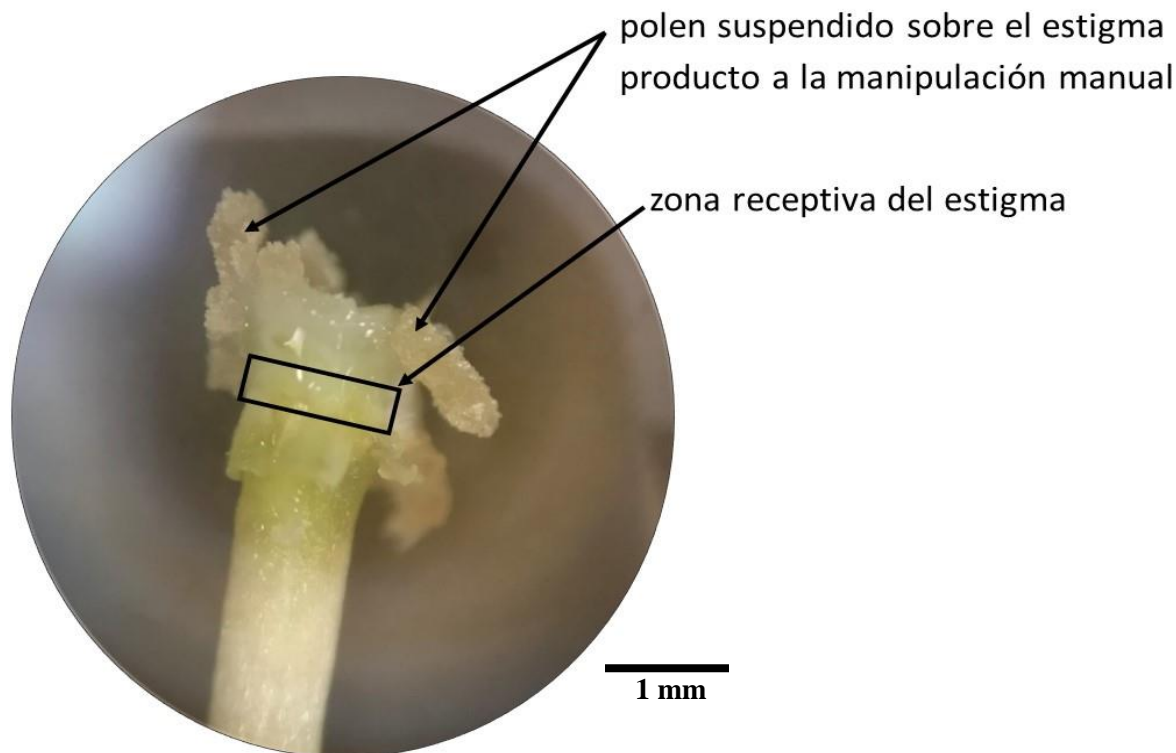


Figura 2. Estigma de *A. obesum* con la zona receptiva señalada y polen suspendido en la superficie superior debido a la manipulación manual que sufrió la flor para tomar la foto. **Fuente: elaboración propia**

El sistema de autoincompatibilidad presente en *A. obesum* no se ha estudiado, pero sí el de otros miembros de la familia Apocynaceae. En muchas familias botánicas, la autoincompatibilidad generalmente ocurre en el estigma o el estilo; de forma que, el polen no germina, o no se desarrolla completamente el tubo polínico. Sin embargo, en miembros de la familia Apocynaceae, el polen es capaz de germinar, desarrollar el tubo polínico, llegar hasta el ovario de la flor y fertilizar la oosfera (Kahn y Morse, 1991, Sage y Williams, 1991, Wyatt *et al.*, 1996, Lipow y Wyatt, 1999). A pesar de que ocurre fertilización, el cigoto formado nunca llega a dividirse (Sage y Williams, 1991); por tanto, se cree que en *A. obesum* existe un tipo de autoincompatibilidad tardía.

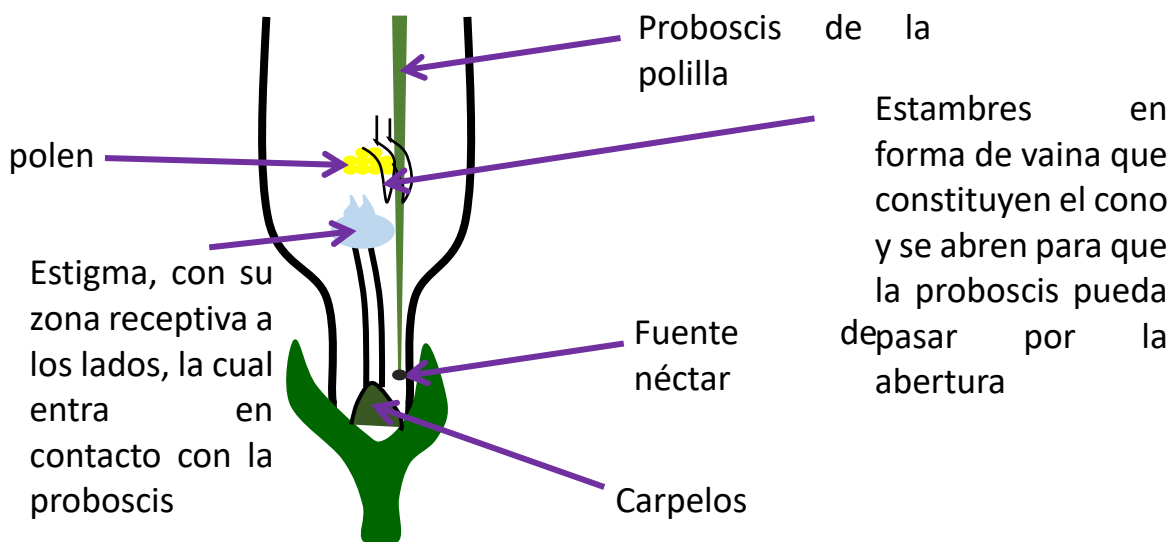


Figura 3. Polinización de *A. obesum* realizada por una polilla. **Fuente: elaboración propia**

Polinización manual en *A. obesum*

Con el objetivo de obtener nuevas variedades de *A. obesum* es necesario realizar cruces, generar variabilidad y obtener semilla sexual. Para lo anterior, se debe polinizar manualmente las plantas que actúan como progenitor femenino (Hastuti *et al.*, 2019).

