



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Propagación de *Echeveria elegans* Rose y
Echeveria gigantea Rose & Purpus
(Crassulaceae)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

CARLOS ANTONIO LÓPEZ SÁNCHEZ



DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. Balbina Vázquez Benítez

Ciudad de México, agosto de 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



El presente trabajo se realizó en la Colección de Cactáceas y otras Suculentas de la FES Zaragoza, UNAM; bajo la dirección de la M. en C. Balbina Vázquez Benítez.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la que debo mi formación de profesionista.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por ser mi segundo hogar y brindarme todo lo necesario para ser una mejor persona.

Al equipo de Lucha Olímpica de la FES Zaragoza, por ser parte de mi desarrollo integral, el deporte.

A la M. en C. Balbina Vázquez Benítez, quien es una mujer excepcional, su ayuda ha sido sumamente importante en este logro académico, es un gran ejemplo para mí.

A mis sinodales el M. en C. Ramiro Ríos Gómez, a la M. en C. Susana Luna Rosales, a la M. en C. Magdalena Ayala Hernández y al Biól. L. Ulises Guzmán, sus contribuciones y aportes enriquecieron esta investigación.

Al Programa UNAM-DGAPA-PAPIME con clave PE212415, parte de esta investigación fue realizada gracias a su financiamiento.

DEDICATORIA

A mis padres. Irma Sánchez y Antonio López, no podría llegar tan lejos sin su sustento, compañía y amor. Este también es su logro.

A mis hermanos. Paty, Belén y Bryan, quiero ser un ejemplo para ustedes. No hay mejor herramienta que la educación.

A mis amigos. Amairany Torres, Alejandro Arronte y Katia Santiago, quienes son personas únicas e insustituibles. Son una gran fuente emocional.

A mi compañero. Maximiliano Saavedra, tu apoyo, cariño y suerte que me has brindado la agradezco y atesoro.

A mis profesores. Estoy formado de ustedes.

ÍNDICE	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	6
Distribución y diversidad de Crassulaceae.....	6
Distribución y diversidad del género <i>Echeveria</i>	8
Descripción botánica.....	10
<i>Echeveria</i> DC.....	10
<i>Echeveria elegans</i> Rose.....	11
<i>Echeveria gigantea</i> Rose & Purpus.....	12
Propagación vegetativa.....	13
Propagación por semilla.....	16
Crecimiento y desarrollo.....	18
Juvenilidad.....	19
HIPÓTESIS.....	20
OBJETIVOS.....	21
MATERIAL Y MÉTODOS.....	22
Colecta de semillas.....	22
Colecta de material vegetativo.....	22

Etapa de laboratorio.....	23
RESULTADOS.....	28
Recolecta del material biológico.....	28
Prueba de viabilidad.....	30
Germinación.....	31
Prueba de latencia.....	34
Estacas de hoja.....	35
Desarrollo plantular.....	44
Caracterización de semillas.....	44
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
CONCLUSIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

RESUMEN

Echeveria es un género de 140 especies, varias de estas se distribuyen en México y tienen un reconocido potencial ornamental. Se evaluó el desarrollo morfogénético de la roseta de *E. elegans* y *E. gigantea* a partir de semilla y estaca de hoja. En semillas se realizaron pruebas de viabilidad con el método de TTC, pruebas de germinación, y pruebas de latencia por remojo en agua y estratificación. Se midió el crecimiento de las plántulas con la altura, diámetro y número de hojas. En estacas de hoja se comparó la velocidad de desarrollo de rosetas y raíces adventicias de plantas vegetativas y de plantas reproductivas de ambas especies. Se realizó una secuencia del desarrollo plantular de ambas especies durante seis meses. La viabilidad para *E. elegans* fue de 38% y en *E. gigantea* del 96.3%; la germinación de 25.5% y 88% respectivamente. No presentaron latencia ambas especies. *E. elegans* desarrolló rosetas y raíces adventicias en los dos tipos de estacas, *E. gigantea* solo desarrolló raíces adventicias en ambos tipos de estacas. *E. elegans* presentó un 50% de sobrevivencia plantular y en *E. gigantea* un 35.7%. La diferencia morfológica de *E. elegans* y *E. gigantea* se determinó en los cuatro primeros meses de edad. En *E. elegans* se alcanzaron tallas en la roseta de 1.31 cm de diámetro y *E. gigantea* 2.18 cm. La diferenciación y el crecimiento en las rosetas de *E. elegans* resultaron más rápidas por estacas de hojas respecto a semillas y en *E. gigantea* no fue favorable la propagación vegetativa, probablemente ocasionado a que el proceso de senescencia en una y otra especie tienen directrices distintas.

INTRODUCCIÓN

La familia Crassulaceae alberga entre 900 especies (Cronquist, 1981) a 1400 taxones (Eggli, 2003). Se distribuye principalmente en la zona intertropical, en las regiones semiáridas y montañosas. México es considerado uno de sus centros de diversificación. El género *Echeveria* está conformado con 140 especies y 38 variedades, distribuidas desde el sur de Estados Unidos de América hasta el norte de Argentina (De la Cruz, 2013). México tiene la mayor diversidad de especies de este género, y el 89.2% de las especies son endémicas (Martorell, 2007). Este porcentaje probablemente represente el más alto grado de endemismo dentro de las familias y géneros en nuestro país (De Jesús, 2013). La mayor concentración de especies se localiza en el sur de México y Oaxaca es el estado con más especies (Pilbeam, 2008).

Echeveria es el género de la familia Crassulaceae más conocido por su potencial ornamental, gracias a lo atractivo de las rosetas que forman sus hojas, así como de sus inflorescencias. Varias de sus especies han sido ampliamente cultivadas (De la Cruz, 2013) como *E. agavoides*, *E. elegans*, *E. secunda*, *E. subrigida* y *E. gibbiflora* (Pérez-Cáliz, 2008).

Todas las echeverias son plantas herbáceas perennes que se caracterizan por presentar una roseta de hojas suculentas, ya sea congesta o laxa. Al principio de su desarrollo son acaules y después forman un tallo corto o más o menos largo que pueden ser simples o ramificado, su inflorescencia es lateral, con brácteas alternas, flores hermafroditas, hipóginas, actinomorfas, con cinco sépalos y cinco pétalos, estambres 10, fruto en folículo, oblongo con semillas numerosas y diminutas.

De acuerdo con los ambientes en que habitan, sus hojas pueden ser aplanadas o gruesas, adaptadas para soportar largos períodos de sequía. Sin embargo, sólo algunas especies, se desarrollan en zonas semiáridas como *Echeveria agavoides*, *E. purpusorum* y *E. laui*. La mayoría de estos taxones prospera en las áreas más xéricas de los bosques templados como el caso de *E. elegans* y *E. gigantea* o bien prefieren los bosques caducifolios. Las echeverias habitan en sitios con pendientes moderadas a muy pronunciadas. El hábitat para muchas especies del género son los bosques de pino-encino de México que se distribuyen en altitudes de 1200 a 2100 m. Otras se desarrollan a elevaciones mayores como *E. pumila*. Algunas especies crecen en zonas con alta precipitación, en el bosque mesófilo o partes bajas del bosque tropical, donde pueden vivir como epífitas, como sucede con *E. rosea*. En estos hábitats mencionados, se

localizan microambientes iluminados y con drenaje rápido que favorecen el desarrollo de estas plantas. Por otro lado, las especies que viven en un ambiente árido lo hacen generalmente en lugares sombreados, a menudo entre las rocas y en acantilados, protegidos del sol y con el beneficio del escurrimiento de agua cuando llueve. Durante la estación seca sus hojas externas se marchitan y forman una barrera protectora contra la desecación (Dortort, 2011).

En México, varias especies de *Echeveria* se emplean como ornamentales. Este uso puede ser anterior a la conquista de México, incluso puede tener algún significado religioso, como las flores de *E. gibbiflora* que se venden en mercados locales en la víspera de Navidad. Esta especie se cultiva en Tepoztlán para tal propósito, o puede ser colectada en el hábitat natural de la misma localidad (Walther, 1972). El uso de *E. elegans* en azoteas verdes o muros verticales, ha ido en aumento debido a su resistencia a las sequias y a su fácil manutención (Serrato, 2014). Su aprovechamiento como plantas de ornato se ha incrementado en países como Inglaterra, Estados Unidos de América, Alemania y recientemente Australia, Japón y Corea del Sur. Cabe señalar que el gusto por estas plantas sigue en aumento y por este motivo empieza a cobrar mayor importancia en estos países donde se están propagando por semillas, las cuales

se obtienen a partir de plantas madre colectadas en campo (Reyes *et al.*, 2001). México aún no figura en la lista de productores de echeverias a nivel mundial, a pesar de su gran diversidad de especies (Reyes, 2014).

Varias especies del género *Echeveria* producen rápidamente raíces adventicias a partir de esquejes de tallo o de estacas de hoja y generan organismos idénticos a la planta madre. Sin embargo, no todas las especies producen raíces adventicias a la misma velocidad o en las mismas proporciones (Vázquez *obs. pers.*, 2015). Una ventaja que tienen las especies con alta capacidad de producir raíces adventicias y por ende de propagarse vegetativamente con eficiencia es la obtención a corto plazo de ejemplares clonados de talla comercial. Por el contrario, la propagación por semillas genera organismos en un tiempo más prolongado (Meyrán & López, 2003), aunque con una indiscutible variación genética.

En este estudio se plantean las siguientes preguntas ¿En qué tiempo se diferencia y forma la roseta en *Echeveria elegans* y *Echeveria gigantea* a partir de una propagación por semillas? ¿la diferenciación y formación de la roseta será más rápida a través de una propagación vegetativa o por semilla?, ¿las estacas de hoja de ejemplares juveniles se diferenciarán más rápido que las estacas de hoja de organismos reproductivos?

ANTECEDENTES

Distribución y diversidad de Crassulaceae

La familia Crassulaceae tiene una distribución mundial exceptuando Australia y Polinesia. Se localiza principalmente en el sur de Asia Central, Sudáfrica, América y la región del Mediterráneo. Esta familia tiene entre 25 y 33 géneros con 900 (Cronquist, 1981) a 1400 especies (Egglí, 2003). Muchas crasuláceas tienen interés ornamental y constantemente son recolectadas en campo para su venta o bien son propagadas por semilla o vegetativamente por parte de aficionados y horticultores para ser comercializadas (Pérez-Cálix, 2008). Varias especies de esta familia tienen uso medicinal como *Sedum dendroidreum*, que es cultivada por sus propiedades para la gastritis y como antiinflamatorio (Monroy, 2012), *Hylotelephium telephium* y *Kalanchoe daigremontiana* que son utilizadas para cicatrizar heridas en la piel (La Troje Sierra, 2014).

En México las crasuláceas se distribuyen preferentemente en bosques templados y en matorrales xerófilos, aunque también se les encuentra en bosques tropicales secos y húmedos. La mayoría de las especies se registran en sitios de afloramientos rocosos como riscos, laderas escarpadas, paredes verticales de cañadas y cañones. En general ocupan microhábitats áridos en los que se favorece la concentración de humedad ya sea a través de

nodrizaje o por alguna condición física del ambiente en que se desarrollan, son escasas en terrenos planos y con suelos profundos (De la Cruz, 2013).

