

## GERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE *Oreocereus pseudofossulatus* (CACTACEAE) ESPECIE ENDÉMICA DE LOS VALLES XÉRICOS INTERANDINOS DE LA PUNA DEL NORTE DE BOLIVIA

### Germination and morphological description of *Oreocereus pseudofossulatus* (Cactaceae), a species endemic to the Xeric Inter-Andean Valleys of the Puna of northern Bolivia

Beatriz Mamani Sánchez<sup>1</sup>, Naira Villegas Alvarado<sup>2</sup>, Jorge Quezada Portugal<sup>3</sup>, Máximo Nova Pinedo<sup>4</sup>

#### RESUMEN

La cactáceas son plantas emblemáticas, su comercio, aprovechamiento irracional, destrucción del hábitat, y lento crecimiento están ocasionado que muchas estén en alta vulnerabilidad. *Oreocereus pseudofossulatus*, es un cactus endémico, distribuido en los Valles Xéricos Interandinos de la Puna del norte de Bolivia. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento germinativo y describir morfológicamente el desarrollo inicial de *O. pseudofossulatus* en condiciones *in vitro*. Así mismo, determinar el porcentaje de germinación con pruebas pre-germinativas de remojo en agua en sustratos de papel en cajas Petri. Al igual que, cuantificar el porcentaje de germinación en sustratos de arena, tierra negra y humus de lombriz (*ex situ*). Además, comparar las características morfométricas de brotes procedentes de cultivo *in vitro* y de cajas Petri. Las semillas fueron sembradas en diferentes técnicas, una en medio de cultivo MS/2, en sustratos de papel en cajas Petri y en sustrato de tierra negra, arena y humus de lombriz, esta última en dos tratamientos T1 (1:1:1) y T2 (1:1:2). Las variables evaluadas fueron porcentaje de viabilidad y geminación. Las semillas de *O. pseudofossulatus* presentaron un 83 % de germinación en el medio MS/2; 72.7 % en sustrato de papel (cajas petri) y con un 95.6 % de viabilidad. El tratamiento de sustratos que presentó mayor porcentaje de germinación (35 %) fue en el T-2 (1:1:2). *In vitro* desde la emergencia de la radícula pasaron por cuatro fases hasta la conversión de plantas (70 %) en 42 días, con esta técnica se reduce el tiempo de cultivo lo que no sucedería en condiciones naturales, ya que las semillas están expuestas a climas áridos con déficit de agua por encontrarse en hábitat Xéricos.

**Palabras clave:** cactus, *Oreocereus pseudofossulatus*, germinación *in vitro*, medio de cultivo, viabilidad, semillas.

#### ABSTRACT

Cactaceae are emblematic plants, their trade, irrational exploitation, habitat destruction, and slow growth are causing many of them to be highly vulnerable. *Oreocereus pseudofossulatus*, is an endemic cactus, distributed in the Xeric Inter-Andean Valleys of the Puna of northern Bolivia. The present research aims to evaluate the germination behavior and morphological description of the initial development of *O. pseudofossulatus* under *in vitro* conditions. Likewise, to determine the germination percentage with pre-germination tests of soaking in water on paper substrates in Petri boxes. Also, to quantify the percentage of germination in substrates of sand, black soil and earthworm humus (*ex situ*). In addition, to compare the morphometric characteristics of sprouts from *in vitro* culture and Petri dishes. Seeds were sown in different techniques, one in MS/2 culture medium, in paper substrates in Petri boxes and in substrate of black soil, sand and earthworm humus, the latter in two treatments T1 (1:1:1) and T2 (1:1:2). The variables evaluated were percentage viability and gemination. *O. pseudofossulatus* seeds showed 83 % germination in MS/2 medium; 72.7 % in paper substrate (petri boxes) and 95.6 % viability. The substrate treatment that presented the highest germination percentage (35 %) was T-2 (1:1:2). *In vitro*, from radicle emergence through four phases until plant conversion (70 %) in 42 days, with this technique the cultivation time is reduced, which would not happen under natural conditions, since the seeds are exposed to arid climates with water deficit because they are in Xeric habitat.