En base a la experiencia de los autores para efectuar la polinización manual, primeramente, se remueven dos o tres pétalos de la flor, para que no molesten en la operación. Después se extraen los filamentos que se encuentran encima del cono estaminal. Una vez que se haga esta operación, el cono estaminal es completamente visible. El próximo paso consiste en tomar el polen con unas pinzas o cualquier instrumento de punta fina, para lo cual se introduce el instrumento entre las vainas que forman el cono estaminal y se toma el polen disponible en el ápice del cono. Una vez que se tiene el polen en la punta del instrumento, se hace la misma operación con otra flor de una planta diferente que haya sido emasculada previamente (preferiblemente) y así el polen se deposita en el estigma. El estigma se encuentra justo debajo del polen entre las vainas del cono estaminal. Es necesario depositar el polen en la parte receptiva del estigma, la cual es la zona curvada justo debajo de este. Para extraer el polen es necesario tener mucho cuidado porque algunos híbridos presentan cantidades ínfimas. A la hora de depositar el polen para facilitar el trabajo, cuatro de las cinco vainas estaminales se pueden retirar, pero siempre es necesario dejar una para que ocurra la fertilización (Fig. 4).

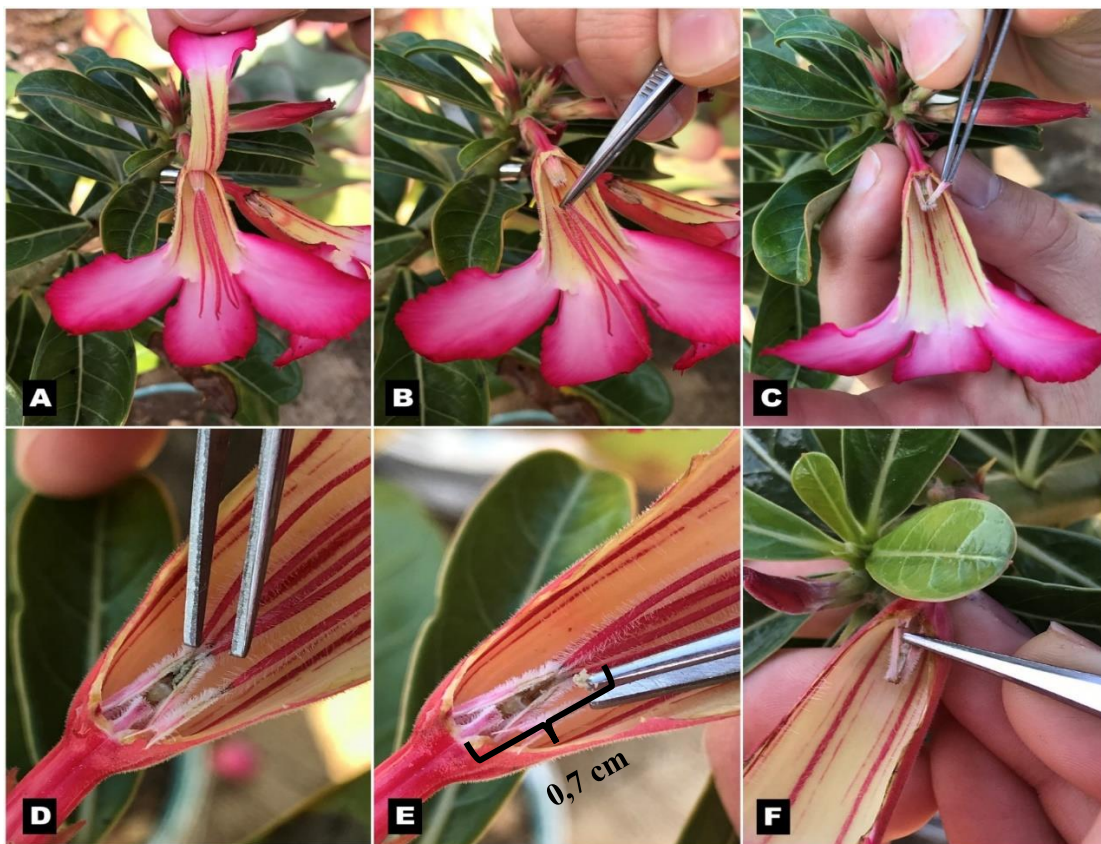


Figura 4. Polinización manual en *A. obesum*. (A) Retirada de un pétalo para tener acceso al cono estaminal de la ♀. (B) Retirada de las guías de néctar de la ♀ (C) Retirada de una vaina del cono estaminal en la ♀ (D) Retirada de un pétalo y una vaina del cono estaminal del ♂ para tener acceso al polen (E) Retirada del polen del ♂ (F) Deposición del polen del ♂ en la zona receptiva del estigma de la ♀ **Fuente: elaboración propia**

Cuando ocurre la fertilización, se forman los frutos, los cuales consisten en dos folículos pares alargados (fig. 5). Después de madurar, generalmente a los 90 días de la polinización, los frutos abren longitudinalmente para liberar las semillas que se observan en la figura 5 (Dimmitt *et al.*, 2009). No todas las plantas forman semillas bajo condiciones de cultivo porque puede existir esterilidad tanto femenina como masculina (Laughlin y Garofalo, 2002). En opinión de los autores, si existe compatibilidad entre los parentales, se produce semilla, sin embargo, es de esperar que algunos cruces no ocurran; no porque se realice mal el procedimiento, sino porque algunas veces la combinación entre parentales no es compatible. Lo recomendable es probar el cruzamiento con varios parentales para obtener mayor éxito.