Las crasuláceas presentan un tipo de metabolismo cuyo nombre alude a la condición ácida encontrada en tejidos fotosintéticos de una especie de esta familia. Así, la ruta fotosintética se denomina metabolismo ácido crasuláceo (CAM, por sus siglas en inglés). Las plantas con fotosíntesis CAM fijan el CO_2 por la noche en una reacción donde participa la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC) y se forma un compuesto de cuatro carbonos, el ácido málico, que es almacenado en vacuolas y que constituye la condición que genera el sabor ácido en las plantas por las mañanas. Durante el día, el ácido málico que fue almacenado en la vacuola como ión malato es liberado hacia el citosol, sitio en el cual se descarboxila y libera CO_2 que es aprovechado por la enzima RuBisCO para formar parte del ciclo de Calvin-Benson (Azcón-Bieto y Talón, 2008). En las plantas con fotosíntesis CAM, la apertura estomática por lo general es nocturna. El CAM ha sido documentado en por lo menos 18 familias y representa una convergencia evolutiva debida a la adaptación ecológica al estrés ambiental que presentan algunas plantas que se distribuyen en sitios con períodos de escasa disponibilidad de

agua o de dióxido de carbono. Por consiguiente, el CAM está relacionado con los ambientes áridos y semi áridos donde existe restricción hídrica (Larson. 1992). En particular el CAM dentro de las crasuláceas se ha registrado en nueve géneros y 28 especies.

Las especies de *Echeveria* que se desarrollan en los ambientes xerófiticos, aprovechan los microambientes más sombreados como el que proporciona la cobertura de plantas nodrizas o bien las pendientes orientadas hacia el norte (Walther, 1972).

Distribución y diversidad del género *Echeveria*

Echeveria incluye 140 especies y 38 variedades, distribuidas desde el sur de Estados Unidos de América hasta el norte de Argentina. En México se encuentran la mayor riqueza con 110 especies, de las cuales 107 que representa el 97.2 % son endémicas al país (García-Mendoza *et al.*, 2004). Este porcentaje de endemismo es probablemente el más alto a nivel de familia y géneros en el país (De Jesús, 2013).

Las echeverias están presentes en una gran variedad de ambientes, aunque la mayoría de las especies prefieren la vegetación de clima templado donde se desarrollan los bosques de *Pinus* y de *Quercus*. Las especies endémicas de este género se

distribuyen en los bosques tropicales secos. La mayoría de las especies crecen preferentemente en suelos someros, en grietas de las rocas, peñas, cañadas, laderas escarpadas y pedregales (Reyes *et al.*, 2014). Las poblaciones de echeverias en su hábitat natural están conformadas por poco más de 100 plantas por especie que se desarrollan en microambientes específicos y generalmente conforman agrupamientos aislados, hecho que indica su adaptación ecológica, altamente especializada (Pilbeam, 2008).

El género *Echeveria* fue propuesto por de Candolle en 1828 para separar las especies que desarrollan una inflorescencia lateral, hojas en roseta y los pétalos unidos en una pequeña porción basal formando un tubo, de las especies de *Cotyledon* que es un género europeo y que forma una inflorescencia terminal, hojas opuestas y pétalos connados formando un tubo. El nombre del género honra al ilustrador botánico mexicano Atanasio Echeverría Godoy, quien realizó numerosos dibujos para la Flora de México en colaboración con los botánicos Martín Sessé y Lacasta y José Mariano Mociño, como parte de la Real Expedición Botánica a Nueva España (Pérez-Calix, 2004).

Descripción botánica

***Echeveria* DC.**

Plantas herbáceas, anuales o perennes a veces sufrutescentes o arbustivas, generalmente suculentas, grabas o pubescentes.

Raíces fibrosas a veces engrosadas, fusiformes. **Tallos** simples o ramificados. **Hojas** carnosas, dispuestas en espiral, o alternas, opuestas u ocasionalmente verticiladas, por lo general simples y enteras, formando rosetas densas o laxas de color verde claro a oscuro, lustrosas, pruinosos o glaucas, algunas veces papilosas o muriculadas, las caulinares frecuentemente con la base prolongada más allá de su inserción con el tallo, estípulas ausentes; márgenes principalmente enteros, rara vez lacerados o fimbriados, glabras o pubescentes. **Inflorescencia** lateral, en cincinio, racimos, espigas o panículas, rara vez solitarias; tallo floral o pedúnculo de color verde, amarillento o rojizo con brácteas alternas, sésiles, flores hermafroditas, hipóginas, actinomorfas, con cinco sépalos, con frecuencia desiguales, libres o connados, corola de cinco pétalos libres o unidos cerca de la base, en algunas especies se forma un tubo generalmente persistentes, de color amarillo, anaranjado, rojizo, rosa, blanco, verde o la combinación de estos colores, lóbulos erectos o extendidos en el ápice, imbricados, estambres

10, cinco de ellos insertos en la base de la corola, opuestos a los lóbulos y cinco parcialmente unidos a la base y alternando con los lóbulos, anteras dehiscentes longitudinalmente; gineceo súpero, carpelos cinco, libres o fusionados cerca de la base, receptáculo generalmente con una escama nectarífera en la base de cada carpelo, estilo subulado o filiforme, óvulos uno a numerosos en cada carpelo, placentación parietal. **Fruto** compuesto de folículos, oblongo, erecto o divergentes generalmente libres de ellos, con una a numerosas **semillas** pequeñas (Pérez-Calix, 2008).

***Echeveria elegans* Rose**

Roseta cespitosa, globosas; **hojas** oblongo-obovadas, ápice agudo a mucronado, margen algo hialino de 3.0-6.0 cm largo, 1.0-2.0 cm de ancho, verdes más o menos pruinosas; **tallo** hasta 10 cm largo, 0.5-1.0 cm de diámetro; **tallos florales** varios de 10-15 cm alto; **inflorescencia** cincinnos con 6-10 flores, pedicelos hasta 6.0 mm de largo, corola conoide-urceolada de 12 mm largo y 8 mm de diámetro en la base, rojizo en el ápice de los pétalos, verdes en botón luego anaranjados; **semillas** ovoide-piriformes, de 0.5 mm de largo y 0.2 mm de ancho, pardas.

Distribución: Endémica del estado de Hidalgo en la Sierra de Pachuca, Barranca del Carmen y Santa María Regla (Meyrán & López, 2003).

Echeveria elegans se cultiva extensamente en México y frecuentemente estos especímenes se emplean para elaborar diseños de fantasía que se utilizan en jardinería de parques o plazas. Un ejemplo de esta práctica es la espectacular "cerca de conchas" en Omitlán, Hidalgo (Walther, 1972).

El material tipo de *Echeveria elegans* que recibió el Dr. Rose pudo proceder de plantas cultivadas. La planta original vista en el Jardín Botánico de Huntington parece haber sido un clonotipo, enviado originalmente por el Dr. Rose. Las hojas se enfermaron a consecuencia de una infección fúngica. Posteriormente se importaron plantas vivas a través del Sr. Halbinger y el Dr. Cox las cuales no difirieron de las características del tipo (Pilbeam, 2008).

***Echeveria gigantea* Rose & Purpus**

Roseta semidensa, hasta 60 cm de diámetro; **hojas** 15-20 obovadas, ápice redondeado, emarginado a apiculado, 15-30 cm largo y 10-20 cm ancho, verdes rojizas, algo pruinosas con bordes rojos; **tallo** hasta 50 cm largo, 4.0-8.0 cm diámetro; **tallos florales** 1-3, 1-2 m alto con hojas ascendentes, oblongo espatuladas, obtusas a agudas; **inflorescencia** en panícula de 3-7 cincinos de 7-16 flores cada uno, pedicelos de 2-8 mm largo; sépalos desiguales, deltoides a lanceolados, acuminados,

extendidos o recurvados, el mayor de 15 mm largo; corola urceolada de 12-17 mm de largo, 9-11 mm de diámetro basal; pétalos rojo oscuro a rosado; nectarios blancos; **semillas** ovoide-piriformes, de 0.6 mm de largo y 0.2 mm de ancho, pardas oscuras.

Distribución: Oaxaca: Coixtlahuaca, Teposcolula, Tlaxiaco, San Miguel Aztatla, Huajuapán. Puebla: Chapulco y San Luis Atolotitlán (Meyrán & López, 2003).

Echeveria gigantea es una especie morfológicamente parecida con *Echeveria gibbiflora* y se distinguen entre sí por la coloración de las hojas. *E. gibbiflora* presenta una coloración verde-azulado pálida mientras que, *E. gigantea* presenta en las hojas bordes rojizos (Pilbeam, 2008).

Propagación vegetativa

Varias especies del género *Echeveria* enraizan con facilidad cuando se hacen estacas de tallo o de hoja. Las raíces adventicias en ambas clases de estaca surgen de la parte basal. La diferenciación y formación de raíces adventicias requiere de tiempos que van de cuatro a seis semanas. Una vez que las raíces se han formado, se desarrolla y diferencia un brote de roseta dando origen con esta estructura a un nuevo individuo (Sánchez, 2010). La propagación vegetativa es un proceso que

ocurre con frecuencia en el medio silvestre en las especies de este género. Las hojas maduras de plantas de echeveria que responden éxitosamente a la propagación vegetativa, suelen desprenderse cuando aún no se ha terminado la reabsorción de nutrimentos durante el proceso de senescencia. Una vez que estas estructuras se depositan en el piso forestal, dependerán de la interacción de humedad y temperatura del suelo para estimular la diferenciación de las raíces adventicias y después la formación de brotes aéreos (Larson, 1992). Algunas especies de echeverias y en general de crasuláceas responden con rapidez a los estímulos de humedad y temperatura del ambiente para iniciar la formación de raíces adventicias. En estos casos, la planta cuenta con "raíces preformadas" que son porciones de tejido meristemático distribuido en los tejidos foliares. Dada la totipotencialidad del tejido meristemático y capacidad de diferenciación celular, se promueve de esta manera, la formación de raíces adventicias con mayor rapidez. En cambio, para las especies que no tienen raíces preformadas, se requiere de mayor tiempo para la producción de raíces adventicias, ya que estas se desarrollan sólo después de que los tejidos foliares se han desdiferenciado, han formado tejido de callo y éste se ha diferenciado en raíces adventicias (Mansilla, 2004).

Para lograr una propagación vegetativa exitosa se requiere desarrollar la habilidad para hacer diferentes cortes de las estacas, manipularlas y conocer sus características fisiológicas. Asimismo, es necesario conocer los aspectos morfológicos y fisiológicos relacionados con la respuesta diferencial en la producción de raíces adventicias (Medina, 2012). Otras técnicas de propagación vegetativa distintas al estacado es la división. Esta técnica se puede realizar en las especies que desarrollan proliferación de hijuelos, donde basta separar hijuelos que tienen un sistema radical y al menos un brote aéreo. Las técnicas de propagación vegetativa tienen la ventaja de obtener plantas adultas en intervalos de tiempo más o menos cortos y presentan la gran desventaja de la carencia de recombinación genética (Meyrán & López, 2003).