**Keywords:** cactus, *Oreocereus pseudofossulatus*, *in vitro* germination, culture medium, viability, seeds.

<sup>1</sup>✉ Docente Investigadora y Responsable del Departamento de Investigación y Proyectos, Unidad Académica Campesina Carmen Pampa, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Bolivia. [beita.mamani@gmail.com](mailto:beita.mamani@gmail.com)

<sup>2</sup>Unidad de Biotecnología Vegetal, Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. [lasnairs@gmail.com](mailto:lasnairs@gmail.com)

<sup>3</sup>Unidad de Biotecnología Vegetal, Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. [quezada.jorge@gmail.com](mailto:quezada.jorge@gmail.com)

<sup>4</sup>Docente Investigador, Unidad de Investigación de Agronomía, Unidad Académica Campesina Carmen Pampa, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Bolivia. [maxcasanova100@gmail.com](mailto:maxcasanova100@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En Bolivia, hasta el momento, se han registrado entre 250 a 300 especies de cactáceas (80 % endémicas), agrupadas entre 36 a 40 géneros, por lo que es considerado, conjuntamente con Perú y noroeste de Argentina, el segundo centro de diversidad de cactáceas a nivel mundial (Hunt, 1992; Hunt et al., 2006).

Las poblaciones de cactáceas en distintos ecosistemas constituyen elementos muy importantes para la caracterización de distintas formaciones vegetacionales, funcionamiento de los ecosistemas y riqueza en diversidad y endemismos la destrucción y fragmentación de hábitats, escaso conocimiento acerca de la biología básica de las especies y extracción selectiva descontrolada de las mismas. Los valles secos interandinos, ubicados entre 1 500 – 3 200 m s.n.m. son ecosistemas diversos en plantas vasculares: casi 1 300 especies poseen características particulares en cuanto a su topografía, que proporcionan un ecosistema con condiciones climáticas propicias para el crecimiento de cactáceas, constituyéndose en una zona representativa de la diversidad de esta familia. Según López (2003) la importancia de las cactáceas es enorme al ser la segunda familia más numerosa y la segunda con mayor número de especies endémicas en los Valles Secos de Bolivia. En el caso de estos valles en el departamento de La Paz se han registrado 12 especies (Beck y Valenzuela, 1991), cuyo estado poblacional, biológico y de conservación actualmente se desconocen. Esto aunado a la pobre germinación y lento crecimiento en su hábitat natural en general en las especies de cactus (Sánchez y Hernández 2002).

La germinación y el establecimiento, son las fases más críticas del ciclo vital de las plantas, debido a que son más vulnerables al estrés ambiental, competencia, depredación y enfermedades (Angevine y Chabot, 1979 y Fenner 1985 citados en Donovanl et al., 1993). Este problema se acrecienta más, en las cactáceas debido a las condiciones adversas en las que crecen en su hábitat natural; ya que, la germinación es considerada una de las fases más cruciales para la sobrevivencia y perpetuación de una especie (Meiado et al., 2008). En cactáceas entre los requerimientos más importantes para que se lleve a cabo la germinación, se encuentran la disponibilidad de agua para la imbibición de la semilla y la cantidad de luz recibida. Otro aspecto, importante que se debe considerar en las estrategias de conservación de

cactáceas, es el lento crecimiento que presentan algunas especies, lo que influye no sólo en que algunas plantas alcancen su madurez hasta una edad muy avanzada, sino también en una de las etapas del ciclo de vida más críticas para la sobrevivencia de los individuos (fase de plántula), consecuentemente el tamaño que alcancen los individuos en los primeros meses de vida es fundamental para su establecimiento y desarrollo (Valiente-Banuet y Godínez-Álvarez, 2002).

Para amortiguar este problema, es posible desarrollar tareas de conservación para la protección de las especies de cactus en cuanto a su forma de propagación. Es en este sentido, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento germinativo y describir morfológicamente el desarrollo inicial de *O. pseudofossulatus* en condiciones *in vitro*. Así mismo, determinar el porcentaje de germinación con pruebas pre-germinativas de remojo en agua en sustratos de papel en cajas Petri. Al igual que, cuantificar el porcentaje de germinación en sustratos de arena, tierra negra y humus de lombriz (*ex situ*). Además, comparar las características morfométricas de brotes procedentes de cultivo *in vitro* y de cajas Petri.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