Las semillas son cilíndricas, alargadas y presentan en sus dos extremos estructuras en forma de finos hilos denominada pappus, que ayudan en su dispersión por el viento. Cada folículo puede llegar a medir hasta 25 cm de largo y 15 cm de diámetro central. El número de semillas por folículo puede variar de 28 a 118. El largo y el diámetro de las semillas depende de factores como: eficiencia de la polinización, condiciones ambientales y el estado nutricional de la planta (Colombo *et al.*, 2015).

La propagación por semillas en *A. obesum* además de asegurar una alta variabilidad en las plantas hijas, produce plantas con el caudice muy marcado, lo que no ocurre mediante la reproducción asexual (Colombo *et al.*, 2015).

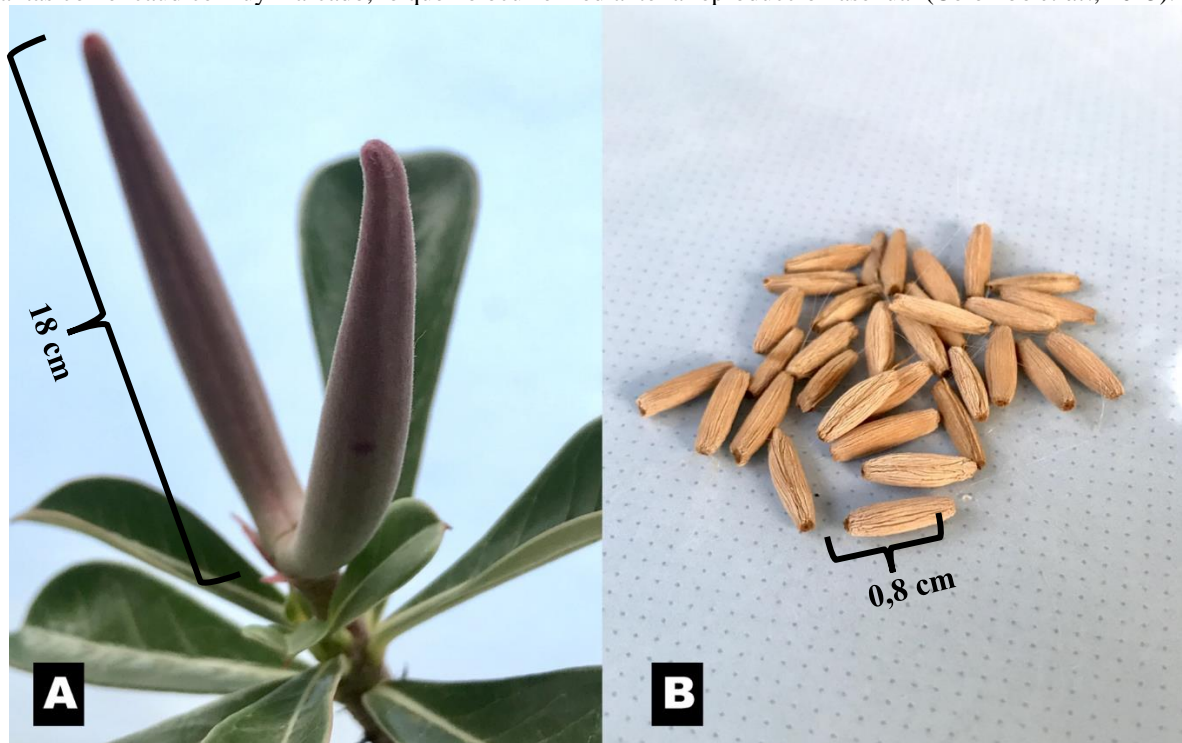


Figura 5. Frutos y semillas de *A. obesum*. (A) Frutos cuajados de 30 días después de polinización (ddp) (B) Semillas obtenidas a los 90 ddp. **Fuente:** elaboración propia

Propagación asexual

La propagación asexual en *A. obesum* es relativamente fácil y es uno de los métodos más utilizados por quienes no logran su reproducción por semillas. Como desventaja, las plantas obtenidas por estos métodos no son tan aceptadas en el mercado ornamental porque no presentan cáudice marcado y no muestran la misma exuberancia de las plantas obtenidas a través de semillas (Kanchanapoom *et al.*, 2010); sin embargo, son más rápidas para alcanzar la floración y se pueden utilizar para realizar cruces de forma rápida. El método de propagación asexual más utilizado es a través de estacas, el cual consiste en la separación de un trozo de la planta con yemas activas, capaces de regenerar un nuevo ejemplar (Gutiérrez, 2017). Las ventajas de la reproducción asexual son: la uniformidad de plantas, menor tamaño para mejor manejo del cultivo, mayor porcentaje de enraizamiento y el mantenimiento de las características de la planta madre (Gómez y de la Torre, 2007). Según Gutiérrez (2017), los sustratos más adecuados por provocar una mejor respuesta al enraizamiento de las estacas de *A. obesum* son: perlita, arena, fibra de coco y la combinación fibra de coco y perlita.

Otro método de reproducción es el injerto, principalmente para el mantenimiento de plantas madre o para su uso como multi-parentales en un bloque de cruzamiento. Dentro de las ventajas que presenta este método es que se obtienen muchas flores de varios parentales en un solo patrón y esto es importante para aumentar la posibilidad de realizar polinizaciones dirigidas. Este método se usa cuando hay parentales de alto valor ornamental con dificultad para florecer y se necesitan para hacer mejoramiento (Colombo *et al.*, 2018). El injerto también se usa para mejorar el atractivo visual de un ejemplar al poder tener flores de varios colores en una misma planta.

Cultivo in vitro

Los estudios de cultivo *in vitro* en *A. obesum* son escasos en la literatura. Algunos autores como Kanchanapoom *et al.* (2010) han inducido organogénesis indirecta en explantes con la combinación de reguladores de crecimiento. Estudios de citometría de flujo han indicado que existen diferencias en el contenido de ADN entre las plantas obtenidas por cultivo *in vitro* y las obtenidas *in vivo*, lo que indica que puede darse el fenómeno de variación somaclonal. Esta fuente de variación puede ser de gran utilidad para obtener individuos diferentes y con características llamativas si se realiza una selección y adecuado seguimiento. El cultivo *in vitro* también permite una rápida multiplicación y la producción de plantas libres de patógenos (Kanchanapoom *et al.*, 2010).