Aunque se conoce que *Echeveria* es uno de los géneros que frecuentemente producen nuevas plantas a partir de estacas de hojas (Pilbeam, 2008), son pocos los estudios registrados sobre la propagación vegetativa de especies del género. Piña-Poujol (2003) investigó las condiciones en las que se propagó más eficientemente a *E. laui* a partir de estacas de hojas obteniendo una propagación con nula diferencia a los tratamientos aplicados (diferentes niveles de nutrientes y radiación lumínica). Verastegui y Reyero (2009) también

propagaron *E. laui* a partir de esquejes de hoja. Obtuvieron rosetas en 60 días controlando humedad relativa, temperatura y fotoperiodo. El sustrato no fue indispensable para la propagación por esqueje. Raju & Mann (1970) y Raju & Grover (1976) estudiaron el efecto de una auxina (picloram) en diferentes concentraciones para la regeneración en hojas de *E. elegans*. Solís *et al.* (2013) propagaron *in vitro* yemas axilares de *E. elegans* como una alternativa de multiplicación para la preservación de la especie, estableciendo las concentraciones ideales de dos reguladores de crecimiento para la generación de brotes y enraizamiento.

Propagación por semilla

Una semilla es la estructura que contiene un embrión, tejido de reserva que puede estar ausente y una cubierta o testa protectora (Nabors, 2006). Las semillas o diásporas están directamente relacionadas con los procesos de dispersión, latencia y germinación. La germinación constituye la primera etapa del desarrollo vegetal que inicia con la imbibición y termina con la emergencia de la radícula. Los meristemas apicales del tallo (epicótilo) y radicular son los tejidos con mayor totipotencialidad celular a partir de los cuales se diferencian los demás tipos celulares que conformarán los órganos de una nueva planta (Moreno, 1984). La germinación de

las semillas es un proceso complejo y dinámico donde se activa la semilla para pasar de una etapa de almacenamiento a una de movilización. El proceso comprende tres fases, la primera de imbibición o hidratación, en la cual la semilla permite la entrada de agua, en la segunda fase disminuye la absorción de agua y la actividad metabólica aumenta; en la tercera fase hay elongación de las células de la radícula y se absorba la emergencia de la misma. La primera y la segunda fase son reversibles, mientras que la tercera fase es irreversible debido a la emergencia de la radícula. La duración de estas fases depende de las propiedades de las semillas, del contenido de compuestos hidratables y de la permeabilidad de las cubiertas (Ortiz, 2015).

Una semilla latente es aquella que no germina a pesar de contar con las condiciones ambientales adecuadas de humedad, temperatura, luz y oxígeno que promuevan su germinación. La semilla no latente o quiescente es aquella que germina cuando las condiciones de humedad, temperatura, luz y oxígeno se encuentra en el rango requerido para la especie. La semilla quiescente no germina si está ausente la condición óptima de uno o más factores ambientales (Ortiz y Castillo, 2007).

La latencia suele clasificarse como endógena, que es aquella adquirida por características morfofisiológicas del

embrión y la latencia exógena que es debida a las propiedades de la testa o cubierta seminal (Silvertown, 1999).

Piña-Poujol (2003), propago por semillas *E. laui* obteniendo que la germinación se vio afectada por la temperatura, la luz y la edad de las semillas. El crecimiento de las plántulas fue menor en la sombra, pero no se vio afectado por la adición de nutrientes. Verastegui y Reyero (2009) propagaron también individuos de *E. laui* observando que las semillas presentan una sensibilidad al valor de viabilidad con las fluctuaciones de temperatura y requieren de 280 días de maduración para aumentar el número de germinados.

Crecimiento y desarrollo

El término desarrollo se considera sinónimo de morfogénesis. El desarrollo es el conjunto de cambios graduales y progresivos en tamaño, estructura y función que hace posible la transformación del cigoto en una planta completa (Azcón-Bieto & Talón, 2008). En cambio, el crecimiento se define como un aumento cuantitativo e irreversible en volumen, tamaño o peso. El crecimiento puede ser analizado cuantitativamente con la cinética del movimiento, es decir, el estudio del crecimiento en función del tiempo (Taiz & Zeiger, 2002). Por lo general, la cinética del crecimiento de una planta sigue una curva

sigmoidea, en la que se distinguen tres partes: un periodo temprano de corta duración en donde el crecimiento es lento, el cual corresponde al estadio de plántula; un periodo central de crecimiento rápido, que corresponde al periodo vegetativo de la planta, y un periodo final en el que el crecimiento se desacelera hasta hacerse nulo, y corresponde a la floración y maduración del fruto (Rojas, 1993).

Juvenilidad

La juvenilidad o estado vegetativo es la condición de una planta previa a la floración o gametogénesis. Existen parámetros fenotípicos asociados a la juvenilidad, entre ellos se encuentran los cambios en la capacidad de formación de raíces adventicias; en la forma, área, volumen y distribución de estomas; longitud de los pecíolos; en el volumen del meristemo apical; en la extensión de la actividad meristemática subapical, en el número de nudos por yema; en el hábito de crecimiento y longitud de los entrenudos; en la respuesta a los reguladores de crecimiento; en la forma del tallo, lignificación, color y producción de espinas. Además, la capacidad organogénica y la resistencia a enfermedades de las plantas juveniles puede variar en relación con las adultas (Hackett, 1985).

HIPÓTESIS

La formación de la roseta en organismos de *Echeveria elegans* y *Echeveria gigantea* a partir de estacas de hoja será más rápido con respecto al desarrollo obtenido por semilla. Así mismo, la conformación de rosetas será más rápido en estacas provenientes de plantas juveniles o en estado vegetativo en relación con las obtenidas de ejemplares reproductivos.

OBJETIVOS

General

Evaluar el desarrollo morfogenético de la roseta en *Echeveria elegans* y *Echeveria gigantea* a partir de semilla y de estaca de hoja con fines de propagación.

Particulares

- ✓ Determinar la calidad de la semilla en términos de la viabilidad y germinación en *E. elegans* y *E. gigantea*.
- ✓ Valorar la presencia de latencia de las semillas de ambas especies.
- ✓ Evaluar la producción de raíces adventicias en hojas en ambas especies.
- ✓ Caracterizar el desarrollo de rosetas a partir de estacas de hojas.
- ✓ Describir el desarrollo plantular de *E. elegans* y *E. gigantea*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Colecta de semillas

Se recolectaron folículos maduros de *Echeveria elegans* en el Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM. En el caso de *E. gigantea* se recolectaron en un bosque de encinos ubicado a 8 km de Tejupan camino a Suchixtlahuaca, en el estado de Oaxaca. Se muestrearon para cada especie 10 organismos con folículos maduros para la toma de semillas. Los folículos recolectados correspondientes de cada especie se colocaron en bolsas de estraza para su transporte y para contener en ese espacio a las semillas dispersadas. La madurez de los folículos se determinó por una incipiente dehiscencia.

Colecta de material vegetativo

Se recolectaron hojas provenientes de ejemplares en estado vegetativo y reproductivo de *Echeveria elegans*, estos fueron obtenidos de un vivero ubicado en la Ciudad de México, en la delegación de Coyoacán. Para *E. gigantea* se obtuvieron de la misma zona indicada en la colecta de semillas. Las muestras de hojas se obtuvieron de 25 organismos reproductivos y 25 vegetativos. La extracción de hojas en ambas especies fue manual, se desprendió el área que une la base de la hoja con el tallo. Para el caso de *E. gigantea*, las estacas de hoja se

obtuvieron en campo y se trasladaron en bolsas de papel estraza al laboratorio. Se dejaron cicatrizar por cinco días posteriores a su extracción. La condición reproductiva de los ejemplares de donde se obtuvieron las estacas se evaluó por evidencias de residuos florales o frutales.

Etapa de Laboratorio

Para ayudar a la apertura total de los folículos se realizó una disección del fruto con pinzas y aguja de disección. Las semillas extraídas se almacenaron en frascos de vidrio, etiquetándolos con el nombre de la especie, fecha de colecta, localidad, colector y número de colecta. Se elaboraron muestras compuestas de cincuenta semillas al azar para evaluar la viabilidad, germinación y latencia.

Prueba de viabilidad

Se realizó una prueba bioquímica de viabilidad mediante la técnica de cloruro de 2, 3, 5-trifeniltetrazolio (TTC), con lotes de 50 semillas para cada especie. Las semillas se dejaron en remojo con agua durante dos horas y posteriormente se sumergieron en una solución de TTC al 1% durante 12 horas en oscuridad a temperatura ambiente, se enjuagaron dos veces con agua corriente, y una más con agua destilada. Las semillas teñidas fueron observadas al microscopio estereoscópico, se

fotografiaron y dibujaron los patrones de tinción. Se consideraron como viables aquellos embriones que se tiñeron completamente o aquellos que presentaron un nivel de saturación de tinción en la semilla. La viabilidad se calculó como el porcentaje de semillas vivas o teñidas de rojo entre el total de semillas estudiadas multiplicadas por 100. Las semillas no teñidas se consideraron inviables, mientras que, aquellas que no presentaron embrión se catalogaron como semillas vanas (Medina, 2012).

Germinación

Se prepararon unidades de germinación que consistieron en cajas Petri donde se colocó una capa de algodón de aproximadamente un cm de espesor y sobre este material se puso papel filtro. Para cada una de las especies se formaron cuatro lotes con 50 semillas cada uno. Un lote se consideró el control y los tres restantes fueron repeticiones. Las semillas se desinfectaron sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio comercial al 5% (0.25% de cloro activo) con unas gotas de jabón líquido durante 20 minutos, posteriormente se enjuagaron tres veces con agua destilada. Para la manipulación de las semillas durante el procedimiento de desinfección, se elaboraron sobres de papel filtro que contenían 50 semillas cada uno. Al término de la desinfección, las semillas contenidas en los

sobres fueron vaciadas sobre el papel filtro de las cajas Petri. Las unidades de germinación con las semillas fueron regadas con agua potable. Las cajas Petri con las semillas se instalaron en un sitio iluminado del invernadero de la Colección de Cactáceas y otras Suculentas de la FES-Z. Se controló que la humedad permaneciera a su máxima capacidad de retención durante 30 días. El indicador de la germinación fue la emergencia de la radícula. Se registró el porcentaje de germinación multiplicando la suma de los cuatro lotes de germinados por cien entre el total de semillas sembradas por especie. Con los datos obtenidos se elaboraron curvas de germinación acumulada.

Prueba de latencia

Para detectar la presencia de latencia, se diseñaron dos tratamientos pregerminativos, uno fue remojo en agua y el otro fue una estratificación. El remojo en agua consistió en someter lotes de 50 semillas a tres tratamientos con distinta duración que fueron 30 minutos, 2 horas y 3 días. Cada tratamiento tuvo una repetición y terminado el remojo, las semillas fueron colocadas en cajas Petri con algodón y papel filtro. Para la estratificación se prepararon cuatro cajas Petri de la misma manera que en el remojo, dos lotes de semillas se colocaron a temperatura de 4°C durante una semana y los otros dos lotes

restantes se sometieron a la misma temperatura por dos semanas. Posteriormente las cajas fueron puestas a germinar usando el mismo procedimiento que la prueba de germinación. La evaluación de la prueba de latencia se realizó mediante curvas de germinación contrastadas con los resultados de la prueba de germinación y de viabilidad.

Trasplante y desarrollo de la roseta

Las plántulas de ambas especies se trasplantaron en una charola de plástico con vermiculita, musgo y humus de lombriz en proporción 2:1:1 en volumen. Cada semana se registró el desarrollo de la roseta de las dos especies. Se midió el crecimiento en altura, diámetro y se contabilizó el número de hojas por roseta. Se documentaron la forma y el color de las hojas.