El área de colecta de material vegetal está ubicada hacia el sector noroeste, oeste, sur, suroeste, y sureste de la provincia Murillo, presentando una zona semiárida por su ubicación geográfica y por las lluvias orográficas. Se caracteriza por la presencia de formaciones montañosas poco elevadas, de relieve irregular y muy pedregosas. Las unidades geomorfológicas comprenden lechos de ríos, terrazas y planicies, abanicos aluviales, quebradas laterales y laderas pronunciadas. La vegetación, por la fuerte influencia humana, determina un tipo predominantemente arbustivo, con plantas espinosas y suculentas (cactáceas). El matorral abierto se distribuye en las laderas, quebradas y terrazas altas, sobre los ríos o en las planicies pedregosas (Beck y García, 1991). Entre los arbustos espinosos se observan a los géneros *Adesmia* (Leguminosae), *Proustia* y *Dasyphyllum* (Compositae); cactáceas columnares, y rastreras, como *Orocereus pseudofossulatus*, *Echinopsis lageniformis*, *E. bridgesii* subsp. *bridgessi* y *E. pentlandlii*, así como la "tuna", *Opuntia ficus-indica*, *O. sulphurea* y *Corryocactus melanotrichus*. Según

Ibisch y Mérida (2003), el área comprende la ecoregión de la Puna Norteña y sus subcoregiones de Puna húmeda entre los 3 810 - 4 000/4 100 m y la Puna subhúmeda entre los 3 200 - 4 100/4 200 m, de acuerdo a los niveles de humedad prevaleciente en el ambiente. La distribución de *O. pseudofossulatus*, en la provincia Murillo del departamento de La Paz se da entre los 3 000 a 4 000 m de altura en los valles secos de los cinco municipios de la provincia, estos son La Paz, Palca, Mecapaca, Achocalla y El Alto.

## Metodología

Los frutos de *O. pseudofossulatus* fueron colectados de las poblaciones naturales del municipio de Palca, misma que se encuentra en una cabecera del valle de La Paz en el departamento del mismo nombre. Los frutos maduros fueron colectados y llevados a las instalaciones de la Unidad de Biotecnología Vegetal de la Carrera de Biología de la Universidad Mayor de San Andrés. Cada fruto fue colocado dentro una Petri y se esperó que estas se abrieran de forma natural, y posteriormente se procedió a extraer las semillas para secarlas a temperatura ambiente dentro del laboratorio.

### Pruebas de viabilidad

Se realizó mediante la prueba topográfica de tetrazolio, siguiendo el protocolo sugerido por el ISTA (2020), que consiste en fracturar las semillas para permitir el paso de la solución (0.1% cloruro 2,3,5; trifeníl-2H tetrazolio), hacia la región del embrión. Las semillas permanecen en esta solución durante cinco días en completa oscuridad, registrando posteriormente el número de semillas teñidas de rojo como viables. Se tuvieron seis repeticiones y cada una de ellas constituida por 100 semillas.

### Pruebas de germinación *in vitro*

Las semillas fueron desinfectadas con alcohol al 70 % durante dos minutos para posteriormente sumergirlas en una solución de hipoclorito al 1 % durante 45 minutos y, dentro de la cámara de flujo laminar se realizaron enjuagues con agua destilada estéril. Luego fueron sembradas en el medio de cultivo Murashige y Skoog (1962) (M.S.) a la mitad de su concentración suplementado con 10 % de leche de coco, 20 g de sacarosa y el pH fue ajustado a 5.8. Una vez finalizada la siembra se llevaron a la sala de crecimiento y expuestas a un fotoperiodo de 16/8 horas luz y oscuridad.

### Pruebas de germinación *ex situ* en cajas Petri

Previamente, las semillas fueron remojadas durante 24 horas y estas se sembraron sobre una capa de papel toalla húmeda dentro de cajas Petri. Cada una de estas cajas, representa una unidad de evaluación y está conformada por 50 semillas, con seis repeticiones.

### Pruebas de germinación *ex situ* en sustrato

En condiciones de vivero se sembraron en 600 semillas en contenedores plásticos en dos tipos de sustrato de tierra negra, arena y humus de lombriz, conformado las combinaciones de sustratos para dos tratamientos T1 (1:1:1) y T2 (1:1:2) respectivamente.

### Variables de respuesta

Porcentaje de germinación: se contabilizó el número de semillas que germinaron, es decir, se observó la emergencia de la radícula de cada unidad experimental, y posteriormente en base a la siguiente fórmula, se determinó el porcentaje de germinación.

$$\%Germinación = \frac{Número\ de\ semillas\ germinadas}{Total\ de\ semillas\ por\ unidad\ experimental} \cdot 100 \quad (1)$$

En el caso, de las pruebas *in vitro* se realizó la evaluación a los 7, 14, 21, 28, 36 y 42 días respectivamente. No obstante, para las pruebas de germinación en cajas Petri y en sustrato se realizó la evaluación al cabo de 42 días.

