

Efecto del KCl *in vitro* sobre la germinación, morfología y contenido fitoquímico en plántulas de *Dasyllirion* sp.

In vitro effect of KCl on germination, morphology and phytochemical content in *Dasyllirion* sp. seedlings

Raquel González-Fernández¹ , Cristal Mora-Pacheco¹, Miroslava Quiñonez-Martínez¹ , José Valero-Galván^{1*} 

¹Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Anillo envolvente del PRONAF y Estocolmo s/n, Ciudad Juárez, Chihuahua, 32310, México.

*Correspondencia: Correo electrónico: jose.valero@uach.mx (José Valero-Galván)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v20i1.2311>

Recibido: 30 de abril de 2026; Aceptado: 05 de agosto de 2026

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Editora de Sección: Dra. Yolanda Salinas-Moreno

Resumen

La salinidad representa un factor limitante importante para la germinación y el establecimiento temprano de especies vegetales en zonas áridas; sin embargo, el efecto del exceso de potasio ha sido poco estudiado en *Dasyllirion* sp. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de KCl *in vitro* sobre la germinación, crecimiento y estado fisiológico de plántulas. Se emplearon tres concentraciones de KCl (0.06, 0.12 y 0.19 mM) y un tratamiento control, analizando parámetros germinativos, biomasa, morfometría, contenido de pigmentos, compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Los resultados mostraron que el incremento en KCl redujo significativamente el porcentaje, la velocidad y la eficiencia de germinación, y aumentó el tiempo medio de germinación. Asimismo, se observó una disminución en la biomasa, el crecimiento y los pigmentos fotosintéticos, así como una reducción en el contenido fenólico y la actividad antioxidante. Estos resultados indican que el KCl induce alteraciones fisiológicas que afectan procesos clave como la imbibición, el metabolismo energético y la integridad celular. En conclusión, el KCl actúa como un factor de estrés iónico que impacta negativamente el establecimiento temprano de *Dasyllirion* sp., demostrando su alta sensibilidad bajo condiciones experimentales controladas.

Palabras clave: sotol, estrés salino, semillas, pigmentos, antioxidantes.

Abstract

Salinity is an important limiting factor for germination and early establishment of plant species in arid environments; however, the effects of excess potassium remain poorly understood in *Dasyilirion* sp. The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of KCl *in vitro* on germination, growth, and physiological status of seedlings. Three KCl concentrations (0.06, 0.12, and 0.19 mM) and a control treatment were assessed, analyzing germination parameters, biomass, morphometry, pigment content, phenolic compounds, and antioxidant activity. Results showed that increasing KCl concentrations significantly reduced the percentage, rate, and efficiency of germination, while increasing the average time for germination. Also, it was observed a reduction in biomass, growth, and photosynthetic pigments, along with a decrease in phenolic content and antioxidant activity. These results indicate that KCl induces physiological alterations affecting key processes such as water uptake, energy metabolism, and cellular integrity. In conclusion, KCl acts as an ionic stress factor that negatively impacts the early establishment of *Dasyilirion* sp., demonstrating its high sensitivity under controlled experimental conditions.

Keywords: sotol, salt stress, seeds, pigments, antioxidants.

1. Introducción

El género *Dasyilirion* (Asparagaceae) destaca por presentar plantas perennes de crecimiento lento que habitan regiones áridas y semiáridas del centro-norte de México y el sur de Estados Unidos de América (Ruiz-Flores y Castro-Castro, 2024). Las especies del género presentan hojas alargadas, rígidas y fibrosas, dispuestas en forma de roseta y provistas de márgenes espinosos que pueden alcanzar hasta 1 m de longitud, el tallo central puede medir entre 1 y 1.5 m. El sistema reproductivo es dioico y las plantas producen inflorescencias erectas de gran tamaño, con variaciones morfológicas asociadas al sexo y a la especie (Ortiz et al., 2023). En México, *Dasyilirion* se distribuye desde el centro del país hasta la península de Baja California con presencia notable en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo León, San Luis Potosí y Coahuila (Ruiz-Flores y Castro-Castro, 2024). En estas zonas, los ecosistemas se caracterizan por presentar temperaturas elevadas, baja precipitación anual y suelos rocosos con escaso contenido de materia orgánica. Bajo estas condiciones, este género ha desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas que favorecen su desarrollo debido a que tiene un uso eficiente del agua que favorece su supervivencia en ambientes de alta aridez (Ortiz et al., 2023).