Estacas de hoja

Se sustrajeron manualmente hojas de la zona media de la roseta de plantas juveniles (no reproductivas) y de plantas maduras (reproductivas) y se denominaron en este trabajo como hojas jóvenes y hojas maduras. Se formaron ocho lotes de estacas de hoja, cuatro de *Echeveria elegans* y cuatro de *E. gigantea*. Cada lote se compuso de 30 hojas. Dos lotes con estacas de hojas juveniles y dos lotes de estacas de hojas maduras. Las estacas

se colocaron en recipientes de plástico con sustrato de vermiculita y musgo proporción 1:1 en volumen. Las hojas se colocaron verticalmente sobre la superficie del sustrato hasta cubrir aproximadamente un cuarto de la hoja, el sustrato se humedeció a capacidad de campo y el recipiente se cubrió de la parte superior con un vidrio para evitar la pérdida de humedad.

El sustrato con las hojas se regó con agua potable cada siete días usando un aspersor. Cada quince días se midieron la longitud y el número de raíces adventicias producidas por las hojas. Los resultados se analizaron mediante una prueba U de Mann-Whitney (Rojas, 2003), para comparar las medianas de las dos muestras (estacas maduras y jóvenes). Esta prueba se construyó combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rangos promedio de las dos muestras en los datos combinados, respecto a la producción de raíces adventicias en estacas de hojas maduras contra jóvenes de la especie correspondiente.

Se registró el brote de roseta en las estacas puestas a enraizar. Se midió la altura y diámetro de estas estructuras y se indicó el número de hojas desarrolladas hasta alcanzar los seis meses de edad. Con los datos obtenidos se registró el promedio de rosetas formadas por especie en unidad de tiempo. Se aplicó una prueba U de Mann-Whitney, en la formación de la

roseta entre hojas jóvenes contra hojas maduras de la especie correspondiente.

Caracterización del desarrollo plantular

El desarrollo de las plántulas de *Echeveria elegans* y *E. gigantea* se caracterizó desde el crecimiento de la radícula hasta la conformación de una roseta de seis meses de edad. Cada mes se fotografiaron las etapas del desarrollo plantular. Se registraron la altura, el diámetro y el número de hojas de las plántulas. Con los datos se construyó una curva que describe el desarrollo plantular de cada una de las especies a lo largo del tiempo.

RESULTADOS

Recolecta del material biológico

Las semillas de *Echeveria elegans* fueron donadas de plantas ubicadas en el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM (Figura 1), mientras que los organismos fueron obtenidos de la Exposición Permanente de Agricultores y Viveristas de Coyoacán. En la figura 2 se muestra un aspecto de la localidad en que se recolectó el germoplasma de *E. gigantea* durante el mes de enero. El tipo de vegetación de esa localidad corresponde a un bosque de encino.



Figura 1. *Echeveria elegans*, Jardín Botánico IB UNAM.



Figura 2. Localidad de *Echeveria gigantea* de donde fue recolectado el germoplasma.

Prueba de viabilidad

El porcentaje de semillas viables fue de 38% para *Echeveria elegans* (Cuadro 1) mientras que, *E. gigantea* tuvo una viabilidad de 96.3% (Cuadro 2). Se identificaron cuatro patrones de tinción en las semillas de *E. elegans* en relación con la saturación del color. El primer patrón correspondió a una coloración rojiza intenso, el segundo fue ligeramente rojizo, el tercero fue una coloración parcial y el último patrón fue la ausencia de tinción (Figura 3 y 4).

Cuadro 1. Porcentajes de tinción *Echeveria elegans*.

Patrón de tinción	Semillas teñidas (%)	Semillas teñidas totales (%)
Coloración rojiza intenso	18	38
Ligeramente rojizo	15	
Parcialmente rojizo	5	
No teñidas	62	62

En *Echeveria gigantea* se identificaron tres patrones de tinción con base en la saturación del color. El primer patrón fue rojiza intensa, el segundo fue ligeramente rojiza y el tercer patrón fue la ausencia de tinción (Figura 3).

Cuadro 2. Porcentajes de tinción *Echeveria gigantea*.

Patrón de tinción	Semillas teñidas (%)	Semillas teñidas totales (%)
Coloración rojiza intenso	71.4	
Ligeramente rojizo	24.9	96.3
No teñidas	3.7	3.7

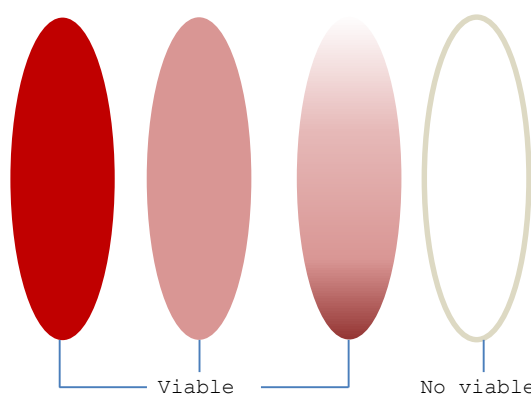


Figura 3. Patrones de saturación del color por tinción.

Figura 4. Vista en el microscopio estereoscópico de semillas teñidas de *Echeveria elegans*.

Germinación

El porcentaje de germinación de *Echeveria elegans* fue del 25.5% (Cuadro 3). Mientras en *E. gigantea* el porcentaje de germinación fue del 88% (Cuadro 4).

Cuadro 3. Prueba de germinación de *E. elegans*.

Prueba de germinación	Número de semillas germinadas sobre el total de semillas sembradas	Variación de los valores de germinación (%)
Control	7/50	
Repetición 1	14/50	100
Repetición 2	25/50	257
Repetición 3	5/50	28.57

Cuadro 4. Prueba de germinación de *E. gigantea*.

Prueba de germinación	Número de semillas germinadas sobre el total de semillas sembradas	Variación de los valores de germinación (%)
Control	41/50	
Repetición 1	44/50	7.3
Repetición 2	46/50	12.15
Repetición 3	45/50	9.75

Se muestra la curva del porcentaje de germinación acumulada de *E. elegans*. El 10% de semillas germinan entre el día 45 y 46 después de la siembra, a los 65 días la curva de germinación se vuelve asíntota (Figura 5).

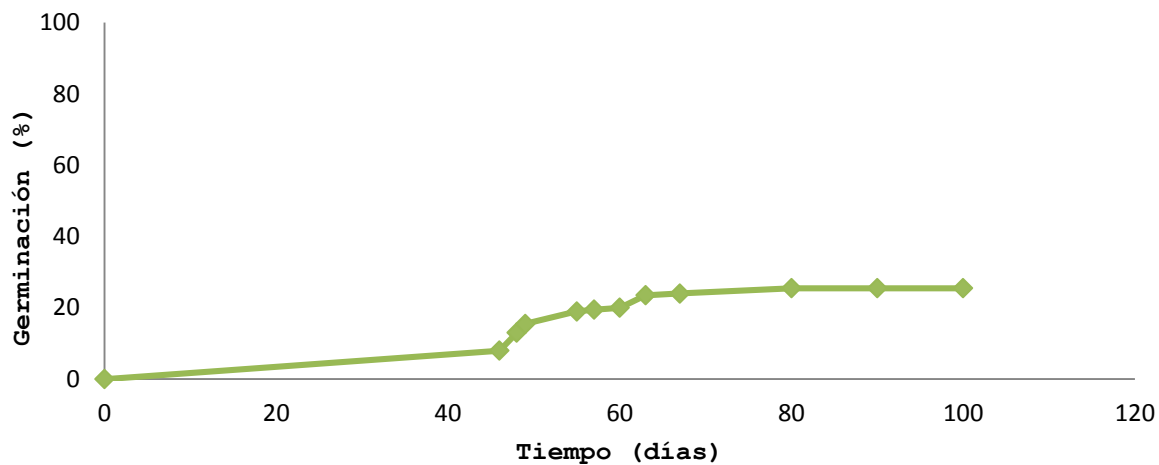


Figura 5. Curva de germinación de *E. elegans*.

En la prueba de germinación acumulada de *E. gigantea* se obtuvo que el 50% de las semillas germinaron entre el día 6 y 7 después de la siembra, a los 13 días la curva de germinación se vuelve asíntota (Figura 6).

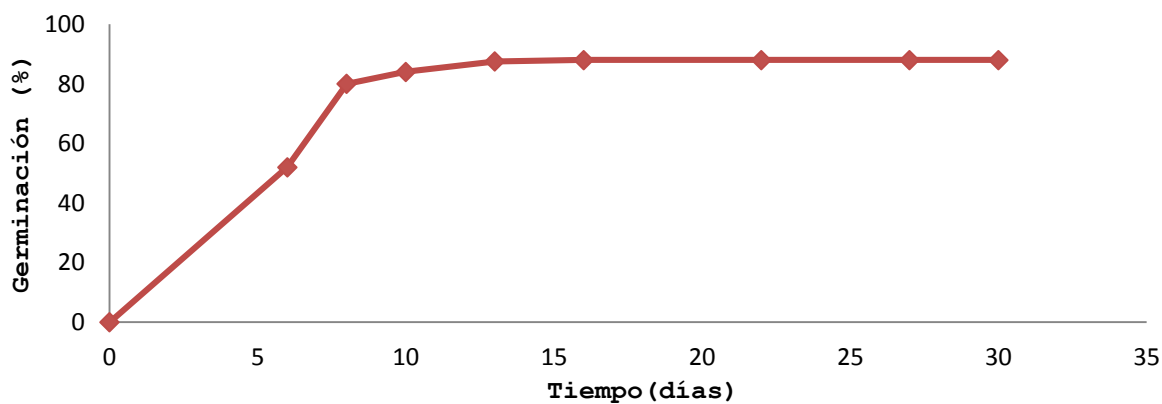


Figura 6. Curva de germinación de *E. gigantea*.

El desarrollo de *E. elegans* y *E. gigantea* es epigeo; asimismo, los cotiledones son conspicuos. Las raíces de las plántulas de ambas especies fueron visibles sólo al microscopio estereoscópico.

Prueba de latencia

La comparación de los porcentajes de germinación obtenidos en las pruebas de latencia, la prueba de germinación y la de viabilidad mostraron que no existió latencia en las semillas de *Echeveria elegans* y *E. gigantea* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados de las pruebas de viabilidad, germinación y latencia.

	Viabilidad (%)	Prueba de germinación (%)	Pruebas de latencia (%)	
			Remojo	Estratificación
<i>E. elegans</i>	38	25.5	21.3	23
<i>E. gigantea</i>	96.3	88	72	80

Estacas de hoja

Producción de raíces adventicias

En *Echeveria elegans* las raíces adventicias surgieron a partir del día 40 y terminaron el día 60. En las estacas jóvenes el promedio de la longitud de raíces por estaca fue de 1.85 cm. En estacas maduras fue de 2.84 cm (Figura 7).