Descripción morfológica: las evaluaciones se realizaron al cabo de seis semanas consecutivas, de las cuales se categorizó sus fases de desarrollo durante el proceso de germinación hasta la conversión de plántulas en condiciones *in vitro*.

Mediciones morfométricas: de los brotes procedentes de las pruebas de cultivo *in vitro* y de las cajas Petri, se tomaron mediciones de la longitud de raíces (mm) y de brote (mm), y diámetro de brote (mm) pasado los 42 días después de la siembra.

### Análisis de datos

Al tratarse de variables cualitativas y descriptivas del proceso de germinación, se caracterizó cada fase y el tiempo que toma en desarrollar las semillas hasta planta. La variable de respuesta, porcentaje de germinación para cada tipo de ensayo, se analizó a través de una media estadística y desviación estándar.

Mientras, para las variables morfométricas de longitud de raíces (cm) y de brote (cm), y diámetro de brote (mm) se comparó a través de una prueba de T-Student entre las semillas sembradas en cultivo *in vitro* y en cajas Petri. Dicha información se analizó empleando el programa estadístico (infoStat L versión 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Viabilidad de las semillas

En cuanto a las pruebas de viabilidad un 95.6 % de las semillas de *O. pseudofossulatus* son viables. Este parámetro es un indicador del potencial de germinación, la viabilidad de las semillas de cactus es muy variable, así en un estudio realizado por Salas et al. (2011) en *A. myriostigma*, *A. capricorne* y *S. sherii* obtuvieron los valores más altos en cuanto a viabilidad (100.0 %) mediante la prueba de tetrazolio, a diferencia de *E. reicheinbachii* y *M. prolifera* (31.0 y 33.0 % respectivamente). Además, es importante considerar la longevidad de las semillas ya que, según Trejo y Garza (1993) para algunas especies de cactáceas la viabilidad es limitada en semillas frescas o recién colectadas y aumenta a los dos o tres años, reportando que las semillas de *M. heyderi* de cero años de edad tiene un porcentaje de germinación menor, a diferencia de las de dos y tres años. Es importante aclarar que las semillas de *O. pseudofossulatus*, después de la

colecta pasaron tres semanas en el laboratorio hasta que madure el fruto y empiecen abrirse de manera natural.

### Fases de desarrollo durante el proceso de germinación hasta la conversión de plantas

En *O. pseudofossulatus* se categorizó en cinco fases distintivos de desarrollo durante el proceso de germinación y sus respectivas características que a continuación se explica. Fase 0: Ruptura de testa, entre los 7 y 14 días la absorción de agua por imbibición en el medio de cultivo, causa el hinchamiento y la ruptura final de la testa en forma paralela al micrópilo (zona ecuatorial) se observa el embrión de color blanco; Fase 1: Emergencia de la radícula, entre los 15 y 20 días, la radícula emerge por la zona del micrópilo, tiene forma cónica y es de color blanquecino; Fase 2: Emergencia de la plúmula, emerge entre los 21 y 27 días, es una estructura cilíndrica que crece perpendicular al sentido de la radícula. La testa se queda adherida al área apical; Fase 3: Desprendimiento de la testa, entre los 28 y 34 días, el brote apical se alarga y ensancha. Una vez desprendida la testa se observa que la zona apical presenta una hendidura central de donde emergerán posteriormente las espinas; Fase 4: Aparición de espinas, entre los 35 y 42 días, la hendidura central empieza a envaginarse para dar lugar a un cúmulo de espinas.