Talukdar (2012) estableció un protocolo de cultivo *in vitro*, utilizando explantes de hojas jóvenes de *A. multiflorum* debido a la baja producción de semillas en esta especie. Dicho protocolo pudiera ser ajustado para la micropropagación en *A. obesum*. Por otra parte, Lemos *et al.* (2015) realizaron un estudio para analizar la influencia del ácido giberélico en el cultivo *in vitro* de *A. obesum*. Como resultado se obtuvo plantas con diferentes malformaciones como ausencia de raíces y ápices en todos los tratamientos, además observaron que, el ácido giberélico no influye significativamente en la germinación de las semillas.

Identificación de especies utilizando código de barras de ADN

Como se comentó anteriormente, hay diferencias de criterio sobre la taxonomía en el género *Adenium*. Existe una técnica molecular conocida como código de barras de ADN que proporciona una identificación rápida de especies sin la ayuda de marcadores morfológicos. Sin embargo, el código de barras no es tan efectivo para la identificación de plantas como en animales, en los cuales se necesita solo una región de ADN. Debido a lo anterior, en plantas, se utilizan varios locis para la identificación: (rpoB, rpoCl, rbcL, matK y 23SrDNA) de ADN del cloroplasto, el espaciador intergenérico (psbA-trnH) y el espaciador intragenérico (ITS) de genes nucleares (Techaprasan *et al.*, 2006, Fazekas *et al.*, 2008). El Consorcio para el Código de Barras de la Vida en 2009, estableció las regiones de codificación de matK y rbcL, seguidos por ITS como códigos de barras principales para la identificación de especies vegetales (Lee *et al.*, 2010).

En un estudio realizado por Selvaraj *et al.* (2015) se evaluó la capacidad para identificar especies en la familia Apocynaceae en locis de cloroplastos (matK, rbcL, atpB, rpoCl, región espaciadora psbA-trnH y el espaciador intragenérico (ITS)). Como resultado, obtuvieron que el loci con mayor capacidad discriminatória fue el espaciador intragenérico ITS 2.

Tamaño del genoma de *A. obesum*

El genoma completo del cloroplasto de *A. obesum* fue secuenciado por Ajmal-Ali (2020). La longitud del genoma es de 154,437 pb. También fue construida la relación filogenética con otras especies de la familia Apocynaceae, cuyos genomas del cloroplasto también han sido secuenciados y se observó una estrecha relación genética con *Nerium oleander*.

Cariotipado

El genoma es el conjunto de genes que contiene los cromosomas (Menadue y Crowden, 1990; Wulandari *et al.*, 2006). Cada especie tiene un número característico de cromosomas y cada cromosoma en una especie también tiene una estructura típica (Wulandari *et al.*, 2006). Las diferencias en los cromosomas se usan para describir la diversidad de la variación genética, por tanto, su análisis es de gran importancia para comenzar cualquier programa de mejora genética.

El número cromosómico puede ser estudiado por citogenética clásica y molecular. En *A. obesum* el número cromosómico fue estudiado por citogenética clásica por Hastuti *et al.* (2010). En dicho estudio, se observó que el número cromosómico de *A. obesum* es $2n = 22$, y la longitud absoluta de los cromosomas oscila entre 2,56 μm y 5,13 μm . La citogenética clásica consiste en ver los cromosomas al microscopio durante la prometafase de la mitosis o meiosis, donde son perfectamente visibles (Sadava *et al.*, 2009).

Mejoramiento genético en *A. obesum*

A. obesum muestra alta variación natural, pero las investigaciones para seleccionar o mejorar genotipos estables fenotípicamente ha sido escasa. Los trabajos de mejoramiento en *A. obesum* han consistido en seleccionar plantas con rasgos deseables, cruzarlos y crear nuevos genotipos. Los mejoradores se han centrado principalmente en obtener flores con colores novedosos, alta longevidad *in situ* y una forma multipétala. Con estos objetivos Singh *et al.* (2019) obtuvieron mediante cruces un nuevo genotipo con un carácter morfológico novedoso para la forma multipétala de la flor que poseía quince pétalos de color rojo brillante. Mejoradores independientes han logrado obtener amplia variabilidad, sin embargo, son pocos los que han logrado fenotipos estables en líneas puras. Con las nuevas tecnologías, biotecnología y manipulación genética existe la oportunidad de introgresar, manipular o silenciar genes de interés económico, especialmente los referentes al color, forma y aroma de la flor, porte y ramificación de la planta.

Variabilidad genética en *A. obesum*

Las especies del género *Adenium* presentan polinización cruzada, lo que favorece la heterocigosis. Su naturaleza heterocigótica junto a los constantes cruces que se realizan para satisfacer el mercado ornamental provoca que surjan genotipos nuevos con relativa facilidad. La amplia diversidad genética de *A. obesum* es la clave para la mejora genética de esta importante especie ornamental. Evaluar la variabilidad genética es el requisito inicial para el éxito en cualquier programa de selección (Chavan *et al.*, 2018), la cual puede realizarse a través de marcadores morfológicos, bioquímicos o moleculares. Actualmente los más utilizados son los moleculares en combinación con los morfológicos (Carrodegua y Zúñiga, 2020, Zúñiga y Carrodegua, 2020). Los marcadores moleculares se han convertido en una herramienta indispensable en programas de mejora genética (Varshney *et al.*, 2005). Se requieren con frecuencia para la identificación correcta de los cultivares, la evaluación precisa de las relaciones genéticas, estimado de la diversidad, etiquetado eficiente, mapeo de genes deseables y selección temprana de genotipos superiores. Entre los marcadores moleculares, los polimorfismos de longitud de fragmento de restricción (RFLP), minisatélites, microsátélites y RAPDs han demostrado ser muy útiles para el análisis de grandes cantidades de genotipos (Debener *et al.*, 1996). Con el desarrollo de las tecnologías de secuenciación, los SNPs serán los marcadores más utilizados para la detección de polimorfismos (Gupta *et al.*, 2008; Nybom *et al.*, 2014). En un estudio realizado por Chavan *et al.* (2017) se analizaron 10 accesiones de *A. obesum* y se estimó la similitud genética entre los genotipos a través de marcadores RAPDs, los cuales requieren bajo soporte técnico y bajas cantidades de ADN para el análisis. Esto los convierte en marcadores baratos, accesibles y fáciles de implementar.