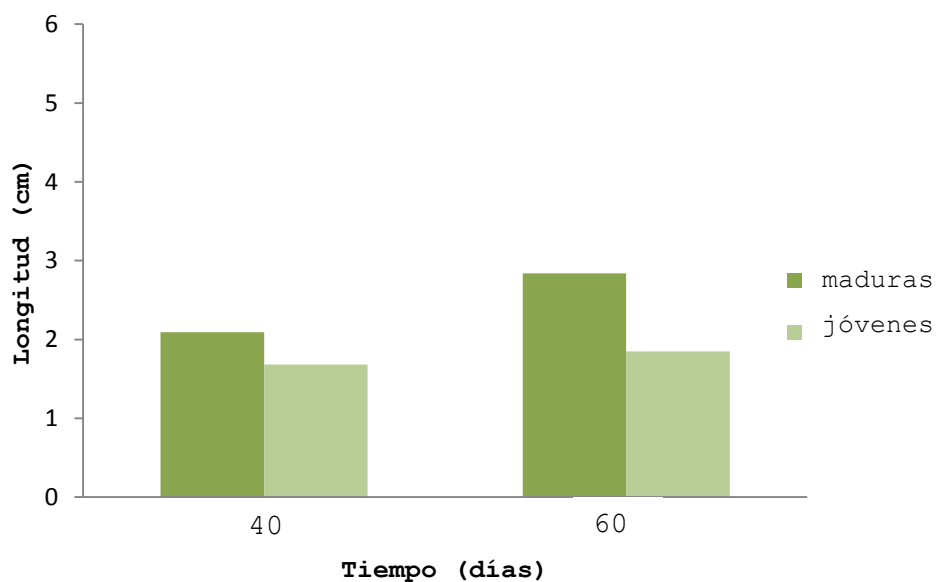


Figura 7. Longitud promedio de raíces adventicias en *E. elegans*.

En estacas jóvenes se registró un promedio de 16 raíces por estaca de hoja. En estacas maduras el número de raíces fue de 26 (Figura 8).

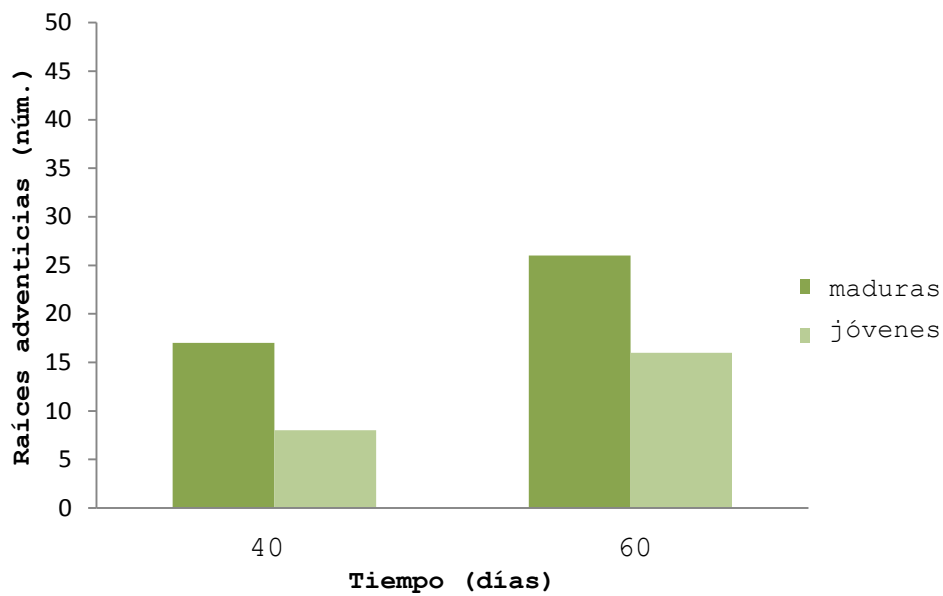


Figura 8. Promedio del número de raíces adventicias por hoja en *E. elegans*.

Estos datos demostraron ser estadísticamente significativos. Se rechazó la hipótesis estadística de que las longitudes y el número de raíces adventicias en promedio, fueran iguales en estacas jóvenes y estacas maduras (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba U de Mann-Whitney para brotes de raíces adventicias en *E. elegans*.

Estacas jóvenes contra maduras	Valor-P	Nivel de confianza (%)	P
Longitud de raíces	0.00231846	95	0.05
Núm. de raíces	0.000236266	95	0.05

Para el caso de *Echeveria gigantea* el surgimiento de raíces adventicias iniciaron el día 15 y terminaron el día 30. En estacas jóvenes alcanzó un promedio de longitud de 2.9 cm y en las estacas maduras fue de 5 cm (Figura 9).

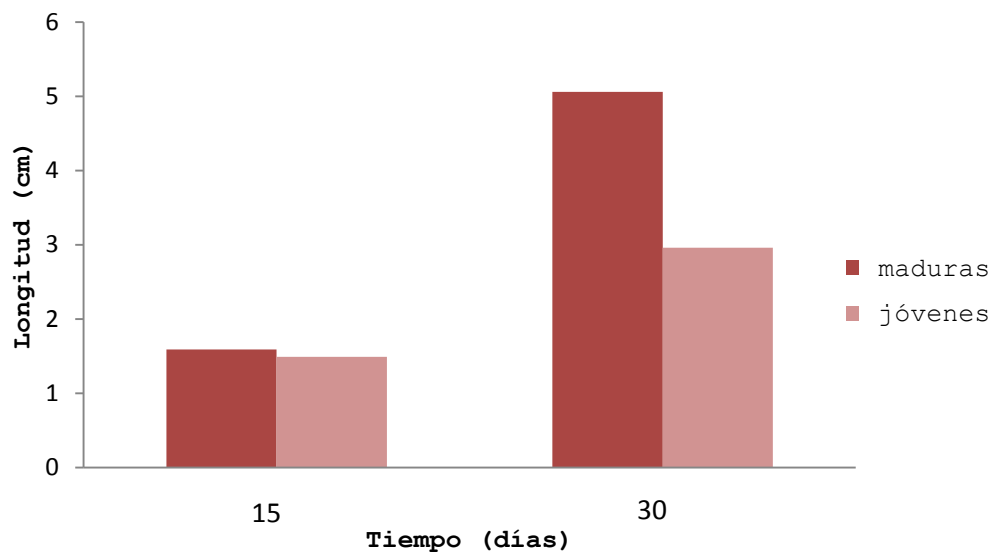


Figura 9. Longitud promedio de raíces adventicias en *E. gigantea*.

En estacas jóvenes hubo un número promedio de 23 raíces por estaca de hoja. En estacas maduras el número de raíces fue de 43 (Figura 10).

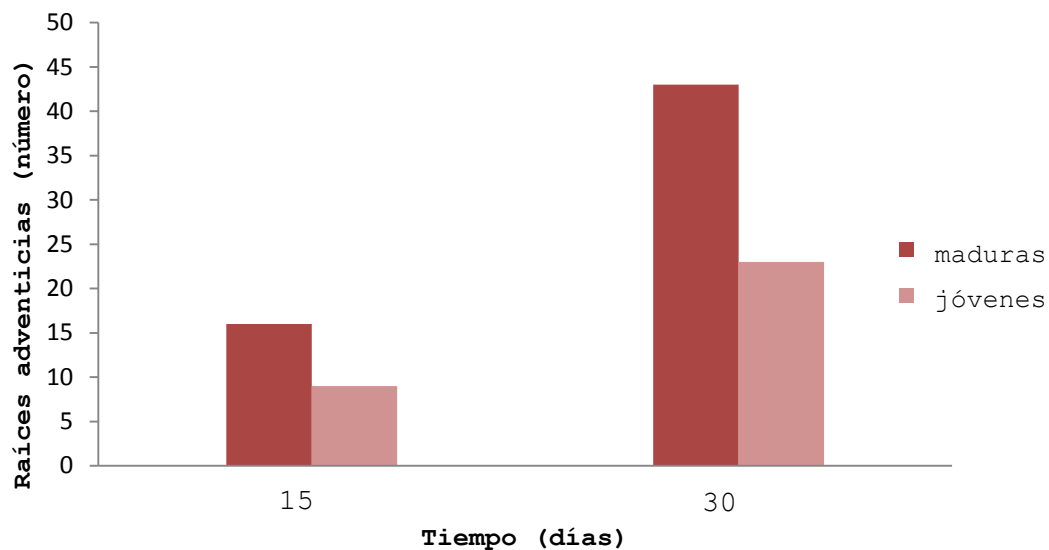


Figura 10. Promedio del número de raíces adventicias por hoja en *E. gigantea*.

Los datos demostraron no ser estadísticamente significativos. Se aceptó la hipótesis estadística de que la longitud y el número de raíces adventicias en promedio fuera igual en estacas jóvenes y estacas maduras (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba U de Mann-Whitney para brotes de raíces adventicias en *E. gigantea*.

Estacas jóvenes contra maduras	Valor-P	Nivel de confianza (%)	P
Longitud de raíces	0.20748	95	0.05
Núm. de raíces	0.134431	95	0.05

Formación de roseta

La formación de roseta en *Echeveria elegans* inició el día 25. En el mes seis, el 90% de las estacas jóvenes presentaron formación de roseta (Cuadro 8). En el mes seis, el 62% de las estacas maduras presentaron formación de roseta (Cuadro 9).

Cuadro 8. Medidas promedio de estacas jóvenes en *E. elegans*.

	Diámetro del brote (cm)	Altura del brote (cm)	Número de hojas por roseta
Tiempo (meses)			
1	0.63	0.63	5
2	0.68	0.75	6
3	1.13	0.9	8
4	1.29	1.44	9
5	1.39	1.45	10
6	1.45	1.59	11
7	1.57	1.62	11
8	1.7	1.73	15

Cuadro 9. Medidas promedio de estacas maduras en *E. elegans*.

Tiempo (meses)	Diámetro del brote (cm)	Altura del brote (cm)	Núm. de hojas por roseta
1	0.4	0.21	4
2	0.85	0.85	8
3	1.56	1.25	10
4	1.88	1.71	10
5	1.92	1.69	12
6	1.96	1.74	13
7	2.02	1.71	13
8	2.15	2.13	14

En la figura 11 se observan los datos del diámetro de las rosetas en estacas jóvenes y maduras de *Echeveria elegans* representados en dos diagramas de caja con bigote. El diagrama correspondiente a las estacas jóvenes es ligeramente asimétrico, la mediana y la media aritmética coinciden. El diagrama de las estacas maduras fue asimétrico. Fue aceptada la hipótesis estadística de que los diámetros de las rosetas en estacas de hoja fuera iguales en hojas jóvenes y hojas maduras (Cuadro 8). Los datos no demostraron ser estadísticamente significativos.