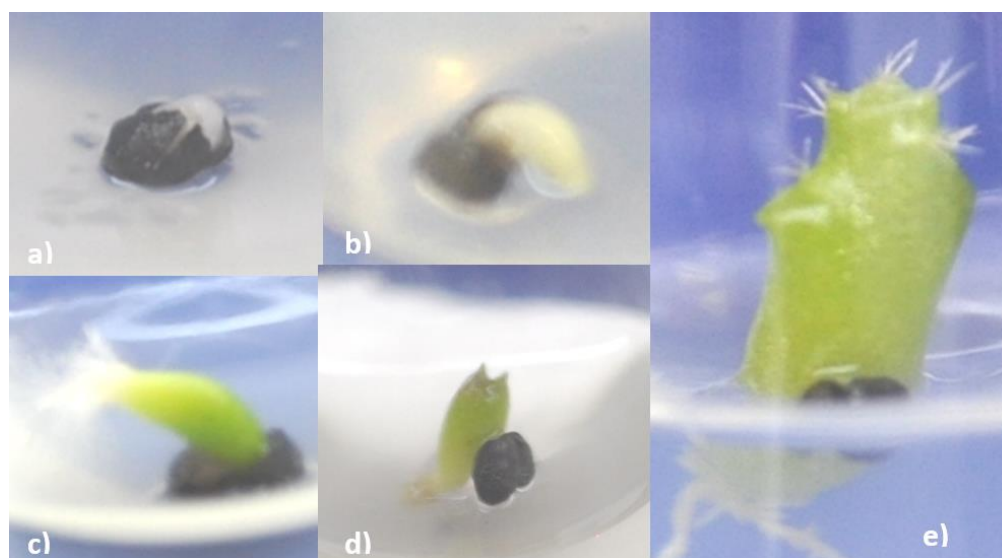


Figura 1. Fases de desarrollo durante el proceso de germinación *in vitro* en *O. pseudofossulatus*: a) Fase 0: ruptura de testa; b) Fase 1: emergencia de la radícula; c) Fase 2: emergencia de la plúmula; d) Fase 3: desprendimiento de la testa; e) Fase 4: aparición de espinas.

La Fase 1 o emergencia de la radícula, es un parámetro muy importante para determinar el porcentaje de germinación, ya que es una señal de que la semilla se renueva y comienza otro ciclo de su vida. La germinación es el tiempo durante el cual el embrión adquiere independencia, por esto las características en cuanto a la estructura y las funciones de estas

juegan un papel importante en la sobrevivencia de los individuos en un hábitat particular. En la Figura 2 se observa, que gradualmente se presentan cambios de una Fase a otra a lo largo del tiempo de evaluación, alcanzado su máximo desarrollo de los brotes de *O. pseudofossulatus* hasta los 42 días en Fase 3 y Fase 4 con 18 y 70 % respectivamente.

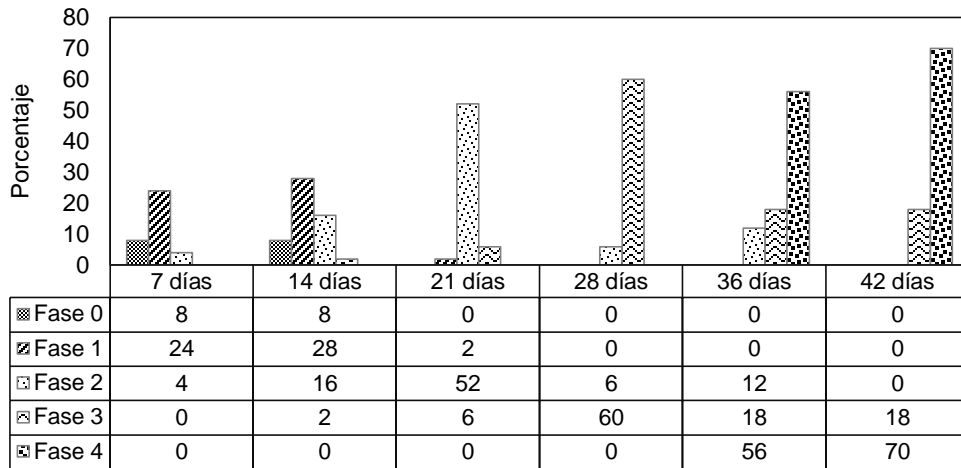


Figura 2. Porcentaje individuos en diferentes Fases de desarrollo de *O. pseudofossulatus* in vitro en diferentes tiempos de evaluación. a) Fase 0: ruptura de testa; b) Fase 1: emergencia de la radícula; c) Fase 2: emergencia de la plúmula; d); Fase 3: desprendimiento de la testa; e) Fase 4: aparición de espinas.

### Germinación in vitro

En condiciones in vitro de *O. pseudofossulatus* en el transcurso del tiempo la germinación fue ascendiendo de manera exponencial hasta la quinta semana (36 días) y pasa a una fase estacionaria en la sexta semana (42 días). De acuerdo a los resultados obtenidos bajo estas condiciones alcanzó un 83 % de germinación (Figura 3).

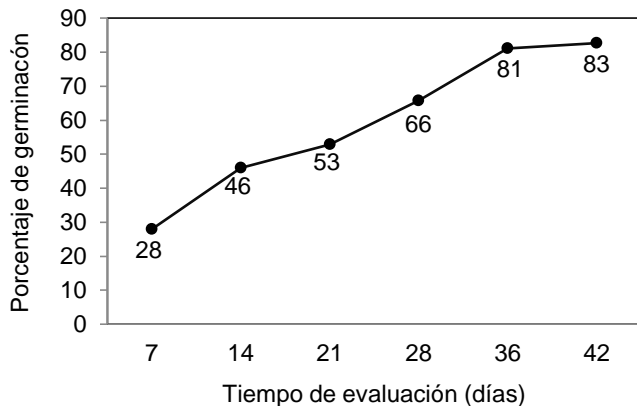


Figura 3. Variación de la germinación de *O. pseudofossulatus* in vitro a lo largo del tiempo.

