JOURNAL OF THE Selva Andina Biosphere
Official Journal of the Selva Andina Research Society.

Comunicación Corta

ISSN 2308-3867 (print edition)
JSAB
ISSN 2308-3859 (online edition)

# Establecimiento *in vitro* de la especie fitorremediadora totora (*Schoenoplectus californicus*) a partir de tejidos meristemáticos

# In vitro establishment of the phytoremediator species totora (*Schoenoplectus californicus*) from meristematic tissues

**Pérez Guzmán Jheanete*, Limachi Quispe Gladys**

## Datos del Artículo

Escuela Militar de Ingeniería.
Unidad de Investigación Ciencia y Tecnología.
Laboratorio de Biotecnología Vegetal.
Campus Universitario de Alto Irpavi, calle 1 s/n.
Tel: +591-2-2791724. +591-2-2791711.
La Paz. Estado Plurinacional de Bolivia

***Dirección de contacto**:

**Jheanete Pérez Guzman**
Escuela Militar de Ingeniería.
Unidad de Investigación Ciencia y Tecnología.
Laboratorio de Biotecnología Vegetal.
Campus Universitario de Alto Irpavi, calle 1 s/n.
Tel: +591-2-2791724. +591-2-2791711.
La Paz. Estado Plurinacional de Bolivia

E. mail: pjheanete@hotmail.com

**Palabras clave:**

*Schoenoplectus californicus*,
establecimiento *in vitro*,
micropropagación,
agar,
fitorremediación.

***J. Selva Andina Biosph.***
**2026; 14(1):57-67.**

**ID del artículo: 167/JSAB/2025**

## Historial del artículo

Recibido septiembre, 2025.
Devuelto enero, 2026.
Aceptado marzo, 2026.
Disponible en línea, mayo 2026.

***Editado por:***
***Selva Andina***
***Research Society***

**Keywords:**

*Schoenoplectus californicus*,
in vitro establishment,
micropropagation,
agar,
phytoremediation.

## Resumen

*Schoenoplectus californicus* (totora) es una macrófita acuática de gran relevancia ecológica y con potencial aplicación en procesos de fitorremediación. No obstante, su propagación sexual presenta limitaciones debido al bajo porcentaje de germinación y la reducida viabilidad de sus semillas, lo que dificulta la obtención de material vegetal homogéneo. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue establecer *in vitro* la especie a partir de cormos meristemáticos, con el propósito de disponer de material vegetal apto para la fase de micropropagación. Durante la fase de desinfección se evaluaron diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y tiempos de inmersión, mientras que en la fase de establecimiento se analizaron distintas concentraciones de agar en medio de cultivo MS suplementado con reguladores de crecimiento. Las variables consideradas fueron contaminación, oxidación y sobrevivencia de los meristemos. Los resultados expusieron que los tratamientos de desinfección influyeron significativamente en la contaminación y oxidación de los explantes. Asimismo, se evidenció que las menores concentraciones de agar favorecieron la sobrevivencia, alcanzando el mayor promedio con 1 g de agar. Se concluye que la concentración del agente gelificante constituye un factor determinante para el establecimiento in vitro de *S. californicus*. Las bajas concentraciones de agar resultan más apropiadas para promover la sobrevivencia de los explantes y garantizar la obtención de material vegetal viable. Estos hallazgos aportan información relevante para futuros estudios de micropropagación y fitorremediación, contribuyendo al aprovechamiento sostenible y la conservación de esta especie en sistemas acuáticos andinos.

***2026. Journal of the Selva Andina Biosphere®. Bolivia. Todos los derechos reservados.***

## Abstract

*Schoenoplectus californicus* (totora) is an aquatic macrophyte of high ecological relevance and potential application in phytoremediation. However, its sexual propagation is limited due to the low germination percentage and reduced seed viability, which hinders the production of homogeneous plant material. In this context, the objective of the present study was to establish the species in vitro from meristematic corms, aiming to obtain plant material suitable for subsequent micropropagation. During the disinfection phase, different concentrations of sodium hypochlorite and immersion times were evaluated, while in the establishment phase, various agar concentrations were tested in MS medium supplemented with growth regulators. The variables assessed included contamination, oxidation, and meristem survival. Results indicated that disinfection treatments significantly influenced contamination and oxidation of explants. Likewise, lower agar concentrations favored meristem survival, with the highest average obtained at 1 g of agar. It is concluded that the concentration of the gelling agent is a determining factor for the in vitro establishment of *S. californicus*. Low agar concentrations proved to be the most suitable for promoting explant survival and ensuring the availability of viable plant material. These findings provide relevant information for future micropropagation and phytoremediation studies, contributing to the sustainable use and conservation of this species in Andean aquatic ecosystems.

***2026. Journal of the Selva Andina Biosphere®. Bolivia. All rights reserved.***

## Introducción

En Bolivia, los avances más relevantes en biotecnología vegetal fueron orientadas principalmente a la propagación masiva de especies agrícolas de interés económico[1]; sin embargo, aún existe limitada investigación sobre la propagación y conservación de especies nativas con potencial ecológico y capacidad fitorremediadora[2]. Entre estas especies destaca *Schoenoplectus californicus* (totora), una macrófita acuática ampliamente distribuida en la zona circunlacustre del lago Titicaca, con adaptación y crecimiento en ambientes húmedos y suelos fangosos.