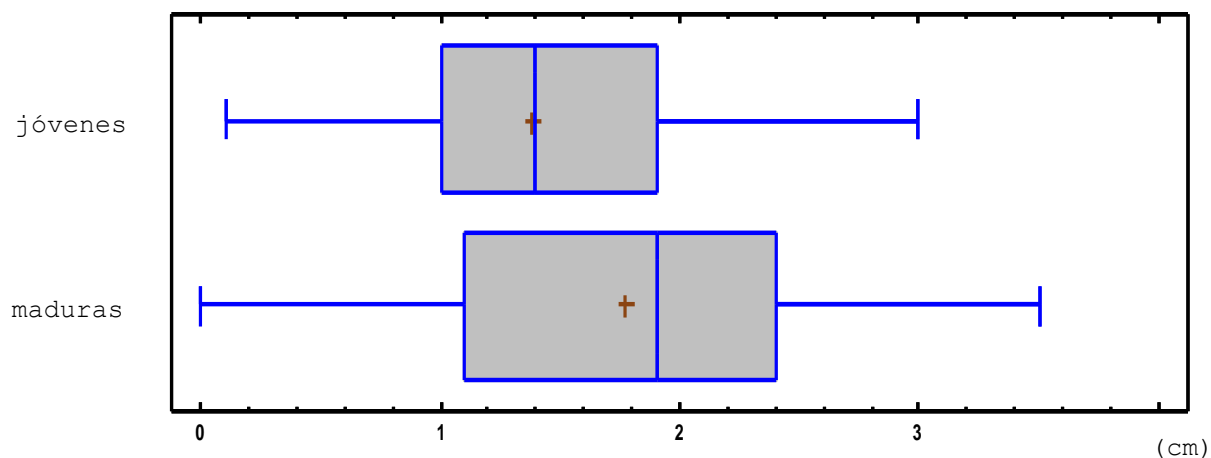


Figura 11. Distribución del diámetro de rosetas en estacas jóvenes y maduras en *E. elegans*.

En la figura 12 se observan los datos de altura de las rosetas en estacas jóvenes y maduras de *Echeveria elegans*. En estacas jóvenes, los datos exhiben una asimetría y hay cuatro valores atípicos. En estacas de hojas maduras los datos tienen una distribución asimétrica y la mediana y la media aritmética no coincidieron. Los datos demostraron ser estadísticamente significativos. Se rechazó la hipótesis estadística nula de que la altura de las estacas de hoja en promedio fuera igual en hojas jóvenes y hojas maduras (Cuadro 8).

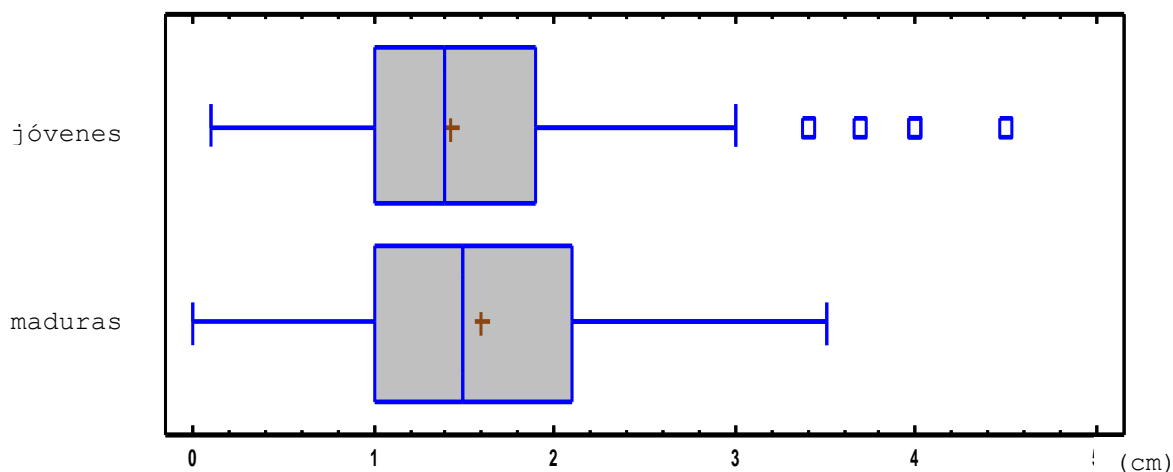


Figura 12. Distribución de la altura en rosetas de estacas jóvenes y maduras en *E. elegans*.

En la figura 13 se observan los datos de número de hojas por roseta en estacas de hojas jóvenes y maduras de *Echeveria elegans*. En estacas jóvenes el diagrama fue simétrico y la mediana y media aritmética coincidieron. En estacas maduras el diagrama fue asimétrico y la mediana y media aritmética no coincidieron. Los datos demostraron ser estadísticamente significativos. Se rechaza la hipótesis estadística nula de que el número de hojas por roseta en promedio fueran iguales en hojas jóvenes y hojas maduras (Cuadro 8).

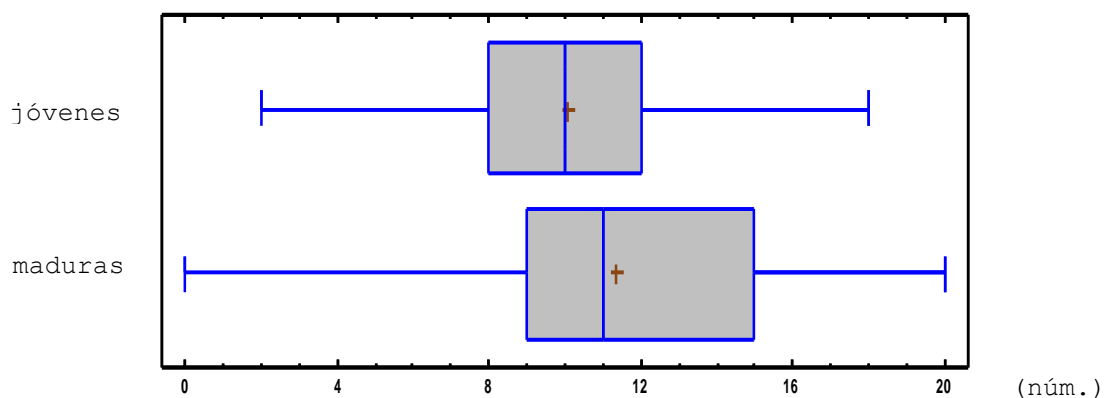


Figura 13. Distribución del número de hojas por roseta de estacas jóvenes y maduras en *E. elegans*.

En *Echeveria gigantea* no se generó brote de roseta en ningún tipo de estaca, ya que estas se descomponían o secaban.

Cuadro 8. Prueba U de Mann-Whitney para brotes de rosetas en *E. elegans*

Estacas jóvenes contra maduras	Valor-P	Nivel de confianza (%)	P
Diámetro	3.53738	95	0.05
Altura	0.019708	95	0.05
Núm. de hojas	0.00069838	95	0.05

Desarrollo plantular

En *Echeveria elegans* el rompimiento de la testa seminal y emergencia radicular se registró después de 45 días. En el día 68 inició la emergencia de los cotiledones que son de forma elíptica y de color verde. Se observaron pelos radiculares en la parte subapical de las raíces. En el día 75 se presentó la elongación del hipocótilo, que es de color blanquecino traslúcido. A partir del día 93 se observaron las primeras hojas verdaderas que son de color verde glauco con una longitud de 0.42 cm, los cotiledones permanecen adheridos a la plántula.

En *Echeveria gigantea* la emergencia de la radícula inició a los 6 días. La raíz embrionaria es de color verde translucido. Al día siete fueron observadas las hojas cotiledonares que son de forma elípticas y de color verde. También se observó la presencia de pelos radiculares. El hipocótilo presentó una elongación en el día nueve. Durante el día 34 se desarrolló el primer par de hojas verdaderas, de color verde de 1 mm de largo (Cuadro 9).

Caracterización de semillas

Las semillas de *Echeveria elegans* y *E. gigantea* son ovoide-piriformes, con el vértice obtuso redondeado a agudo, el ápice

es por lo general más o menos cónico (Walther, 1972). Las semillas de *E. elegans* son de 0.5 mm de largo y 0.2 mm de ancho, mientras que, en *E. gigantea* tiene 0.6 mm de largo por 0.2 mm de ancho (Cuadro 9).

Cuadro 9. Desarrollo plantular durante seis meses

		<i>Echeveria elegans</i>	<i>Echeveria gigantea</i>
Semilla	Color	pardo	pardo oscuro
	Talla	Ancho (mm)	0.20
		Largo (mm)	0.53
Germinación	Núm. de semillas	51	176
	Duración (días)	101	31
Cotiledones	Color	verde claro	verde claro
	Aparición (días)	5	7
	Forma	elíptica	elíptica
Desarrollo (promedio por roseta)	Altura (cm)	0.90	1.42
	Núm. de hojas	7	6
	Diámetro (cm)	1.31	2.18

Respecto a la sobrevivencia de las plántulas, en *Echeveria elegans* se tuvieron que de 51 plántulas emergidas sobrevivieron 26, es decir, el 50.98% hasta el sexto mes (Figura 16). En *E. gigantea* de 176 plántulas emergidas sobrevivieron hasta el sexto mes 63, es decir, el 35.79% (Figura 17).

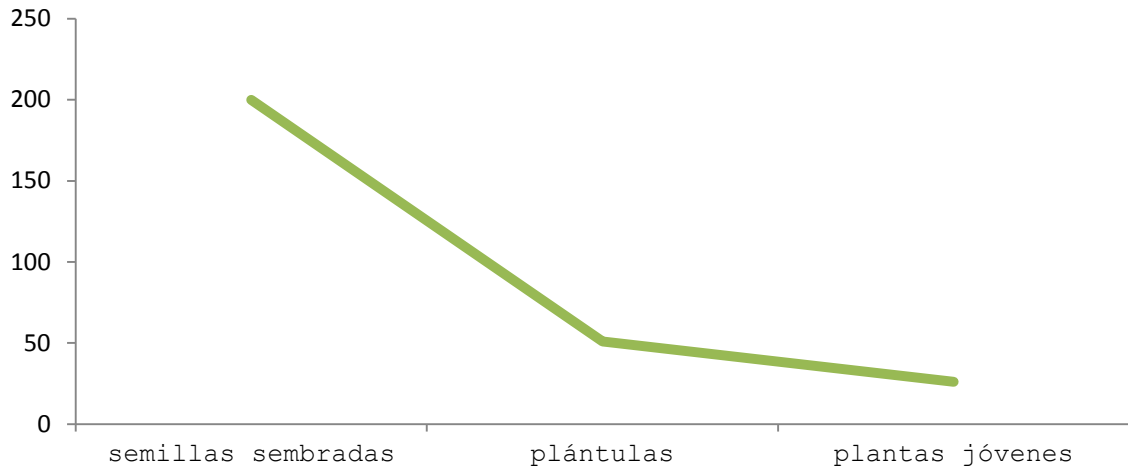


Figura 16. Desarrollo en *E. elegans* durante seis meses.