Heredabilidad de caracteres

No todos los caracteres son heredables; por tanto, para un mejorador resulta importante saber cuál de estos, se puede transmitir a la progenie. La estimación de la heredabilidad ofrece una medida de la transmisión de caracteres de una generación a la siguiente (Falconer, 1981). Según Chavan *et al.* (2018) en *A. obesum*, se observó una alta heredabilidad en los siguientes caracteres: altura de la planta, diámetro de caudice, número flores por racimo, diámetro y color de la flor, densidad estomática y tasa de transpiración.

Caracteres susceptibles a mejora genética

En estudios anteriores se ha comprobado la alta heterocigocidad y variabilidad que presentan muchos caracteres morfológicos y fisiológicos en *A. obesum* (Chavan *et al.*, 2018). Una de las características más llamativas de la rosa del desierto, es la alta diversidad de las flores. Existe un gran número de variedades que se diferencian en el colorido, tamaño y forma de estas. Por tanto, las características relacionadas con la flor, son de importancia en los programas de fitomejoramiento (Soetarso *et al.*, 1985). En un estudio realizado por Hastuti *et al.* (2009) se analizó la diversidad en la morfología de las flores y hojas en 6 variedades de *A. obesum*. Los resultados de la investigación indican una alta diversidad de rasgos morfológicos, que incluye el largo y ancho de las hojas, el diámetro y el color de las flores. El tamaño de la flor es un parámetro importante para determinar el valor de la planta para su cultivo en maceta. También el número de flores por racimos y la longevidad de estas influyen en la preferencia del consumidor (Singh

et al., 2019). El color de las flores es uno de los rasgos que más tratan de modificar los mejoradores para obtener nuevas variedades para el mercado. El color más común en las flores de *A. obesum* es el rosa, el cual está condicionado por la presencia de antocianinas. Tangwisit *et al.* (2015) estudiaron la herencia de antocianinas en pétalos de *A. obesum* y encontraron que el color rosa, es un carácter dominante respecto al color blanco, el cual se comportó como recesivo. En la opinión de los autores existen varias zonas en la flor que segregan independientemente como los bordes de los pétalos, la parte medial relacionada a la vena principal y el centro de la corola. Sin embargo, se requieren estudios de herencia simple para observar la segregación de estos patrones.

Flores aromáticas: ¿es posible?

A. obesum es una especie que no presenta aroma en sus flores. No obstante, existen especies emparentadas como *Nerium oleander* y *Plumeria* spp., lo cual podría brindar una posibilidad potencial para introgresar genes de aroma en *A. obesum* (Sanabria *et al.*, 2014). La transformación genética mediada por *Agrobacterium tumefaciens* podría utilizarse como herramienta para transmitir los genes relacionados con el aroma a *A. obesum*. El uso de *A. tumefaciens* como “vehículo” o vector para introducir el plásmido Ti dentro de células vegetales ha sido una técnica biotecnológica ampliamente utilizada para la transformación de células vegetales (Hwang *et al.*, 2017). La bacteria, naturalmente incorpora genes que producen tumores o son inductores de la producción de hormonas vegetales en el huésped. Los biotecnólogos han reemplazado esos sitios y en su lugar insertan genes con algún interés de expresión (Rangslang *et al.*, 2018). El sistema de *A. tumefaciens* y la entrega del plásmido Ti en la célula huésped se basa en el acompañamiento de varias proteínas que “escoltan” el ADN a través de la membrana del huésped y hasta el núcleo del mismo; a estas proteínas se les conocen como Vir, hay de varios tipos, cada una con una función específica. En el plásmido Ti hay varios genes con distintas funciones, algunos se encargan de la interceptación de la señal externa, otros producen opinas y un tercer tipo atraviesan la membrana celular para “secuestrar” el mecanismo de defensa de las células huésped (Hwang *et al.*, 2017).

De acuerdo con Cabrera-Ponce (s.f) y Valderrama, Arango y Afanador (2005), el protocolo utilizado para la transformación genética de plantas incluye varias etapas, iniciando con el aislamiento y disponibilidad de un gen de interés a partir de un organismo vegetal deseado. Se realiza la transferencia y la integración estable de ese gen al genoma de las células vegetales mediante la preparación de un vector y un sistema de transformación genética adecuado. Para la transferencia exitosa de genes, uno de los factores más importantes consiste en la disponibilidad de un gran número de células competentes, tanto para la transferencia de genes, como con la capacidad de regeneración de plantas a partir de sistemas de cultivo de tejidos. En el proceso, se seleccionan las células transformadas y se obtiene la regeneración de plantas completas en las cuales se evalúa la presencia del transgen y el fenotipo deseado en el momento requerido. El desarrollo de brotes y su establecimiento en un medio de cultivo que contenga el agente selectivo generalmente es indicativo de transformación exitosa. Para lo anterior se necesita un gen de selección, generalmente de resistencia a un antibiótico. Para la regeneración, los explantes deben crecer en un medio de cultivo que les permita desarrollarse y a su vez se debe eliminar el antibiótico utilizado para la selección (Chilton *et al.*, 1977). Introgresar el aroma en *A. obesum* por medio de la transformación genética biológica con *A. tumefaciens*, podría ser una herramienta útil, tomando como ejemplo otros cultivos modelo en los cuales se ha logrado una transformación exitosa. Tal es el caso de petunia (Spitzer *et al.*, 2010) y clavel (Zuker *et al.*, 2002), en los cuales se ha logrado ingresar genes provenientes de la rosa para promover el desarrollo de aroma y de esta manera darle un valor agregado al cultivo ornamental. Después de la secuenciación del genoma de la rosa, hoy se conocen los genes que codifican para los compuestos aromáticos.