La totora cumple un papel ecológico fundamental en los ecosistemas lacustres altoandinos, al intervenir en la regulación hídrica, la protección de hábitats acuáticos y el reciclaje de nutrientes. No obstante, el lago Titicaca ha sufrido una progresiva degradación ambiental, asociada tanto a factores antrópicos como naturales, entre ellos la contaminación de afluentes, acumulación de metales pesados, deterioro de la calidad del agua, pérdida de biodiversidad y alteraciones en los ecosistemas acuáticos[3]. A ello se suman los efectos del cambio climático, que modifican las condiciones ambientales y afectan la distribución de las macrófitas acuáticas.

En este contexto, *S. californicus* fue identificada como una especie con alto potencial fitorremediador, gracias a su capacidad para absorber y remover contaminantes presentes en cuerpos de agua. Investigaciones han reportado su eficiencia en la captación de metales pesados y en la reducción de compuestos como nitrógeno, fósforo y bacterias coliformes[4-6]. Asimismo, se ha destacado su capacidad de captura de dióxido de carbono, lo que refuerza su importancia ecológica en programas de restauración ambiental.

Sin embargo, la propagación sexual de esta especie presenta limitaciones relacionadas con el bajo porcentaje de germinación, la presencia de latencia y el probable origen híbrido de algunas poblaciones, factores que reducen la viabilidad de las semillas y dificultan la obtención de material vegetal uniforme[7-10]. Además, la reproducción sexual genera elevada variabilidad genética, mientras que la propagación vegetativa permite conservar características de interés ecológico y fisiológico[11,12].

Ante esta problemática, el cultivo de tejidos vegetales constituye una alternativa biotecnológica eficiente para la propagación y conservación de *S. californicus*. El establecimiento *in vitro* permite obtener material vegetal genéticamente homogéneo bajo condiciones controladas, además de ser una herramienta útil para futuras investigaciones en micropropagación, conservación y procesos de fitorremediación[13]. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue establecer *in vitro* la especie fitorremediadora *S. californicus* a partir de cormos meristemáticos, con el fin de disponer de material vegetal apto para la fase de micropropagación.

## Materiales y métodos

*Material vegetal*. La recolección del material vegetal se realizó en abril de 2023 en el puerto de Guaqui, provincia Ingavi del departamento de La Paz, Bolivia, ubicado a orillas del lago Titicaca a 3811 m.s.n.m. Se seleccionaron plantas con brotes en crecimiento activo y características morfológicas. Posteriormente, se recolectaron 600 brotes vegetativos destinados al establecimiento *in vitro*.

*Desinfección de explantes*. Los explantes fueron lavados con agua corriente para eliminar restos de sedimento y materia orgánica. Posteriormente fueron sometidos inicialmente a una inmersión en alcohol al 70 % durante 1 min. La desinfección se realizó mediante tratamientos con hipoclorito de sodio a

concentraciones de 2, 3 y 4 % durante tiempos de inmersión de 5, 10 y 15 min, adaptando protocolos previamente utilizados en cultivo *in vitro* de especies vegetales[14].



Figura 1 Recolección del material vegetal en el puerto de Guaqui del Municipio de Guaqui en el departamento de La Paz

**Tabla 1 Diseño de los tratamientos de desinfección**

| Factor A | Factor B | Tratamientos | Repeticiones | | |
|---|---|---|---|---|---|
| NaClO (%) | T inm (min) | N° | I | II | III |
| | 5 | $T_1$ | $T_1$ | $T_1$ | $T_1$ |
| 2 | 10 | $T_2$ | $T_2$ | $T_2$ | $T_2$ |
| | 15 | $T_3$ | $T_3$ | $T_3$ | $T_3$ |
| | 5 | $T_4$ | $T_4$ | $T_4$ | $T_4$ |
| 3 | 10 | $T_5$ | $T_5$ | $T_5$ | $T_5$ |
| | 15 | $T_6$ | $T_6$ | $T_6$ | $T_6$ |
| | 5 | $T_7$ | $T_7$ | $T_7$ | $T_7$ |
| 4 | 10 | $T_8$ | $T_8$ | $T_8$ | $T_8$ |
| | 15 | $T_9$ | $T_9$ | $T_9$ | $T_9$ |
| **Total** | 540 tubos | | | | |

Variable A: Hipoclorito de sodio; Variable B: Tiempo de inmersión, (NaClO) Hipoclorito de sodio, (T inm) tiempo de inmersión

**Tabla 2 Diseño de los tratamientos**

| Tratamiento | Componente |
|---|---|
| $T_1$ | M&S (100%) + 10 mL de BAP + 1 g. de agar |
| $T_2$ | M&S (100%) + 10 mL de BAP + 3 g. de agar |
| $T_3$ | M&S (100%) + 10 mL de BAP + 5 g. de agar |
| $T_4$ | M&S (100%) + 10 mL de BAP + 2mL de IBA 1 g. de agar |
| $T_5$ | M&S (100%) + 10 mL de BAP + 2mL de IBA 3 g. de agar |
| $T_6$ | M&S (100%) + 10 mL de BAP + 2mL de IBA 5 g. de agar |

Después de la desinfección, los explantes fueron enjuagados tres veces con agua destilada estéril en condiciones asépticas.