El género *Dasyilirion* presenta relevancia ecológica y valor etnobotánico. Las fibras de sus hojas se han utilizado para elaborar cuerdas, cestas y tapetes, y existen registros de su uso alimenticio. Las plantas de sotol se usan para producir sotol (bebida alcohólica) y cuenta con denominación de origen en los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila. Se estima que solo el estado de Chihuahua concentra el 70 % de la producción nacional, con más de 250 productores y una producción anual estimada en 520,000 L (Madrid-Solórzano et al., 2021). Asimismo, la valoración de residuos fibrosos ricos en celulosa y lignina ha motivado su evaluación como combustible de segunda generación (Benavides-Mendoza et al., 2023), y se han explorado compuestos como fructanos de inulina y oligofructanos con potencial alimenticio (Sánchez-Madrigal, 2019). No obstante, diversos reportes indican que la cadena productiva aún depende de poblaciones silvestres, lo que ha generado presión sobre los recursos naturales y aumento en las distancias de recolección (Juárez-Morales et al., 2023).

En regiones áridas y semiáridas, la salinización de los suelos es una problemática creciente asociada a la elevada evaporación, la limitada lixiviación y a prácticas de manejo que favorecen la acumulación de sales (Stavi et al., 2021). A nivel global se estima que el 10.7 % de la superficie global (1,381 millones de hectáreas), se encuentran afectadas por salinidad, mientras que alrededor del 10 % de las tierras agrícolas irrigadas presentan este problema (FAO, 2024). Asimismo, el 20 % y el 50 % de los suelos bajo riego presentan algún grado de salinización, particularmente en regiones áridas donde la limitada lixiviación favorece la acumulación de sales (Nachshon, 2018; FAO, 2021). La salinidad resulta particularmente crítica para los vegetales, debido a sus efectos negativos sobre la germinación y el establecimiento temprano de las plántulas, derivados de la combinación de estrés osmótico que reduce la imbibición y la expansión celular y estrés iónico, asociado a toxicidad específica y desbalances nutricionales, además de inducir alteraciones en el metabolismo oxidativo y la acumulación de especies reactivas de oxígeno (Zhao et al., 2020; Manono, 2026). Aunque la mayoría de los estudios sobre salinidad se han centrado en el cloruro de sodio (NaCl), el potasio también contribuye de manera relevante a la salinización de suelos áridos, donde puede alcanzar concentraciones elevadas debido a la mineralogía local, la baja capacidad de lixiviación y el uso intensivo de fertilizantes potásicos. En este contexto, el cloruro de potasio (KCl), por su alta solubilidad, puede alterar la homeostasis iónica y el equilibrio K^+/Na^+ , interferir con la absorción de otros cationes esenciales y afectar negativamente la germinación y el crecimiento inicial, tal como se ha documentado en diversos cultivos bajo salinidad inducida por KCl (Bibi et al., 2025). Estos desbalances iónicos pueden modificar el potencial de membrana celular y desencadenar respuestas de estrés oxidativo asociadas a alteraciones en el transporte de K^+ (Zhao et al., 2020).