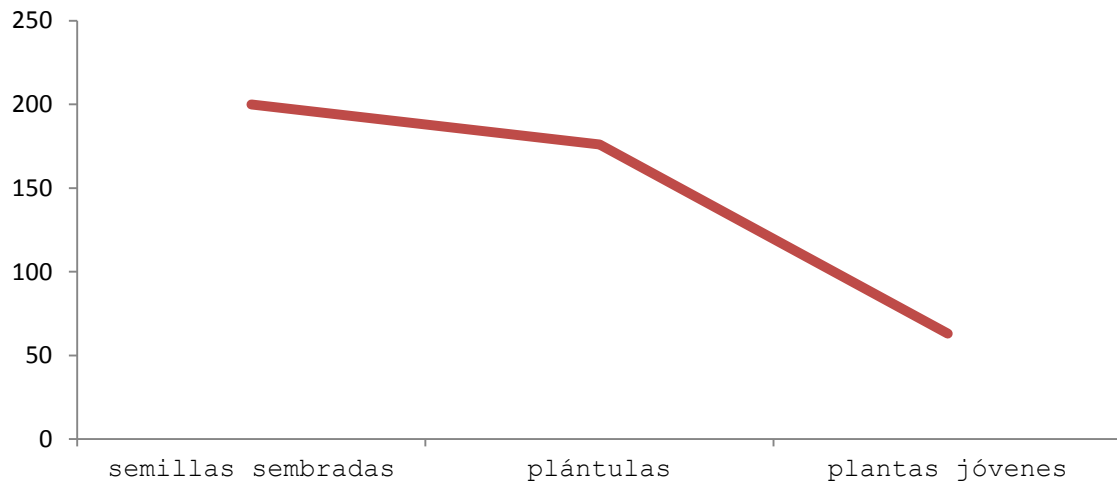


Figura 17. Desarrollo en *E. gigantea* es durante seis.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Echeveria elegans es una especie endémica con distribución restringida. Fue descrita a partir de material cultivado procedente de Omitlán Hidalgo, se desconoce su localidad tipo (García-Mendoza, 2003). Las plantas de *Echeveria gigantea* provienen de la localidad en la carretera a 8.5 km antes de municipio de Santiago Tejupan, Oaxaca, presentaban individuos con flores en septiembre y fructificaciones maduras en enero.

Los eventos reproductivos de *Echeveria gigantea* están relacionados con una estrategia de fructificar y dispersar las semillas antes del inicio de la primavera, para que a la llegada de esta estación caracterizada por tener temperaturas más altas en combinación con la humedad ambiental (Osorio-Pascual & Quiroz-García, 2009) reactive a las enzimas relacionadas con la germinación.

La dispersión de las semillas influye significativamente en la dinámica y estructura de las comunidades vegetales. Pese a que entre la dispersión de las semillas y el establecimiento de un individuo adulto existe una gran incertidumbre debido a los diferentes procesos que pueden tener lugar. Las especies anemócoras de *Echeveria* (Larson, 1992) presentan un cierto grado de agregación, debido a que la mayoría de ellas se

dispersan a distancias no mayores de 10 m. Por otro lado, las semillas de especies anemócoras llegan en mayor proporción a los claros que al bosque adyacente, debido a turbulencias de pequeña escala, lo que podría causar agregación dentro de estos sitios (Arango *et al.*, 2011). Esta situación explica el tipo de distribución agregada que tienen ambas especies de echeverias estudiadas aquí.

Las semillas recién recolectadas como las muestras de *Echeveria elegans* y *E. gigantea* tienden a presentar porcentajes altos de viabilidad en comparación con aquellas dispersadas y depositadas en el banco de semillas del suelo donde la viabilidad puede perderse con el paso del tiempo (Leishman *et al.*, 2000). La diferencia en la viabilidad que presentaron *Echeveria elegans* (38%) y *E. gigantea* (96.3%), se debió a la producción de numerosas semillas sin embrión y a fenómenos de polinización insuficiente y autogamia (Arista *et al.*, 1992). Independientemente que las semillas fueron colectadas una vez terminada la etapa de fructificación. Las semillas de *Echeveria* son diminutas con bajo contenido de humedad. Estas semillas denominadas ortodoxas soportan condiciones de estrés hídrico por largos períodos de tiempo y mantienen su longevidad en el banco de semillas del suelo por varios años (Flores, 2011). Sin embargo, nuestras muestras de semillas de *E. elegans* y *E.*

gigantea perdieron su viabilidad a los pocos meses de su coleta. En plantas silvestres la viabilidad varía de menos de 10% hasta más del 90%, esta variación ocurre como una respuesta a las condiciones ambientales y al tiempo de recolección de la semilla (García, 2014).

El bajo porcentaje de germinación en *Echeveria elegans* (25.5%) está relacionado con la baja viabilidad que mostró esta especie y tanto la viabilidad como la germinación indican que las semillas dispersadas se encontraron en estado de quiescencia. La testa delgada de las semillas en ambas especies facilita la absorción de agua para su activación metabólica y la emergencia de la radícula. Al comparar los resultados de viabilidad con los porcentajes de germinación y las pruebas de latencia se dedujo que *E. elegans* y *E. gigantea* no presentan latencia de ningún tipo. Las crasuláceas con semillas pequeñas generalmente no presentan latencia (Meyrán & López, 2003) y las variaciones entre los resultados de las pruebas de viabilidad y de germinación se debe a la ausencia de embriones, ya que las semillas viables pueden ser fácilmente distinguidos por su llenado (Walther, 1972) y las pruebas fueron realizadas con lotes de semillas tomadas al azar.

Aunque la morfología externa de las semillas puede ser variable dependiendo de la familia botánica, o de los géneros y

especies (Bell & Bryan, 1991), no se encontraron grandes variaciones en las semillas de *Echeveria elegans* y *E. gigantea*. Estas especies con semillas pequeñas requieren condiciones específicas para establecerse, por lo que presentan una fuerte limitación por los microambientes y la cantidad de sitios adecuados para establecerse (García, 2014). Las semillas pequeñas en general se dispersan fácilmente, no obstante, debido a su menor capacidad competitiva en comparación con las especies de semillas grandes, puede existir una disyuntiva entre la colonización y la competencia (Tumbull *et al.*, 1999). Las dos especies de *Echeveria* investigadas aquí, producen grandes cantidades de semillas que por su tamaño se dispersan con efectividad para poder llegar a los sitios potenciales para germinar. Ambas especies se desarrollan en sitios con pendientes pronunciadas que facilitan la dispersión por gravedad o corrientes ligeras de viento. Los folículos son dehiscentes y las semillas se dispersan mecánicamente de manera gradual y continua por la caída del fruto, por viento y probablemente las arrastran las corrientes de agua (Larson, 1992).

El tamaño de las semillas está relacionado con la cantidad de nutrimentos reservados que serán utilizados en etapas posteriores del desarrollo (Baskin y Baskin, 2001). Las

semillas de *Echeveria* son diminutas con escasas reservas de nutrimentos y requieren encontrar sitios adecuados para asegurar su germinación. En áreas semisombreadas donde se privilegia la humedad y la iluminación filtrada. La dispersión por viento o agua deposita una cantidad importante de semillas en la parte superior del suelo donde encuentran las condiciones ambientales que favorecen su germinación.

De acuerdo a Leishman & Harris (2010), La capacidad de las plántulas de emerger a través de la hojarasca puede ser un limitante importante de las semillas pequeñas respecto a las de semillas grandes para germinar. Y en este sentido las semillas de especies de *Echeveria* tienen una limitación para desarrollar plántulas fotosintéticamente independientes antes de terminar con las reservas contenidas en sus semillas.

Meyrán & López (2003), señalan que *Echeveria elegans* alcanza hasta 12 cm de diámetro en una roseta densa. En este estudio se forma una roseta incipiente en esta especie a los seis meses con un diámetro y altura menor a los 2 cm. Para alcanzar los 12 cm de diámetro tendrán que transcurrir varios años. El lento crecimiento en *E. elegans* es consecuencia del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) que permite aprovechar al máximo el uso del agua, lo cual representa una ventaja contra otras especies en ambientes áridos y semiáridos,

no obstante, debe disminuir la eficiencia fotosintética al cerrar las estomas durante el día. En cultivo el tiempo aproximado para que los individuos de *Echeveria* lleguen a un estado reproductivo está entre los dos a los tres años.

La obtención de organismos de especies de *Echeveria* de forma rápida y talla comercial, normalmente se hace a través de la propagación vegetativa a partir de estacas de hoja. Esta es una opción conveniente y frecuentemente se usa en plantas de *Echeveria elegans* ya que sus hojas desprendidas son capaces de generar una nueva roseta, las estacas de hoja produjeron brotes de raíces y de roseta sin ningún nutrimento administrado exógenamente. Raju & Grover (1976) indicaron que en la organogénesis de esta especie se requieren de dosis pequeñas de nutrimentos. Lavi *et al.*, (1992) mencionan que al propagar *Echeveria* a través de estacas de hoja los rasgos juveniles pueden continuar durante los primeros años después de la primera época de floración. Este es un evento que no fue posible comprobar en este estudio. Banks (1979) observó diferencias en el tipo o vía de desarrollo morfogénético del material juvenil o adulto, este aspecto fue observado en este estudio al tener diferentes respuestas con las estacas vegetativas y las estacas reproductivas. Aunque el número de raíces adventicias y longitud de las mismas fue mayor en

estacas maduras, las rosetas de origen juvenil tuvieron una apariencia más vigorosa y turgente respecto a las otras.

Echeveria gigantea es propagada por horticultores a través de semillas, en este estudio en la propagación por estacas de hoja se obtuvieron brotes de raíces adventicias, pero no de rosetas. Reyes et al. (2014) documentó que *E. gigantea* no puede propagarse de forma asexual por medio de hojas de roseta, brácteas florales, esquejes o hijuelos, probablemente la falta de respuesta morfogenética se deba un desbalance de hormonas promotoras de la diferenciación celular.

Echeveria elegans y *E. gigantea* crecen en zonas templadas en donde es posible apreciar los cambios de color que preceden a la pérdida de las hojas de los árboles caducifolios, estos cambios son estimulados por la duración del día y la noche o la variación de temperaturas que activan una serie de hormonas que a su vez conducen a la senescencia de las hojas. En *E. gigantea*, la abscisión de las hojas se presenta cuando estas estructuras probablemente estén en un proceso de senescencia avanzado, aunque aún incompleto por el color verde de las hojas que aún conservan cuando yacen en el suelo (observ. personal). El nivel de senescencia que no sólo implica la reabsorción de carbohidratos y otras sustancias entre ellas hormonas, que están directamente relacionadas con la diferenciación celular y

formación de raíces adventicias. Por estas razones no fue posible observar hojas desprendidas de forma natural de esta especie con raíces adventicias. Las estacas de hoja extraídas tanto de ejemplares vegetativos como reproductivos también pudieron estar en distintos grados de senescencia, lo cual dificultó la diferenciación celular e impidió la propagación vegetativa de esta especie por esta técnica. Las hojas de *E. gigantea* caen secuencialmente desde la parte basal de la planta hacia la parte apical de la misma. Para este estudio se extrajeron hojas de la parte media de los ejemplares en la temporada de sequía donde esas plantas incrementan la senescencia, por lo que probablemente esta circunstancia provocó la baja capacidad de diferenciación de las estacas de hoja de esta especie.

Pilbeam (2008) indica que *Echeveria elegans* desarrolla una roseta densa con numerosas hojas y que al igual que otras especies con mayor número de hojas generalmente producen raíces adventicias y rosetas con mayor facilidad en relación con las especies de hojas ancha y más delgadas como *E. gigantea* que a menudo se secan antes de que raíces adventicias se hayan formado. Este patrón es el que se observó en este estudio.