*Medio de cultivo*. Se utilizó el medio basal Murashige & Skoog (MS)[15] suplementado con 30 g $L^{-1}$ de sacarosa, 0.1 g $L^{-1}$ de mioinositol y reguladores

de crecimiento BAP e IBA según el tratamiento correspondiente. El pH fue ajustado a 5.7 mediante NaOH 1N.

Se evaluaron concentraciones de agar de 1, 3 y 5 g $L^{-1}$ como agente gelificante. Posteriormente, el medio fue distribuido en tubos de ensayo y esterilizado en autoclave a 121 °C durante 15 min.

*Establecimiento in vitro*. Los meristemos fueron disectados y establecidos en los diferentes medios de cultivo bajo condiciones asépticas. Los explantes se incubaron a temperatura de 25 ± 1° C, humedad relativa del 70-80 % y con un fotoperiodo de 14 h.

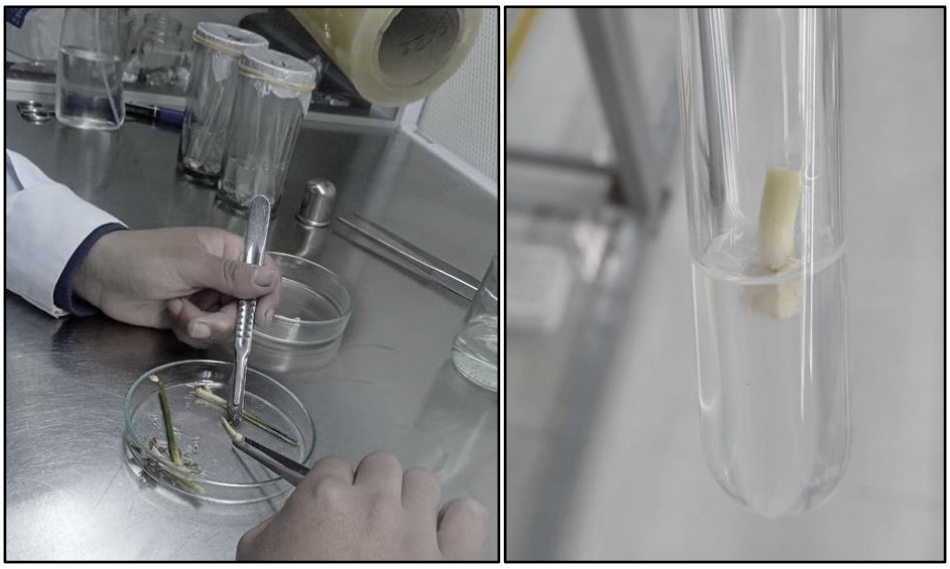


Figura 2 Establecimiento *in vitro*. A: Establecimiento de la totora; B: Meristemo en el medio de cultivo con 3 gramos de agar

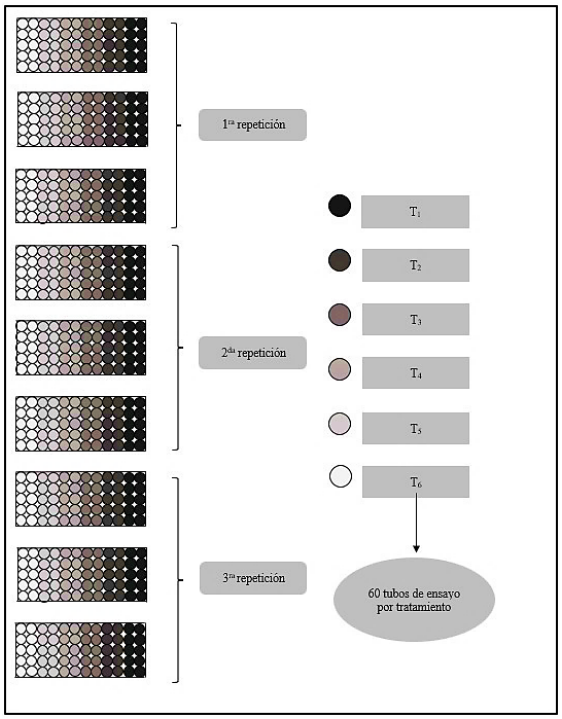



Figura 3 Croquis del diseño experimental

*Evaluación*. A los 20 días después de la siembra se evaluaron 60 explantes por cada tratamiento. Las variables analizadas fueron; porcentaje de contaminación, oxidación y sobrevivencia (explantes que lograron establecerse y no se contaminaron ni se oxidaron).