Los porcentajes de germinación en otras especies de cactus en condiciones in vitro es variable en el caso de *Mammillaria pectinifera* fue de 95.0 % (Navarro y Deméneghi, 2007) y en *Ferocactus glaucescens* fue de 48.0 % (Santos, 2005), *Acanthocereus occidentalis*, Britton fue de un 90.0 % de germinación (Garza et al., 2005). Además, los porcentajes de germinación también están influenciados por otros factores físicos y químicos, como es el caso de la especie *Trichocereus candicans* bajo condiciones de luz y temperatura que varían considerablemente (luz blanca, luz roja y en la oscuridad) y determinaron que combinando estos dos factores los mayores porcentajes de germinación (94.8 %) fueron logrados por *T. candicans* con temperaturas de 30°C y bajo luz blanca (Méndez, 2011).

### Germinación ex situ en cajas petri y sustrato

Al cabo de seis semanas (42 días) se determinó que las semillas de *O. pseudofossulatus* germinaron en un 72.7 ± 23.99 % en sustrato de papel (cajas petri). Sin embargo, en condiciones de vivero se obtuvo un 28 y 35 % de semillas emergidas en los dos sustratos T1 (1:1:1) y T-2 (1:1:2) respectivamente de tierra negra, arena y humus de lombriz.

La germinación en ambos tipos de sustrato es significativamente menor a la de cultivo *in vitro* (83 %), esto podría deberse a las condiciones de alta humedad y nutrientes en cantidades adecuadas que provee el cultivo *in vitro*, condiciones no presentes en sustrato de papel y sustratos. En relación a estudios *ex situ*, Ortiz-Arcos (2006) encontró que al someter las plántulas de *Pachycereus weberi* (Cactaceae, endémica de América) a luz solar directa y con semisombra en ambos casos ningún plantín llegó a sobrevivir bajo estas condiciones naturales. Comparando semillas con plántulas de cactus se puede asumir que una de las limitaciones para la germinación y sobrevivencia son las inclemencias del tiempo como las altas temperaturas y escasez de agua que afectan en el establecimiento de las plántulas (Mandujano et al. 1996; Ortiz-Arcos, 2006). Por otro lado, las características del suelo son determinantes para la germinación y establecimiento de nuevos individuos, ya que las condiciones edáficas en las cuales algunas especies viven pueden ser altamente especializadas. En cactus columnares como *Cephalocereus trajani*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus fulviceps* y *Stenocereus gummosus*, al igual que algunos cactus globosos como *Mammillaria crucigera*, están asociados con tipos particulares de suelo (Valiente-Banuet y Godínez-Álvarez, 2002). Por otro lado, la textura del suelo puede afectar dramáticamente la disponibilidad de agua evitando el establecimiento de ciertas especies y favoreciendo la de otras dependiendo de los requerimientos particulares y tolerancia de cada una para su establecimiento y crecimiento (Rojas y Vázquez, 2000).

De la misma forma se cuantificó que al cabo de seis semanas (42 días) después de la siembra en condiciones *in vitro* las semillas alcanzaron un 18.0 y 70.0 % respectivamente a Fases superiores de 3 y 4 (desprendimiento de la testa; y aparición de espinas) (Figura 1 y 2). Sin embargo, las que fueron sembradas en sustrato de papel alcanzaron a desarrollarse hasta la Fase 2 (emergencia de la plúmula) en un 42.7 % y el resto permanecieron en la Fase 1 (emergencia de la radícula).

Según los resultados obtenidos a través de la prueba de T-student se evidenció diferencias significativas ( $P < 0001$ ) en las variables estudiadas de la longitud de raíces y de brote, y diámetro de brote de *O. pseudofossulatus* sembrados en condiciones *in vitro* (medio de cultivo MS/2) y en cajas petri (sustrato de papel). Donde, es notorio que los brotes procedentes de cultivo *in vitro* son en los que se

obtienen mayor longitud de la raíz ( $4.73 \pm 1.92$  mm) y del brote apical ( $6.70 \pm 2.06$  mm) al igual que el diámetro ( $3.32 \pm 0.67$  mm) del mismo, en relación a las procedentes de sustrato de papel (Figura 4). Esta diferencia se debe a que las semillas que fueron sembradas *in vitro* el medio de cultivo M.S./2, proporciona condiciones adecuadas de humedad, que es un iniciador de para que se dé la imbibición del agua y consecuentemente la germinación; además de proporcionar macro y micronutrientes y vitaminas las mismas que favorece su crecimiento y desarrollo.