La vía fenilpropanoide es una de las rutas bioquímicas más estudiadas por la producción de metabolitos en plantas. Esta ruta bioquímica conduce a la biosíntesis de antocianinas y pigmentos, así como también se ha relacionado con la producción de compuestos volátiles (aromas), ya que, comparten los mismos precursores. Por otra parte, los genes que codifican enzimas estructurales y reguladores transcripcionales involucrados en la formación de antocianinas han sido bien caracterizados (Petroni y Tonelli, 2011). En cuanto a los genes involucrados con la producción de compuestos aromáticos, Zuker *et al.* (2002) y Moyal *et al.* (2012) mencionan que en *Arabidopsis thaliana* fue descubierto que la interacción del factor de transcripción PAP1 con el gen MYB, aumenta el aroma floral. El PAP1 activa la ruta de los fenilpropanoides y posiblemente la de los isoprenoides aumentando así la síntesis de terpenoides (Moyal *et al.*, 2012), los cuales son responsables en su mayoría del aroma floral. También se ha identificado el factor de transcripción PH4 que codifica para el gen MYB-R2R3, responsable de regular la expresión del aroma (Cna'ani *et al.*, 2015). Otros factores de transcripción involucrados en la secreción de aromas han sido caracterizados: EOBI, EOBI y ODO1 (Verdonk *et al.*, 2005; Spitzer-Rimon *et al.*, 2010, 2012) al igual que otros genes involucrados como:

GDS, CD1, OOMT1, AAT1 y PAAS, los cuales sintetizan compuestos como el germacreno D, b-ionona, orcinol metil eter, geranyl acetato y fenil acetaldeido, respectivamente (Guterman *et al.*, 2002; Lavid *et al.*, 2002; Shalit *et al.*, 2003; Farhi *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2009). Debido a lo anterior sería interesante profundizar sobre el uso de la transformación genética para incluir los genes que codifican para los factores de transcripción PAPI y PH4 sobre el dominio MYB, para producir aroma en las flores de *A. obesum*. También sería relevante comprobar la presencia de estos genes en plantas de la familia Apocynaceae.

Perspectivas

Uno de los grandes problemas en el mejoramiento de *A. obesum* es la obtención de líneas puras debido al alto grado de autoincompatibilidad, la cual se cree que sea del tipo post-cigótica. Para verificar dicho caso es necesario hacer estudios del crecimiento del tubo polínico para observar si este llega al ovario. No obstante, otra forma de obtener líneas puras es por medio del uso del cultivo de anteras, lo cual, sería una posibilidad a explorar. En la mayoría de especies vegetales, la alogamia no es absoluta, por lo tanto, un estudio necesario sería evaluar el porcentaje promedio de autopolinización en un bloque de variedades y líneas de diverso origen. En caso de tener éxito, evaluar la progenie para observar si hay efectos por depresión endogámica y en caso que los efectos no sean severos, continuar con este proceso para uniformar genotipos. Debido al valor económico y ornamental que tiene *A. obesum*, existe un gran potencial para evaluar la diversidad, el origen, la herencia y heredabilidad de los caracteres, estudios de interacción genotipo x ambiente, estudios de estabilidad fenotípica e incluso usar herramientas de edición genética para la modificación puntual de sus genes.

Agradecimientos

Al Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova por facilitar las instalaciones y el personal para llevar a cabo la recopilación de información y material para su evidencia fotográfica.

Referencias

- Adamu, H. M., Abayeh, O. J., Agho, M. O. y Abdullahi, A. L. (2005). An ethnobotanical survey of Bauchi State herbal plants and their antimicrobial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(1), 1-4.
- Ajmal-Ali, M. (2020). Complete chloroplast genome of medicinally important poisonous shrub *Adenium obesum* (Forssk.) Roem. & Schult. (Apocynaceae). *Mitochondrial DNA Part B Resources*, 5(1), 568-569.
- Cabrera-Ponce, J. L. (s.f). Agrobacterium tumefaciens: Un ejemplo de Ingeniería Genética. CINVESTAP-IPN. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/263581675_Agrobacterium_tumefaciens_Un_ejemplo_de_Ingenieria_Genetica
- Carrodegua, A. y Zuñiga, A. (2020). Bases para la mejora genética en *Gerbera hybrida*. *Repertorio Científico*, 23(2), 51-62.
- Chavan, S. K., Singh, A. y Barkule, S. (2018). Application of DNA marker (RAPD) technology to study molecular diversity in *Adenium obesum* (Forssk.), Roem and Schult. *Eco. Env. & Cons*, 24, 403-407.
- Chavan, S. K., Singh, A. y Barkule, S. (2018). Genetic variability studies on *Adenium obesum* Forssk Roem and Schult. *Asian. Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.*, 20(3), 965-969.
- Chilton, M. D., Drummond, M. H., Merlo, D. J., *et al.* (1977). Stable incorporation of plasmid DNA into higher plant cells: the molecular basis of crown gall tumorigenesis. *Cell*, 11, 263-271.
- Cna'ani, A., Spitzer-Rimon, B., Ravid, J., *et al.* (2015). Two showy traits, scent emission and pigmentation, are finely regulated by the MYB transcription factor PH4 in petunia flowers. *New Phytologist*, 208, 708-714. DOI: 10.1111/nph.13534
- Colombo, R. C., Da Cruz, M. A., Carvalho, D. U., Hoshino, R. T., Alves, G. A. C. y Faria, R. T. (2018). *Adenium*