*Tratamientos, diseño experimental y análisis estadístico*. En la fase de desinfección se evaluaron 9 tratamientos mediante un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, (para determinar la influencia de las distintas concentraciones de hipoclorito de sodio y tiempo de inmersión sobre el establecimiento *in vitro* de explantes de *S. californicus*) considerando como factor A la concentración de hipoclorito de sodio y el factor B el tiempo de inmersión. Para la fase de establecimiento se evaluaron 6 tratamientos bajo un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, (para evaluar el efecto del agar en

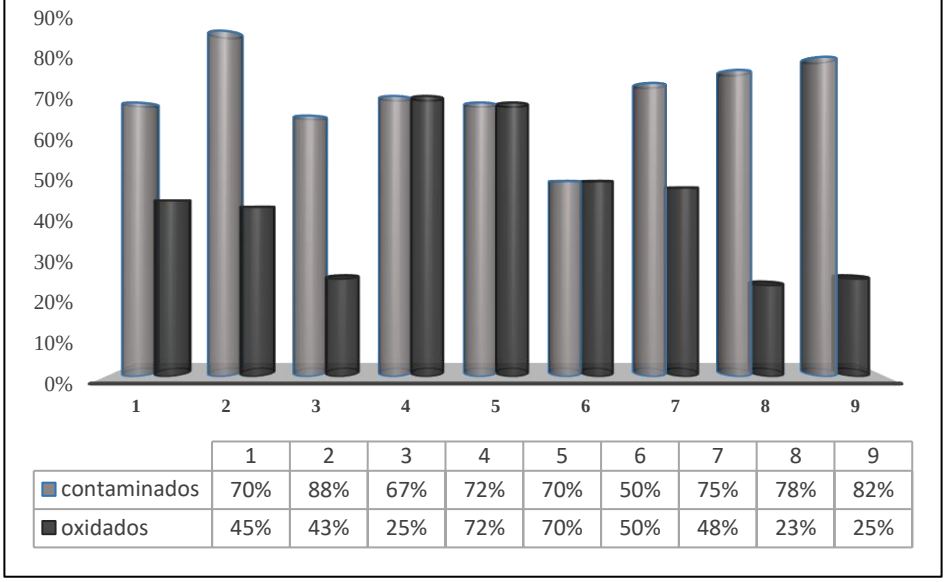
las vitroplantas) considerando como factor A el tipo de medio de cultivo y factor B la concentración de agar. Cada tratamiento conto con tres repeticiones.

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa InfoStat. Asimismo, las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron mediante la prueba de comparación múltiple de Duncan.

## Resultados

*Resultados de la desinfección de los cormos meristemáticos*. El ANOVA no evidenció diferencias significativas entre tratamientos para la variable porcentaje de contaminación ($p > 0.05$). Sin embargo, se observaron variaciones en el comportamiento de los explantes durante la fase de establecimiento *in vitro*.

La Figura 4 muestra los porcentajes de contaminación y oxidación registrados en los diferentes tratamientos evaluados. El tratamiento 6 presentó el menor porcentaje de contaminación (43 %), mientras que el tratamiento 8 registró el menor porcentaje de oxidación (13 %).




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| contaminados | 70% | 88% | 67% | 72% | 70% | 50% | 75% | 78% | 82% |
| oxidados | 45% | 43% | 25% | 72% | 70% | 50% | 48% | 23% | 25% |

Figura 4 Porcentaje de contaminación y oxidación por tratamiento

En general, los tratamientos con mayores concentraciones de hipoclorito de sodio y mayores tiempos de inmersión tendieron a reducir los niveles de contaminación; sin embargo, algunos tratamientos incrementaron la oxidación de los tejidos meristemáticos.

La prueba de comparación múltiple de Duncan manifestó diferencias significativas para la variable oxidación, observándose mayores porcentajes en los tratamientos con hipoclorito de sodio al 3 % y tiempos de inmersión prolongados.

Durante la fase de establecimiento, los explantes presentaron cambios morfológicos caracterizados por crecimiento inicial y variaciones en la coloración de los tejidos, observándose diferentes niveles de adaptación in vitro según el tratamiento aplicado.

*Resultados del efecto del agar en el establecimiento in vitro*. La Figura 5, el porcentaje de sobrevivencia de los meristemos en los diferentes tratamientos evaluados. Los tratamientos con 1 g de agar presentaron los mayores porcentajes de sobrevivencia, mientras que las concentraciones elevadas de agar registraron menores valores.

El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre las concentraciones de

agar para la variable sobrevivencia ($p < 0.01$). Los tratamientos con menor concentración de agar presentaron mayores porcentajes de sobrevivencia en comparación con los medios con mayores niveles de gelificación.