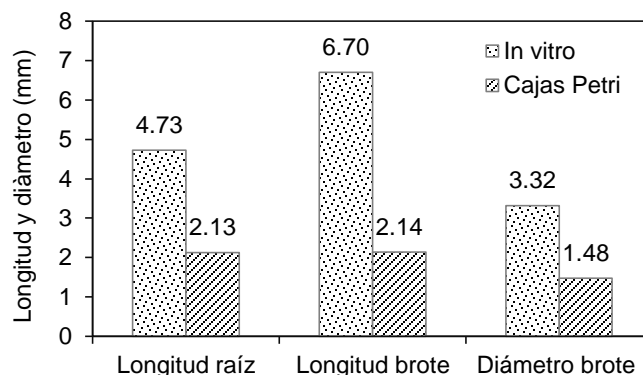


Figura 4. Longitud de raíces (mm) y de brote (mm), y diámetro de brote (mm) de *O. pseudofossulatus* sembrados en condiciones *in vitro* (medio de cultivo MS/2) y en cajas petri (sustrato de papel) a los 42 días de evaluación.

Al analizar las técnicas de germinación se concluye que las mejores opciones para la obtención de plantines de *O. pseudofossulatus* de manera *ex situ*, es a través del cultivo *in vitro*, ya que las plantas se pueden propagar de forma masiva; o en su defecto en cajas petri para ser transplantadas a sustrato. Tal como recomienda Ortiz-Arcos (2006), la propagación de *Pachycereus weberi* (Cactaceae) *ex situ* es la mejor opción, ya que las semillas pasan por grandes adversidades que les impiden llegar a su etapa adulta en su hábitat natural debido a que crecen en hábitat Xéricos.



Figura 5. Vitroplanta de *O. pseudofossulatus* en el medio de cultivo MS/2.