- obesum* as a new potted flower. *Growth management*, 24(3), 197-205.
- Colombo, R. C., Favetta, V., Yamamoto, L. Y., Alves, G. A. C., Abati, J., Takahashi, L. S. A. y Faria, R. T. (2015). Biometric description of fruits and seeds, germination and imbibition pattern of desert rose [*Adenium obesum* (Forssk.), Roem. & Schult.]. *Journal of Seed Science*, 37(4), 206-213.
- Debener, T., Bartels, C. y Mattiesh, L. (1996). RAPD analysis of genetic variation between a group of rose cultivars and selected wild rose species. *Mol. Breed.*, 2, 321-327.
- Falconer, D. S. (1981). *Introduction to Genetics Statistics* (2d ed.). London, U.K. Ed. Longman.
- Farhi, M., Lavie, O., Masci, T., Hendel-Rahmanim, K., Weiss, D., Abeliovich, H., Vainstein, A. (2009). Identification of rose phenylacetaldehyde synthase by functional complementation in yeast. *Plant Molecular Biology*, 72, 235-245.
- Fazekas, A. J., Burgess, K. S., Kesanakurti, P. R., Graham, S. W., Newmaster, S. G., Husband, B. C., Percy, D. M., Hajibabaei, M. y Barrett, S. C. (2008). Multiple multilocus DNA barcodes from the plastid genome discriminate plant species equally well. *PLoS ONE*, 3(7), e2802.
- Gómez, J. (2007). *Propagación de la pimienta de Jamaica (Pimenta dioica) por estacas terminales con hojas* (Tesis de licenciatura). Universidad El Zamorano, Facultad de Agronomía, Honduras.
- Gupta, P. K.; Rustgi, S. y Mir, R. R. (2006). Array-Based High-Throughput DNA Markers for Crop Improvement. *Heredity*. 101: 5-18.
- Guterman, I., Masci, T., Chen, X. L., Negre, F., Pichersky, E., Dudareva, N., Weiss, D., Vainstein, A. (2006) Generation of phenylpropanoid pathway-derived volatiles in transgenic plants: rose alcohol acetyltransferase produces phenylethyl acetate and benzyl acetate in petunia flowers. *Plant Molecular Biology*, 60, 555-563.
- Gutierrez, S. M. (2017). *Evaluación de seis sustratos para enraizamiento de rosa del desierto Adenium obesum (Forssk.) Roem. & Schult.* (Tesis de licenciatura). Universidad El Zamorano, Facultad de Agronomía, Honduras.
- Hastuti, D., Suranto, y Setyono, P. (2009). Variation of morphology, karyotype and protein band pattern of *Adenium (Adenium obesum)* varieties. *Nus. Biosci.*, 1(2), 78-83.
- Huang, F. C., Horvath, G., Molnar, P., Turcsi, E., Deli, J., Schrader, J., Sandmann, G., Schmidt, H. y Schwab, W. (2009). Substrate promiscuity of RdCCD1, a carotenoid cleavage oxygenase from *Rosa damascena*. *Phytochemistry*, 70, 457-464.
- Hwang, H. H., Yu, M., y Lai, E. M. (2017). Agrobacterium-mediated plant transformation: biology and applications. *The arabidopsis book*, 15, e0186. <https://doi.org/10.1199/tab.0186>
- Kahn, A. P. y Morse, D. H. (1991). Pollinium germination and putative ovule penetration in self- and cross-pollinated common milkweed, *Asclepias syriaca*. *Amer. Midi. Naturalist.*, 126, 61-67.
- Kanchanapoom, K., Sunheem, S. y Kanchanapoom, K. (2010). *In vitro* propagation of *Adenium obesum* (Forssk.) Roem and Schult. *Notulae Botanicae Horticulturae Agrobotanici*, 38(3), 209-213.
- Kiyohara, H., Ichino, C., Kawamura, Y., Nagai, T., Sato, N., Yamada, H., Salama, M.M. y Abdel-Sattan, E. (2012). *In vitro* antiinfluenza virus activity of a cardiogenic glycoside from *Adenium obesum* (Forssk.). *Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 19(2), 111-114.
- Laughlin, J. y Garofalo, J. (2002). The Desert Rose, *Adenium obesum*: Nursery Production. *Homestead: Miami-*

- Dade. 66, 2p.
- Lavid, N., Wang, J. H., Shalit, M., Guterman, I., Bar, E., Beuerle, T., Menda, N., Shafir, S., Zamir, D., Adam, Z. *et al.* (2002). O-methyltransferases involved in the biosynthesis of volatile phenolic derivatives in rose petals. *Plant Physiology*, 129, 1899-1907.
- Lee, E. J., Hwang, I. K., Kim, N. Y., Lee, K. L., Han, M. S., Lee, Y. H., Kim, M. Y. y Yang, M. S. (2010). An assessment of the utility of universal and specific genetic markers for opium poppy identification. *J. Foren Sci.* 155(6), 1202-1208.
- Lemos, T., Mendes, G., Camacho, K. Z., Mikovski, A. I., Da Silva, J. R., Fealho I. y Lemes, M. (2015). In vitro germination of desert rose varieties. *Ornamental Horticulture*, 21(2), 227-234.
- Limones, V., Baas, F. M. y Borges I. (2018) La rosa del desierto (*Adenium obesum*): de exótica flor de ornato a interesante fuente de compuestos bioactivos. *Desde el Herbario CICY*, 10, 128-131.
- Lipow, S. R. y Wyatt, R. (1999). Floral morphology and late-acting self-incompatibility in *Apocynum cannabinum* (Apocynaceae). *Plant Syst. Evol.*, 219, 99-109.
- Menadue, Y. y Crowden, R. K. (1990). Leaf polymorphism in *Ranunculus nanus* Hook. (Ranunculaceae). *New Phytol.*, 114(2), 265-274.
- Moyal, B., Zvi, M., Shklarman, E., Masci, T., Kalev, H., Debener, T., Shafir, S., Ovadis, M. y Vainstein, A. (2012). PAPI transcription factor enhances production of phenylpropanoid and terpenoid scent compounds in rose flowers. *New Phytologist*, 195, 335-345.
- Nakamura, M., Ishibashi, M., Okuyama, E., Koyano, T., Kowithayakorn, T., Hayashi, C. M. y Komiyamad. K. (2000). Cytotoxic pregnanes from leaves of *Adenium obesum*. *Natural Medicines*, 54(3), 158-159.
- Nybom, H.; Weising, K. y Rotter, B. (2014). DNA Fingerprinting in Botany: Past, Present, Future. *Investig. Genet.*, 5:1.
- Petroni, K. y Tonelli, C. (2011). Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs. *Plant Science*, 181, 219-229.
- Rangslang, R. K.; Liu, Z.; Lütken, H. y Favero, B. T. (2018). *Agrobacterium* spp. genes and ORFs: Mechanisms and applications in plant science. *Ciência e Agrotecnologia*, 42(5), 453-463. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018425000118>.
- Retief, J. A. (1978). Kunsmatige Bestuiwing by die Apocynaceae. *Aloe*, 16(1), 39-40.
- Rowley, G. D. (1980). The Pollination Mechanism of *Adenium* (Apocynaceae). *The National Cactus and Succulent Journal*, 35(1), 2-5.
- Rowley, G. (1995). White Flowers in *Adenium*. *British Cactus & Succulent Journal*, 13(4), 139.
- Sadava, D., Heller, H. C., Hillis, D. M. y Berenbaum, M. (2009). *Life: the science of biology*. New York, USA. Ed. W. H. Freeman.
- Sage, T. L. y Williams E. G. (1991). Self-incompatibility in *Asclepias*. *PL Cell Incompat. Newslett*, 23, 55-57.
- Sanabria, M.; Infante, R.; Valera, R.; Maciel, N. y Mendoza, A. (2014). Secondary metabolites in seven biotypes of *Plumeria* in Lara state, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 31: 423-434.
- Shalit, M., Guterman, I., Volpin, H., Bar, E., Tamari, T., Menda, N., Adam, Z., Zamir, D., Vainstein, A., Weiss,