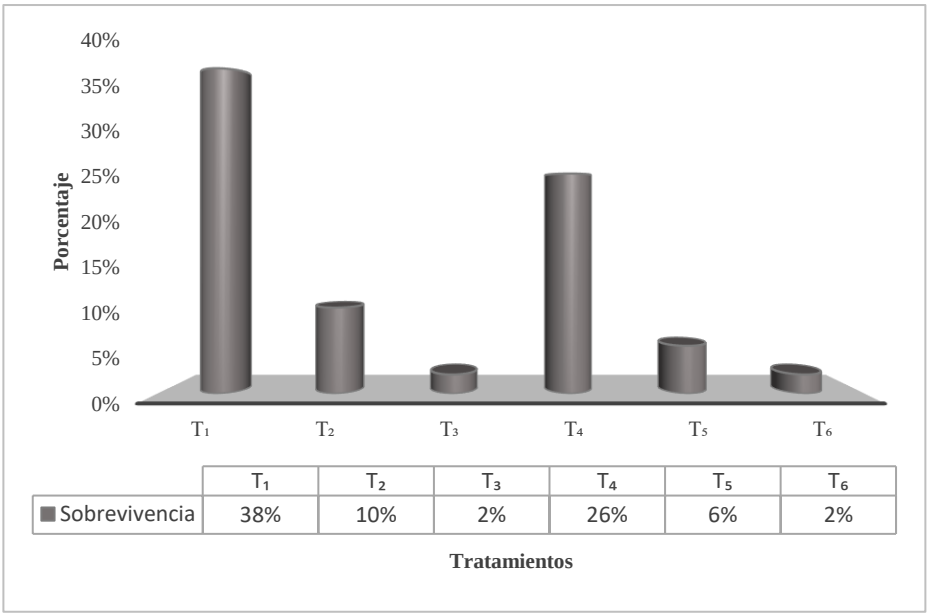



Figura 5 Sobrevivencia en los diferentes tratamientos

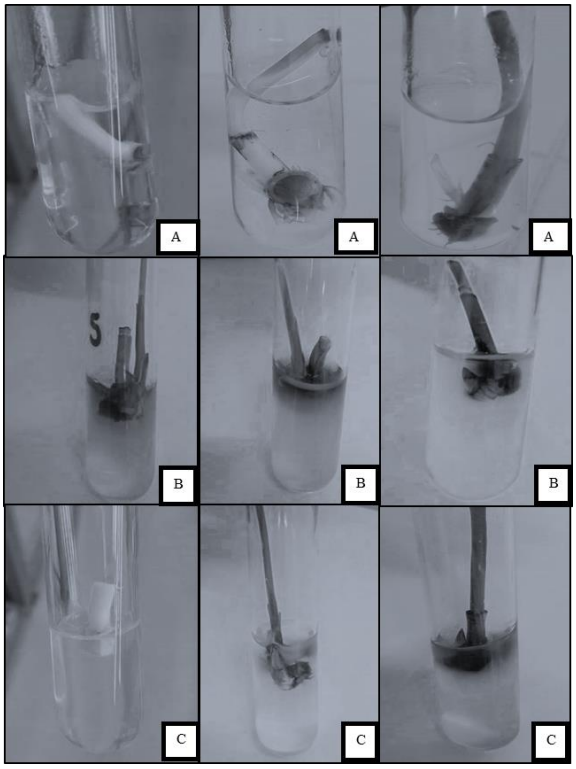



Figura 6 Crecimiento de la totora. A: Crecimiento en medio de cultivo con 1 g de agar; B: Crecimiento en medio de cultivo con 3 g de agar; C: Crecimiento en medio de cultivo con 5 g de agar

La prueba de Duncan indicó que el tratamiento con 1 g $L^{-1}$ de agar alcanzó el mayor promedio de sobrevivencia (34.06 %), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con 3 y 5 g $L^{-1}$ de agar.

Asimismo, se observó que las concentraciones elevadas de agar redujeron el crecimiento y viabilidad de los explantes durante la fase inicial del establecimiento *in vitro*.

En términos generales, los medios con menor concentración de agente gelificante favorecieron el establecimiento de los meristemos y permitieron una mayor sobrevivencia de las vitroplantas.

## Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron que el establecimiento *in vitro* de *S. californicus* estuvo condicionado principalmente por dos factores: la eficacia del proceso de desinfección y la concentración del agente gelificante utilizado en el

medio de cultivo. Ambos factores influyeron directamente en la viabilidad, sobrevivencia y respuesta fisiológica de los meristemos durante las primeras etapas del cultivo.

**Tabla 3 Análisis de varianza para la variable: Sobrevivencia**

| F.V | G.L | S.C | C.M | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio de cultivo | 1 | 90.36 | 90.36 | 1.70 | 0.2172 NS |
| Niveles de agar de agar | 2 | 2525.45 | 1262.73 | 23.71 | 0.0001 ** |
| M*NA | 2 | 81.61 | 40.81 | 0.77 | 0.4863 NS |
| Error | 12 | 639.16 | 53.26 | | |
| **Total** | **17** | **3336.58** | | | |

**Tabla 4 Prueba Duncan para las cantidades de Agar**

| Niveles de agar | Promedio o medias | Duncan |
|---|---|---|
| **1** | 34.06 | A |
| **3** | 13.98 | B |
| **5** | 5.88 | B |

Durante la fase de desinfección se observaron diferencias en los niveles de contaminación, oxidación y sobrevivencia de los explantes. Aunque concentraciones elevadas de hipoclorito de sodio contribuyeron a disminuir parcialmente la contaminación microbiana, también incrementaron el daño oxidativo en los tejidos meristemáticos. Este comportamiento sugiere que existe un equilibrio crítico entre la eficiencia del desinfectante y la conservación de la viabilidad celular durante el establecimiento *in vitro*.