En México, particularmente en regiones áridas y semiáridas, la salinidad del suelo está dominada principalmente por sodio (Na^+), acompañado por aniones como Cl^- , CO_3^{2-} y SO_4^{2-} , mientras que el potasio (K^+) se presenta generalmente en menores concentraciones relativas en comparación con el sodio, aunque su presencia puede influir en la dinámica iónica del suelo y en la fisiología vegetal. En suelos agrícolas del país se han encontrado condiciones salino-sódicas asociadas a procesos de evaporación, riego y dinámica de aguas subterráneas, las cuales se reflejan en valores de conductividad eléctrica que pueden variar de aproximadamente 7 a $>20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Manzano-Banda et al., 2014; González-Acevedo et al., 2016). En estas condiciones, la salinización suele implicar un incremento del sodio intercambiable, el cual puede desplazar a Ca^{2+} y Mg^{2+} , afectando la estructura del suelo y la disponibilidad de agua para las plantas (González-Acevedo et al., 2016; Colmenero-Chacón et al., 2023). A pesar de que el sodio es el principal ion asociado a la salinidad en estos sistemas, el papel del potasio en condiciones de exceso iónico ha sido menos estudiado, particularmente en especies xerófitas no domesticadas, lo que representa un vacío de conocimiento en la comprensión de su respuesta fisiológica durante etapas tempranas como la germinación. En este sentido, a pesar de la importancia ecológica y productiva del género *Dasyliirion* en zonas áridas y semiáridas, existe información limitada sobre su respuesta al exceso de K^+ durante la germinación, una fase particularmente sensible y determinante para el establecimiento exitoso de las plántulas en ambientes con suelos salinos (Ortiz-López et al., 2024).

Bajo una perspectiva experimental, la germinación representa una fase crítica en el ciclo de vida de las plantas, altamente sensible a factores abióticos como la salinidad, la cual puede afectar procesos como la imbibición, el metabolismo y el establecimiento temprano de las plántulas (Zhao et al., 2020; Joseph et al., 2021; Šerá y Hnilička, 2023; Manono, 2026). Aunque la mayoría de los estudios sobre salinidad se han centrado en el cloruro de sodio (NaCl), existe evidencia de que otros cationes como el potasio también pueden inducir respuestas fisiológicas bajo condiciones de salinidad, ya que

concentraciones elevadas de K^+ pueden generar desequilibrios iónicos y afectar el crecimiento vegetal (Lucini et al., 2016; Joseph et al., 2021; Ievinsh et al., 2022; Guan et al., 2022). En este sentido, el uso de KCl en condiciones controladas permite aislar el efecto de los iones K^+ y Cl^- y evaluar sus implicaciones fisiológicas, sin la interferencia de otros factores presentes en sistemas edáficos naturales (Viera-Santos et al., 2001).

Adicionalmente, la germinación presenta una variabilidad inherente asociada tanto a factores genéticos como ambientales, incluso entre semillas provenientes de una misma población (Sharma y Majee, 2023). En este estudio, el uso de una sola población permitió reducir la variabilidad genética y enfocar el análisis en la respuesta fisiológica frente al tratamiento iónico. Asimismo, aunque las especies no domesticadas pueden presentar dormancia y germinación heterogénea, el uso de condiciones controladas de germinación permitió minimizar su efecto en la evaluación comparativa de los tratamientos. En este contexto, el estudio de la respuesta de especies xerófitas no domesticadas, como *Dasyllirion*, frente a estrés iónico controlado, constituye un paso fundamental para comprender los mecanismos fisiológicos que intervienen en su establecimiento temprano, generando información base que podrá ser contrastada en futuros estudios bajo condiciones ambientales naturales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de distintas concentraciones de cloruro de potasio (KCl) *in vitro*, sobre la germinación y el establecimiento temprano de plántulas de *Dasyllirion*, a través del análisis de variables morfológicas y marcadores fisiológicos, incluyendo pigmentos fotosintéticos, compuestos fenólicos y actividad antioxidante, con el propósito de generar información básica sobre la respuesta fisiológica de *Dasyllirion* a variaciones iónicas bajo condiciones controladas, que pueda servir como base para futuros estudios en condiciones de campo.