## CONCLUSIONES

Las semillas *O. pseudofossulatus* presentaron un 83 % de germinación en el medio de cultivo M.S. (Murashige y Skoog, 1962) a la mitad de concentración, 72.7 % en sustrato de papel (cajas petri) y 95.6 % de viabilidad. Se obtuvo un 35 % de semillas emergidas en el sustrato T-2 (1:1:2) de tierra negra, arena y humus de lombriz. Desde la emergencia de la radícula pasaron por cinco fases hasta la conversión de plantas en un 70 % en un tiempo de 42 días (seis semanas) desde la siembra en condiciones *in vitro*. Las semillas que fueron sembradas en cultivo *in vitro* fueron en las que se obtienen mayor longitud de la raíz (4.73 mm), de brote apical (6.70 mm) y de diámetro (3.32 mm), en relación a las procedentes de sustrato de papel.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto “Contribución al conocimiento de la ecología y comportamiento germinativo de *Oreocereus pseudofossulatus*, cactácea amenazada y endémica de los Valles Secos Interandinos de la Provincia Murillo, La Paz-Bolivia”, financiado por Iniciativa de Especies Amenazadas de las Becas “Werner Hanagarth” a través de la Fundación PUMA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beck, S; García, E. 1991. Flora y vegetación en los diferentes pisos altitudinales. En: Forno E. Baudoin M. (Eds.) Historia Natural de un Valle en los Andes: La Paz. Instituto de Ecología - Universidad Mayor de San Andrés. pp. 65-108.
- Beck, S; Valenzuela, E. 1991. Anexo 2: Lista de las especies vegetales. En: Forno, E., M. Baudoin (Eds.). Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz: Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. pp. 225-257.
- Donovan, L; Mausberg, J; Ehleringer, J. 1993. Seedling size and survival for *chrysothamnus nauseosus* (en línea). Great Basin Naturalist. 53(3): 237-245. Consultado 14 sept. 2020. Disponible en <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2738&context=gbn>
- Garza, P; Morales, R; Treviño, N. 2005. Propagación “*in vitro*” de *Acanthocereus accidentalis*, Britton and Rose. Consultado 11 dic. 2020. Disponible en: [http://www.ibiologia.unam.mx/slccs/www/pdf/Boletin/2\\_3\\_sep\\_dic\\_06.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/slccs/www/pdf/Boletin/2_3_sep_dic_06.pdf)
- Hunt, D. 1992. Cites: Cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens, Kew (en línea). Consultado 12 feb. 2021. Disponible en <https://portals.iucn.org/library/node/7153>
- Hunt, D; Taylor N; Charles G. 2006. The new cactus lexicon. Volumes I. International Cactaceae Systematics Group, DH Books, Milbourne Port. 373 p.
- Ibisch, PL; Mérida, G (Eds.) 2003. Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 638 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2020. International Rules for Seed Testing (en línea). Consultado 11 ene. 2021. Disponible en <https://www.seedhealth.org/files/2020/02/ISTA-SH-methods-2020-7-032-opt.pdf>
- López, RP. 2003. Diversidad florística y endemismo de los Valles Secos Bolivianos (en línea). Revista Ecología en Bolivia. 38(1): 27-60. Consultado 14 feb. 2021. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v38n1/a04\\_v38n1.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v38n1/a04_v38n1.pdf)
- Mandujano, M; Montaña, C; Eguiarte, L. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so rare? Amer. J. Bot. 83: 63–70. Consultado 07 oct. 2020. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/322839890\\_Reproductive\\_ecology\\_and\\_inbreeding\\_depression\\_in\\_Opuntia\\_rastrera\\_Cactaceae\\_in\\_the\\_Chihuahuan\\_Desert\\_Why\\_are\\_sexually\\_derived\\_recruitments\\_so\\_rare/link/5b2ea70ba6fdcc8506c76f66/download](https://www.researchgate.net/publication/322839890_Reproductive_ecology_and_inbreeding_depression_in_Opuntia_rastrera_Cactaceae_in_the_Chihuahuan_Desert_Why_are_sexually_derived_recruitments_so_rare/link/5b2ea70ba6fdcc8506c76f66/download)
- Mendez, E. 2011. Efecto de la temperatura y la luz sobre la germinación de semillas de *Trichocereus candicans* y *Trichocereus strigosus* (en línea). Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas; Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas 8(2); 5-2011;16-19. Consultado 13 dic. 2020. Disponible en <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/75310>
- Meiado, MV; Rocha, EA; Rojas-Aréchiga, M; Leal, IR. 2008. Comunidad de cactus en la Caatinga: ¿qué influencia la dinámica de semillas en el ambiente semiárido? Bol. Soc. Latin. Carib. Cact. Suc. 5: 4-6. Consultado 13 dic. 2021.

- Disponible en  
[http://www.ibiologia.unam.mx/slccs/www/pdf/Boletin/Vol\\_7\\_No\\_1\\_Ene-Abr\\_2010.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/slccs/www/pdf/Boletin/Vol_7_No_1_Ene-Abr_2010.pdf)
- Murashige, T; Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15: 473-497.
- Navarro, MC; Deméneghi, A. 2007. Germinación de semillas y efectos de hormonas en el crecimiento de *Mammillaria pectinifera* (en línea). *Zonas Áridas* 11(1): 233-239. Consultado 05 ene. 2021. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art17.pdf>
- Ortiz-Arcos. 2006. Germinación y establecimiento de plántulas de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult) Backeb. Informe final de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Rojas, M; Vázquez, C. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44: 85-104.
- Salas, R; Carmona, L; Díaz, R; Foroughbackch, M; Alvarado, L; Cárdenas, L. 2011. Propagación de cactáceas presentes en áreas naturales protegidas en García Nuevo León. México. pp. 8.
- Sánchez, E; Hernández, MM. 2002. Propagation of Mexican cacti threatened with extinction. *Cactus and Succulent Journal*. 74 (1): 17-21.
- Santos, M. 2005. Micropropagación de *Ferocactus glaucescens* Britton & Rose, cactácea Mexicana de valor ornamental. *Boletín Informativo de la SLCCS*. 2 (3).
- Trejo, L; Garza, M. 1993. Efecto del tiempo de almacenamiento en la germinación de semillas de *Mammillaria heyderi* Muchl en 4 sustratos, *BIOTAM* 5 (3): 19-24.
- Valiente-Banuet, A; Godínez-Álvarez, H. 2002. Population and community ecology. in P. S. Nobel (ed.), *Cacti: Biology and uses*. University of California Press, Berkeley. pp. 91.

Artículo recibido en: 30 de junio 2021

Aceptado en: 05 de agosto 2021