- D., *et al.* (2003). Volatile ester formation in roses. Identification of an acetyl-coenzyme A. Geraniol /citronellol acetyltransferase in developing rose petals. *Plant Physiology*, 131, 1868-1876.
- Selvaraj, D., Sarma, R.K., Shanmughanandhan, D., Srinivasan, R. y Ramalingam, S. (2015). Evaluation of DNA barcode candidates for the discrimination of the large plant family Apocynaceae. *Plant Systematics and Evolution*, 301(4), 1263-1273.
- Sennblad, B., Endress, M. E. y Bremer, B. (1998) Morphology and Molecular Data in Phylogenetic Fraternity: The Tribe Wrightieae (Apocynaceae) Revisted. *American Journal of Botany*, 85(8), 1143-1158.
- Singh, A., Chavan, S. K.; Bhandari, A. J., Parekh, V., Shah, H. P. y B. N. Pate (2019). New Multipetalous Variety G. Ad.1 of *Adenium obesum*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(7), 197-203.
- Soetarso, Nandariyah y Hariati, S. (1985). *Plant breeding methods*. Faculty of Agriculture, Sebelas Maret University. Surakarta. Indonesia.
- Spitzer-Rimon, B., Marhevka, E., Barkai, O., Marton, I., Edelbaum, O., Masci, T., Prathapani, N. K., Shklarman, E., Ovadis, M. y Vainstein, A. (2010). EOBII, a gene encoding a flower-specific regulator of phenylpropanoid volatiles' biosynthesis in petunia. *Plant Cell*, 22, 1961–1976.
- Spitzer-Rimon, B., Farhi, M., Albo, B., Cna'ani, A., Moyal B. Z., M., Masci, T., Edelbaum, O., Yu, Y., Shklarman, E., Ovadis, M., *et al.* (2012). The R2R3-MYB-like regulatory factor EOBI, acting downstream of EOBII, regulates scent production by activating ODO1 and structural scent-related genes in petunia. *Plant Cell*, 24, 5089-5105.
- Talukdar, T. (2012). In vitro regeneration of an endangered ornamental plant impala lily (*Adenium multiflorum* klotzsch). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2(3), 42-50.
- Tangwisit, P., Manochai, B. y Wannakrairoj, S. (2015) *Inheritance of flower color in Adenium obesum*. Conference in Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Thailand, pp. 162-166.
- Techaprasan, J., Ngamriabsakul, C., Klinbunga, S., Chusacultachai, S., y Jenjittikul, T. (2006). Genetic variation and species identification of *Thai Boesenbergia*, (Zingiberaceae) analyzed by chloroplast DNA polymorphism. *J. Biochem. Molec. Biol.*, 39, 361-370.
- Valderrama, A., Arango, R. y Afanador, L. (2005). Transformación de plantas mediada por *Agrobacterium*: Ingeniería Genética Natural Aplicada. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 58(1), 2569-2585.
- Varella, T. L., Silva, G. M., da la Cruz, K. Z. C. M., Mikovski, A. I., da Silva, J. R., Carvalho, I. F. y Silva, M. L. (2015). In vitro germination of desert rose varieties. *Ornamental Horticulture*, 21, 227-234.
- Varshney, R. K., Graner, A. y Sorrells, M. E. (2005). Genic microsatellite markers in plants: features and applications. *Trends Biotechnol.*, 23, 48-55.
- Verdonk, J. C., Haring M. A., van Tunen, A. J., y Schuurink, R. C. (2005). ODORANT1 regulates fragrance biosynthesis in petunia flowers. *Plant Cell*, 17, 1612-1624.
- Wannakrairoj, S. (2008). Status of ornamental plant is Thailand. *Acta Horticulturae*, 788, 29-36.
- Wulandari, P., Marsusi, Setyawan, A. D. (2006). Karyotype members of the genus *Hippeastrum*, Family Amaryllidaceae. *Biosmart*, 8(1), 1-7.
- Wyatt, R., Ivey, C. T. y Lipow, S. R. (1996). The breeding system of desert milkweed, *Asclepias subulata*. *Bull. Torrey Bot. Club*, 123, 180-183.

Zuker, A., Tzfira, T., Ben-Meir, H., Ovadis, M., Shklarman, E., Itzhaki, H., Forkmann, G., Martens, S., Neta-Sharir, I., Weiss, D., *et al.* (2002). Modification of flower color and fragrance by antisense suppression of the flavanone 3-hydroxylase gene. *Molecular Breeding*, 9, 33–41.

Zuñiga, A. y Carrodegua, A. (2020). Factores importantes como base para el mejoramiento genético en el cultivo de la piña (*Ananas comosus* var. *comosus*). *Repertorio científico*, 23(2), 37-50.