2. Materiales y métodos

2.1 Recolección y escarificación de las semillas

Se recolectó una población de semillas *Dasyllirion* sp. directamente de plantas ubicadas en el jardín del museo de La Rodadora (31° 41' 23.5" N y -106° 25' 41.9" W), en el municipio de Juárez, Chihuahua, el 25 de septiembre del 2025. La identificación taxonómica a nivel de género se realizó con base en caracteres morfológicos diagnósticos descritos para *Dasyllirion*, tales como la presencia de hojas largas, lineares y fibrosas dispuestas en roseta basal densa, con márgenes provistos de espinas o dientes, así como el hábito perenne característico del género (Bogler, 1995; Ortiz-Covarrubias et al., 2022; Ruiz-Flores y Castro-Castro, 2024), sin embargo, la determinación a nivel especie no fue posible debido a la ausencia de estructuras reproductivas (inflorescencias y flores) al momento de la colecta, las cuales son esenciales para la discriminación entre especies dentro del género, debido a la alta similitud morfológica en estado vegetativo. Durante el periodo de estudio no se dispuso de material en estado reproductivo en el sitio de muestreo, por lo que no fue posible realizar la identificación a nivel de especie.

Las semillas recolectadas se colocaron en una bolsa de papel y se transportaron al laboratorio de reproducción del Instituto de Ciencias Biomédicas. Luego se procedió a la escarificación mecánica para retirar la capa externa protectora de la semilla, considerando que, en especies xerófitas no domesticadas, la cubierta seminal puede representar una barrera física para la imbibición, que afecta

la germinación. En total, se trabajó con 360 semillas seleccionadas al azar de la población recolectada. El uso de una sola población respondió a la necesidad de reducir la variabilidad genética, y enfocar el análisis en la respuesta fisiológica de las plántulas al tratamiento iónico bajo condiciones controladas.

2.2 Condiciones de esterilización y germinación de las semillas

Una vez escarificadas, las semillas se colocaron en un vaso de precipitado estéril y se cubrieron con 20 mL de agua y 5 gotas de jabón líquido, enseguida se colocaron y agitaron en un agitador orbital (Envirco, México) durante 10 min a 50 rpm. Se retiró el agua jabonosa y se realizaron dos lavados con agua destilada. Se añadieron 20 mL de Cloralex® al 10 % y se mantuvo la agitación en las mismas condiciones del paso anterior. Enseguida, se realizaron dos lavados con agua destilada, y se repitió el lavado con etanol al 70 %, con el mismo volumen de 20 mL, en las mismas condiciones de agitación que los pasos anteriores. Finalmente, se dieron dos lavados adicionales con agua destilada (Valero-Galván et al. 2024).

De las semillas así desinfectadas, se evaluaron cuatro tratamientos: un control con 13 mL de agua destilada estéril y tres soluciones de KCl (Sigma-Aldrich, México) a concentraciones de 0.06, 0.12 y 0.19 mM. Para cada tratamiento se establecieron tres repeticiones independientes. En cada repetición se sembraron 30 semillas (3 repeticiones por tratamiento, $n = 90$) en cajas de Petri con tres redondeles de papel secante esterilizados en autoclave (Ecoshel, México). En cada caja se colocaron dos redondeles en la base, sobre los cuales se distribuyeron seis filas homogéneas de cinco semillas, cubriéndose posteriormente con un tercer redondel de papel. Cada repetición se regó con 13 mL de la solución correspondiente al tratamiento asignado.