La oxidación observada probablemente estuvo asociada a la liberación de compuestos fenólicos ocasionada por el daño celular durante la manipulación y desinfección de los explantes. Este fenómeno representa una de las principales limitantes en cultivo de tejidos vegetales, debido a que la acumulación de compuestos oxidados afecta la capacidad regenerativa y sobrevivencia de los tejidos cultivados *in vitro*. Asimismo, la sensibilidad de los meristemos frente a los agentes desinfectantes puede variar según el estado fisiológico del explante y las características propias de cada especie vegetal. Una vez superada la fase inicial de desinfección, la respuesta de los meristemos estuvo influenciada significativamente por las condiciones físicas del medio de cultivo, particularmente por la concentración de agar. Los tratamientos con menores concentraciones de gelificante presentaron mayores porcentajes de sobrevivencia, lo que indica que la disponibilidad hídrica del medio constituye un factor determinante para el establecimiento *in vitro* de *S. californicus*.

El agar cumple una función fundamental en cultivo de tejidos vegetales, ya que proporciona soporte físico a los explantes y regula la disponibilidad de agua y nutrientes en el medio de cultivo[15,16]. Debergh[17] y Nery et al.[18] señalaron que las propiedades fisicoquímicas del agente gelificante modifican el potencial hídrico y la movilidad de solutos, afectando directamente el crecimiento y desarrollo de los tejidos cultivados *in vitro*. De manera similar, Ghashghaie et al.[19] reportaron que concentraciones elevadas de agar reducen la disponibilidad de agua para los explantes, limitando su crecimiento y viabilidad.

Los resultados obtenidos coinciden con dichos reportes, ya que los tratamientos con mayores concentraciones de agar presentaron mayores índices de mortalidad. Esta respuesta podría estar relacionada con una menor absorción de agua, nutrientes y reguladores de crecimiento por parte de los tejidos meristemáticos en medios más sólidos. En contraste, diversos autores indicaron que medios líquidos o con bajas concentraciones de agar favorecen la absorción de nutrientes, la disponibilidad de citoquininas y la ai-

reación del sistema, promoviendo un mejor desarrollo de los explantes cultivadas in *vitro*[20-22]. Estas condiciones podrían explicar el mejor desempeño observado en los tratamientos con menor concentración de agar durante la etapa de establecimiento.

Sin embargo, aunque las bajas concentraciones de agar favorecieron la sobrevivencia inicial de los meristemos, durante la fase de multiplicación se observó un incremento en los síntomas de hiperhidratación y mortalidad. Este fenómeno, también denominado vitrificación, constituye una alteración fisiológica frecuente en cultivo de tejidos vegetales y se encuentra asociado con un exceso de agua disponible en los tejidos cultivados *in vitro*[23].

La hiperhidratación afecta negativamente la anatomía y fisiología de las vitroplantas, provocando alteraciones como reducción de la cutícula, desorganización de cloroplastos y disminución de la eficiencia fotosintética[24,25]. Asimismo, Hazarika[26] señaló que este trastorno compromete significativamente la calidad y capacidad de aclimatación de las vitroplantas debido a alteraciones estructurales y fisiológicas de los tejidos. Entre los principales factores asociados a este fenómeno se encuentran bajas concentraciones de agar y potenciales osmóticos inadecuados[26,27].

Los resultados del presente estudio sugieren que, aunque los medios menos gelificados favorecen el establecimiento inicial de *S. californicus*, es necesario ajustar progresivamente la concentración del agente gelificante conforme avanzan las etapas del cultivo *in vitro*, con el fin de reducir alteraciones fisiológicas y mejorar la calidad del material propagado. Resultados similares fueron reportados por Ebrahim[28] en *Zantedeschia aethiopica* y por Muthukrishnan et al.[29] y Suthar et al.[30] en *Ceropegia thwaitesii* y *Boswellia serrata*, respectivamente, la respuesta de los explantes estuvo estrechamente relacionada con la consistencia física del medio de cultivo.

En conjunto, los resultados obtenidos indican que tanto el protocolo de desinfección como la concentración de agar constituyen factores críticos durante el establecimiento *in vitro* de *S. californicus*. La respuesta observada podría estar relacionada con la naturaleza acuática de la especie, la cual presenta mayor sensibilidad frente a variaciones en la disponibilidad hídrica del medio. Estos hallazgos representan una base importante para futuras investigaciones orientadas a la optimización de protocolos de micropropagación, conservación y aplicaciones de fitorremediación en especies acuáticas de importancia ecológica.