Dolan (1984) y Moegenburg (1996) mencionan que el tamaño inicial de las plántulas se relaciona positivamente con el

tamaño de las semillas, lo que efectivamente fue observado con el tamaño de las plántulas formadas por las semillas diminutas de las dos especies de *Echeveria*. Debido a que la disponibilidad de luz, microtopografía, tipo de sustrato, profundidad del mantillo, y cobertura de la vegetación rasante afectan la supervivencia de las plántulas (Godínez *et al.*, 2007), es necesario que las diminutas semillas de *Echeveria elegans* y *E. gigantea* encuentren sitios con características particulares para que puedan germinar y después desarrollar una plántula. En condiciones controladas favorables, las semillas de *E. elegans* presentaron 50% de sobrevivencia plantular, mientras que, *E. gigantea* fue de 35.7% durante los seis meses de experimentación. Las plántulas cultivadas en condiciones de invernadero muestran diferencias entre especies, y responden de forma diferente al tipo de sustrato, iluminación, riego, entre otros (Marañón *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

La propagación por semillas de *Echeveria elegans* y *Echeveria gigantea* mostró diferencias morfológicas expresadas durante los cuatro primeros meses de su desarrollo.

La diferenciación y el crecimiento en las rosetas de *Echeveria elegans* resultaron más rápidas por estacas de hojas respecto a semillas y en *Echeveria gigantea* no fue favorable la propagación vegetativa. Ambas especies se distribuyen en bosque de encino, sin embargo, las técnicas de propagación son distintas. En *E. elegans* la propagación vegetativa fue más exitosa con la producción de rosetas producto de estacas de hojas, mientras que en *E. gigantea* es más exitosa la propagación por semillas, no obstante, la propagación por este medio es lenta.

Las estacas de hoja de organismos vegetativos de *Echeveria elegans* produjeron rosetas en mayor cantidad y menor tiempo en comparación con las estacas de hoja obtenidas de organismos reproductivos.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Arango, H.; Duque, A.; Cárdenas, D. & Barreto, J. (2011). Relación entre el mecanismo de dispersión de semillas y la distribución espacial de algunas especies arbóreas en un bosque de tierra firme de la amazonia colombiana. *Revista Colombia Amazónica*, 4:87-96.
- ✓ Arista, M.; Talavera, S. & Herrera, J. (1992). Viabilidad y germinación de las semillas de *Abies pinsapo* Boiss. *Acta Botánica Malacitana*, 17:223-228.
- ✓ Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid: Interamericana-Mc Graw Hill.
- ✓ Banks, M. (1979). *Pflanzenphysiol*, 92: 349-353.
- ✓ Baskin, C. & Baskin, J. (2001). *Seeds Ecology, Biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego California: Academic Press.
- ✓ Bell, A. & Bryan, A. (1991). *Plant form an illustrated guide to flowering plant morphology* (primera edición). Nueva York: Oxford University Press.
- ✓ Cronquist, A. (1981). *An Integrated System of Clasification of Flowering Plants*. Nueva York: Columbia University Press.
- ✓ De Jesús, G. (2013). Evaluación demográfica y dinámica poblacional de *Echeveria purpusorum* Berger (Crassulaceae)

- en la reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (tesis de maestría). Instituto de Ecología, UNAM, México.
- ✓ De la Cruz, L. (2013). Dinámica poblacional y preferencias de establecimiento de *Echeveria peacockii* Croucher (Crassulaceae) en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla (tesis de maestría). Instituto de Ecología, UNAM, México.
 - ✓ Dolan, R. (1984). The effect of seed size and maternal source on individual size in a population of *Ludwigia leptocarpa* (Onagraceae). *American Journal of Botany*, 71: 1302-1307.
 - ✓ Dortort, F. (2011). *Guide to Succulent Plants of the World: a comprehensive reference to more than 2000 species*. London: Timber Press Inc.
 - ✓ Eggli, U. (2003). *Crassulaceae*. Alemania: Springer.
 - ✓ Flores, A. (2011). Efecto de almacenamiento en la viabilidad de las semillas, en algunas especies silvestres de selva baja caducifolia (tesis de maestría). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
 - ✓ García-Mendoza, A.; Ordóñez, M. & Briones-Salas, M. (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología: UNAM, Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza Oaxaca, Oaxaca y World Wildlife Fund WWF.
 - ✓ García-Mendoza, A. (2003). *Echeveria elegans*. Revisión de las Agavaceae (sensu stricto), Crassulaceae y Liliaceae

- incluidas en el PROY-NOM-059-ECOL-2000. Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB- CONABIO. Proyecto W020. México, D.F.
- ✓ García, D. (2014). Relación entre las limitaciones por semillas y micrositios y su efecto en la regulación poblacional en quince especies de hierbas (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
 - ✓ Godínez, O.; Ángeles, G.; López, L.; García, E.; Valdez, J., Santos, H. & Trinidad, A. (2007). Lluvia de semillas y emergencia de plántulas de *Fagus grandifolia subsp. mexicana* en La Mojonera, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78: 117-128.
 - ✓ Hackett, W. (1985). Juvenility, maturation and rejuvenation in wood plants. *Horticultural Reviews*, 7: 109-155.
 - ✓ Larson, J. (1992). Estudio demográfico de *Echeveria gibbiflora* DC. (Crassulaceae) en el Pedregal de San Ángel (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
 - ✓ La Troje Sierra Norte. (2014). *Catálogo 2014: ornamentales, aromáticas y crasuláceas*. agosto 23, 2016, de issuu Sitio web:

https://issuu.com/latrojesierranorte/docs/catalogo_2014_web_ornamentales_arom/18

- ✓ Lavi, U.; Lahav, E.; Degani, Ch. & Gazit, S. (1992). The genetics of the juvenile phase in avocado and its application for breeding. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117: 981-984.
- ✓ Leishman, M. & Harris, C. (2010). Seed Ecology. En *Encyclopedia of Invasive Introduced Species* (627-631). California: University of California Press.
- ✓ Leishman, M.; Wright, I.; Moles, A. & Westoby, M. (2000). The Evolutionary Ecology of Seed Size. En Fenner, M. (ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2ª edition (31-51). Wallingford, Reino Unido: CABI.
- ✓ Mansilla, A. (2004). Propagación vegetativa mediante estaquillado en especies nativas de los géneros *Mutisia*, *Escallonia* y *Gaultheria*, como potenciales cultivos ornamentales (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Agrarias, UCh, Chile.
- ✓ Marañón, T.; Villar, R.; Quero, J. & Pérez-Ramos, I. (2004). Análisis del crecimiento de plántulas de *Quercus suber* y *Q. canariensis*: experimentos de campo y de invernadero. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 20: 87-92.

- ✓ Martorrell, C. (2007) Detecting and managing an overgrazing-drought synergism in the threatened *Echeveria longissima* (Crassulaceae): the role of retrospective demographic analysis. *Population Ecology*. 49: 115-125.
- ✓ Medina, C. (2012). Germinación y desarrollo postemergente de *Pachyphytum glutinicaule* Moran (Crassulaceae) especie endémica del centro de México (tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México.
- ✓ Meyrán, J. & López, L. (2003). *Las Crasuláceas de México*. México, Distrito Federal: Sociedad Mexicana de Cactología A. C.
- ✓ Moegenburg, S. (1996). Sabal palmetto seed size-causes of variation, choices of predators, and consequences for seedlings. *Oecología*, 106: 539-543.
- ✓ Moreno, E. (1984). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. UNAM. México: 103-261.
- ✓ Nabors, M. (2006). *Introducción a la Botánica*. Madrid: Pearson Educación.
- ✓ Ortiz, A. & Castillo, L. (2007). Ruptura de latencia de la semilla en poblaciones de arroz maleza y silvestres de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 57: 219-229.
- ✓ Ortiz, C. (2015). Germinación y establecimiento de plántulas en invernadero de *Randia echinocarpa* Sessé et

- Mociño (Rubiaceae) (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- ✓ Osorio-Pascual, A. & Quiroz-García, L. (2009). Lluvia de polen de la ciudad de Oaxaca, México. *Polibotánica*, 28: 161-190.
 - ✓ Pérez-Calix, E. 2004. La familia Crassulaceae en el Bajío y regiones adyacentes (tesis de doctorado). Facultad de Ciencias., UNAM, México.
 - ✓ Pérez-Calix, E. (2008). *Crassulaceae*. En Rzedowski, J. & Calderón, G. (eds.) Flora del bajío y de regiones adyacentes, 156: 1-143. Instituto de Ecología, A. C., México.
 - ✓ Pilbeam, J. (2008). *The genus Echeveria*. Norwich, Reino Unido: BCSS.
 - ✓ Piña-Poujol, P. (2003). Propagación de la especie en peligro de extinción *Echeveria laui* Moran & Meyran con fines de conservación y reintroducción (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM, México.
 - ✓ Piña-Poujol, P.; Valverde, T. y Reyes-Santiago, J. (2007). Propagación de la especie en peligro de extinción *Echeveria laui* con fines de conservación, Cactáceas y Suculentas Mexicanas, 52:4-19.

- ✓ Raju, M. & Grover, R. (1976). Effect of Picloram on organogenesis in detached leaves of *Echeveria elegans* Bgr. *Weed Science Society of America*, 24: 175-182.
- ✓ Raju, M. & Mann, H. (1970). Regenerative studies on the detached leaves of *Echeveria elegans*. Anatomy and regeneration of leaves in sterile culture. *Canadian Journal of Botany*, 48: 1887-1891.
- ✓ Reyero, M. (2009). Determinación de la dinámica estomática de *Echeveria laui* (Crassulaceae) en individuos obtenidos de propagación vegetativa y sexual (tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.
- ✓ Reyes, J.; Gutiérrez-de la Rosa, A. & Sevilla, J. (2001). Producción de cactáceas y suculentas mexicanas. Cuadernos de comunicación sindical. Número 63. México
- ✓ Reyes, J.; Islas, M. & González O. (2014) Guía práctica de propagación y cultivo de las especies del género *Echeveria*: también conocidas como conchitas, lengua de vaca, magueyitos, rosetas y tememetla. *Palabra en Vuelo*. Instituto de Biología, UNAM. México.
- ✓ Rojas, G. (1993). Fisiología vegetal aplicada. *Iberoamericana*. Mcgraw-Hill. México.

- ✓ Rojas, M. (2003). Técnicas Estadísticas Paramétricas y No Paramétricas Equivalentes: Resultados Comparativos Por Simulación (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, ICEMAT. Ecuador.
- ✓ Sánchez, M. (2010). Patrones electroforéticos de proteínas durante la formación de brotes en esquejes de hoja de *Echeveria laui* (Crassulaceae) (tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.
- ✓ Serrato, S. (2014). Modelo de muros verdes con plantas crasas para el Oriente de la Ciudad de México (tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México.
- ✓ Silvertown, J. (1999). Seed ecology, dormancy, and germination: a modern synthesis from Baskin and Baskin. *American Journal of Botany*, 86: 903-905.
- ✓ Solís, J.; Reyna, M.; de Feria, M.; Cardona, M. & Rojas, D. (2013). *In vitro* Propagation of *Echeveria elegans*, a species of the flora endangered mexican. *Journal of Enviromental Science and Engineering*, 2: 555-558.
- ✓ Taiz, L. & Zeiger E. (2002). *Plant Physiology* . Suundaeland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- ✓ Tumbull, L.; Rees, M. & Crawley, M. (1999). Seed mass and the competition/colonization trade-off: a sowing experiment. *Journal of Ecology*, 87: 899-912.

- ✓ Verastegui, M. (2009). Establecimiento de métodos de propagación vegetativa in vivo e in vitro de *Echeveria laui* (Crassulaceae) (tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.
- ✓ Walther, E. (1972). *Echeveria*. California Academy of Sciences. San Francisco.