Finalmente, la utilización de alcohol al 70 % durante 1 min, seguido de hipoclorito de sodio al 3 % durante 15 min, permitió el establecimiento *in vitro* de explantes meristemáticos de *S. californicus* con bajos niveles de contaminación, constituyendo el tratamiento más eficiente para el establecimiento *in vitro* de los explantes. Asimismo, se señaló que la concentración del agente gelificante influyó significativamente sobre la sobrevivencia de los meristemos, obteniéndose el mayor porcentaje de sobrevivencia (34.06 %) en el medio de cultivo suplementado con 1 g $L^{-1}$ de agar. Estos resultados permitieron establecer las condiciones más favorables para el establecimiento *in vitro* de *S. californicus*, cumpliéndose el objetivo planteado en la investigación y proporcionando una base para futuros estudios de micropropagación, conservación y fitorremediación de la especie.

## Fuente de financiamiento

La presente investigación fue financiada por la Escuela Militar de Ingeniería (EMI), Unidad de Investigación Ciencia y Tecnología, a través de recursos institucionales destinados al fortalecimiento de la línea de investigación en micropropagación de especies vegetales. No se recibieron fondos externos de

entidades públicas ni privadas para la realización de este estudio.

## Conflictos de intereses

No existe ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

A la Escuela Militar de Ingeniería (EMI) por el apoyo logístico e institucional, así como al personal del Laboratorio de Biotecnología Vegetal por la colaboración técnica durante el desarrollo de la investigación.

## Consideraciones éticas

La presente investigación se realizó cumpliendo las normas éticas y de bioseguridad establecidas por la Escuela Militar de Ingeniería (EMI). El material vegetal utilizado corresponde a la especie nativa *Schoenoplectus californicus* (totora), recolectado sin afectar poblaciones naturales ni ecosistemas, con fines exclusivamente científicos.

## Limitaciones en la investigación

Disponibilidad reducida de material vegetal libre de contaminación, el tiempo para el establecimiento del cultivo *in vitro*, Asimismo, los resultados obtenidos corresponden a una primera fase experimental y requieren validaciones adicionales en fases posteriores de micropropagación y campo**.**

### Contribución de los autores

*Gladys Limachi Quispe*, ejecución experimental, registro de datos y redacción inicial del manuscrito. *Jheanete Pérez Guzmán*, laboratorio de Biotecnología Vegetal (EMI), ejecución experimental, diseño metodológico, supervisión técnica, y corrección del manuscrito.

## Acceso a los datos

Los datos generados y analizados durante la presente investigación están disponibles en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la EMI.

## Consentimiento para la publicación

Los autores otorgan su consentimiento para la publicación. Asimismo, la Escuela Militar de Ingeniería (EMI) autoriza la difusión de los resultados obtenidos en el marco de sus proyectos de investigación.

## Uso de la Inteligencia Artificial

No se utilizó Inteligencia Artificial (IA) ni herramientas de asistencia de escritura generativa para crear o editar el contenido científico, las figuras, ni las conclusiones de este manuscrito

## Literatura Citada

1. Carrasco E. La biotecnología en Bolivia. En: Carneiro M, editor. Estrategias de biotecnología agropecuaria para el Cono Sur [Internet]. Montevideo: Procisur; 2001. p. 31-50. Recuperado a partir de: https://repositorio.iica.int/items/166f27ef-f2f5-468a-80b3-0c5523283a8a
2. Valdés-Infante HJ, Rodríguez Medina NN, González L, Velázquez Palenzuela JB, Rivero Rodríguez D, Sourd Martínez DG, et al. La biotecnología como herramienta para la propagación, conservación y el mejoramiento genético del guayabo. Rev Colomb Biotecnol 2012;14(2):7-19.
3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Perspectivas del medio ambiente en el

sistema hídrico. Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa [Internet]. Panama: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; 2011 [citado 22 de mayo de 2025]. 187 p. Recuperado a partir de: https://www.bivica.org/file/view/id/1227

4. Calcina RLE. Presencia de metales pesados en la biota acuática (*Orestias* sp y *Schoenoplectus tatora*) de la desembocadura del río Ramis-lago Titicaca. Scientiarvm 2018;4(2):47-51. DOI: https://doi.org/10.26696/sci.epg.0084
5. Hidalgo-Cordero JF, García-Navao J. Totora (*Schoenoplectus californicus* (CA Mey.) Soják) and its potential as a construction material. Ind Crops Prod 2018;112:467-80. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029
6. Duchicela Goyes VN, Toledo Verdezoto MK. Determinación de eficiencia de especies vegetales: Totora - Achira implementadas en biofiltros para agua de riego en Punín 2013 [tesis licenciatura]. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2014 [citado 26 de mayo de 2025]. Recuperado a partir de: https://dspace.espoch.edu.ec/items/1c46268e-da96-4d9c-b0b2-1401f1f998b9
7. Pabon Garces GJ, Rodés R, Perez L, Vázquez Hernández LR, Ortega E. Estudio comparativo de germinación de semillas de totora provenientes de tres lagos norte-andinos de Ecuador. Revista Cubana de Ciencias Biológicas 2018;6(3):1-12.
8. Heiser CB. Origins of some cultivated new world plants. Annu Rev Ecol Evol Syst 1979;10:309-26. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.es.10.110179.001521
9. Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G. Seed dormancy and the control of germination. New Phytol 2006;171(3):501-23. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x. PMID: 16866955.
10. Graeber K, Nakabayashi K, Miatton E, Leubner-Metzger G, Soppe WJ. Molecular mechanisms of seed dormancy. Plant Cell Environ 2012;35(10): 1769-86. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02542.x. PMID: 22620982.
11. Hartmann HT, Kester DE, Davies FT, Geneve RL. Plant propagation: principles and practices. 8th ed. Prentice Hall; 2011.
12. Thorpe TA. History of plant tissue culture. Mol Biotechnol 2007;37(2):169-80. DOI: https://doi.org/10.1007/s12033-007-0031-3. PMID: 17914178.
13. Delgadillo-López AE, González-Ramírez CA, Prieto-García F, Villagómez-Ibarra JR, Acevedo-Sandoval O. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Trop Subtrop Agroecosyt 2011;14(2):597-612.
14. Mroginski LA, Roca WM. Establecimiento de cultivos de tejidos vegetales in vitro. En: Mroginski LA, Roca WM, editores. Cultivos de tejidos en la agricultura. Fundamentos aplicaciones [Internet]. Calo: Centro Internacional de Agricultura Tropical; 1993. p. 19-40. Recuperado a partir de: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Cultivo_de_tejidos_en_la_agricultura.pdf
15. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiol Plant 1962;15(3):473-97. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
16. Caraballo MG, García SA, Oramas GG. Influencia del estado físico del medio de cultivo y diferentes combinaciones de reguladores del crecimiento sobre la formación de brotes axilares en Agave fourcroydes Lem. Biotecnol Veg 2006;6(1):3-7.
17. Debergh PC. Effects of agar brand and concentration on the tissue culture medium. Physiol Plant 1983;59(2):270-6. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb00770.x
18. Nery LA, Batista DS, Rocha DI, Sérgio HSF, Matheus da Costa Q, Priscila OS, et al. Leaf development and anatomy of *in vitro*-grown *Polygala paniculata* L. are affected by light quality, gelling agents, and sucrose. Vegetos 2021;34(1):19-28.

DOI: https://doi.org/10.1007/s42535-021-00192-3

19. Ghashghaie J, Brenckmann F, Saugier B. Effects of agar concentration on water status and growth of rose plants cultured *in vitro*. Physiol Plant 1991;82(1):73-8. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb02904.x
20. Mohamed GM, Amer AM, Osman NH, Sedikc MZ, Hussein MH. Effects of different gelling agents on the different stages of rice regeneration in two rice cultivars. Saudi J Biol Sci 2021;28 (10):5738-44. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.003
21. Ivanova M, Van Staden J. Influence of gelling agent and cytokinins on the control of hyperhydricity in *Aloe polyphylla*. Plant Cell Tiss Organ Cult 2011;104(1):13-21. DOI: https://doi.org/10.1007/s11240-010-9794-5
22. Cassells AC, Curry RF. Oxidative stress and physiological, environmental and pathological factors in *in vitro* culture. Plant Cell Tissue Organ Cult 2001;74:103-31. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1016510914861
23. Hazarika BN. Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants. Sci Hortic 2006;108(2): 105-20. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.038
24. Ebrahim MK, Ibrahim IA. Influence of medium solidification and pH value on in vitro propagation of Maranta leuconeura cv. Kerchoviana. Sci Hortic 2000;86(3):211-21. DOI: https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00148-5
25. Lema-Rumińska J, Kulus D. Micropropagation of Cacti-a Review. Haseltonia 2014;19:46-63. DOI: https://doi.org/10.2985/026.019.0107
26. Hazarika BN. Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants. Sci Hortic 2006;108(2): 105-20. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.038
27. Cárdenas Lara MA, Villegas Monter A. Potencial osmótico del medio de cultivo con diferentes componentes para la propagación *in vitro*. Rev Fitotec Mex 2002;25(2):213-7. DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2002.2.213
28. Ebrahim MK. Comparison, determination and optimizing the conditions required for rhizome and shoot formation, and flowering of in vitro cultured calla explants. Sci Hortic 2004;101(3):305-31. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.11.002
29. Muthukrishnan S, Benjamin JF, Rao MV. Influence of agar concentration and liquid medium on in vitro propagation of Ceropegia thwaitesii Hook-an endemic species. J Agric Technol 2013;9(4): 1013-22.
30. Suthar RK, Habibi N, Purohit SD. Influence of agar concentration and liquid medium on in vitro propagation of Boswellia serrata Roxb. Indian J Biotechnol 2011;10(2):224-7.

**Nota del Editor:**
***Journal of the Selva Andina Biosphere (JSAB)*. Todas las afirmaciones expresadas en este artículo son únicamente de los autores y no representan necesariamente las de sus organizaciones afiliadas, o las del editor, editores y los revisores. Cualquier producto que pueda ser evaluado en este artículo, o la afirmación que pueda hacer su fabricante, no está garantizado o respaldado por el editor.**