Enseguida, las placas de Petri con las semillas se colocaron en una cámara bioclimática a 25 °C, con un fotoperíodo de 12 horas, condiciones establecidas para proporcionar un ambiente controlado que favorezca la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas, minimizando la variabilidad ambiental durante el ensayo. Durante 21 días, las semillas se regaron cada 7 días en las mismas condiciones descritas con anterioridad. Las cajas de Petri con las semillas se monitorearon todos los días, y se registró el número de semillas germinadas por tratamiento y sus repeticiones durante los 21 días, considerando una semilla germinada, al presentar ≥ 1 mm de radícula. Los datos registrados se utilizaron para determinar el porcentaje de germinación (Pg), el tiempo medio de germinación (Tmg), velocidad media de germinación (Vmg), y el índice de velocidad de germinación (Ivg), utilizando las fórmulas propuestas por Souza et al. (2016).

A los 21 días de germinación, también se extrajeron 15 plántulas por tratamiento y se midió la longitud total de la plántula, raíz y hoja utilizando un vernier digital (Digimatic ABSOLUTE, México). Asimismo, se determinó el peso total de la plántula, raíz y hoja usando una balanza analítica de precisión (Denver Instrument, Alemania).

2.3. Extracción y cuantificación de pigmentos

Para la determinación de las clorofilas, carotenoides y xantofilas se obtuvo un extracto estándar según el método propuesto por Lichtenthaler (1987) con algunas modificaciones (Valero-Galván et al. 2024). Para cada tratamiento se realizaron tres replicas biológicas (tres plántulas

independientes), se molió 0.1 g de hojas en un mortero con la ayuda de un pistilo hasta obtener una muestra disgregada homogénea (una por plántula como réplica biológica). Luego, se añadieron 2 mL de etanol al 100 % (v/v) (JT Baker, Estados Unidos) a la muestra homogénea de tejido y se mezcló con el mismo pistilo hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, el homogenizado se recuperó en un microtubo de 1.5 mL con la ayuda de una micropipeta. A continuación, la muestra se agitó y soncó a 4 °C en la oscuridad durante 30 min. Después, el extracto se centrifugó a 12.000 rpm a 4 °C durante 5 min, y el sobrenadante se recolectó en un nuevo microtubo de 1.5 mL.

Para la cuantificación se colocaron tres réplicas independientes (tres réplicas biológicas por cada tratamiento) de 200 µL del extracto estándar, en tres celdas independientes de una microplaca de 96 celdas. Enseguida, se midieron las absorbancias a las longitudes de onda de 632 nm, 652 nm, 665 nm y 696 nm en un espectrofotómetro (Bio-Rad, Estados Unidos). Los datos se obtuvieron con el software Microplate Manager 6.0 (Bio-Rad, Estados Unidos). La concentración de clorofila a, clorofila b, clorofila total, xantofilas y carotenoides se determinaron utilizando las ecuaciones propuestas por Lichtenthaler (1987).

2.4. Cuantificación de fitoquímicos y actividad antioxidante

Para la cuantificación de los contenidos de compuestos fenólicos, flavonoides, azúcares reductores y actividad antioxidante se realizó un extracto estándar según el método propuesto por Valero-Galván et al. (2024). Se recolectaron por triplicado 0.030 g de hoja, los cuales se maceraron en un mortero de porcelana adicionando 2 mL de metanol al 80 % frío (JT Baker, Estados Unidos). La mezcla se transfirió a un tubo de microcentrifuga de 1.5 mL y se centrifugó a 5000 rpm durante 5 min. Posteriormente, la fase líquida se separó de la fase sólida y se almacenó en tubos de 2 mL.

La capacidad antioxidante del extracto se evaluó mediante el método FRAP (Valero-Galván et al. 2024). Se depositaron 24 µL del extracto estándar por triplicado en una placa de 96 pocillos, se añadieron 180 µL del reactivo de FRAP y se incubó durante 30 min en oscuridad. Para la actividad antioxidante DPPH se depositaron 25 µL de cada extracto por triplicado en una placa de 96 pocillos y se añadieron 200 µL de reactivo DPPH. La mezcla se dejó reposar durante 30 min en oscuridad. Después del tiempo de reposo se midió la absorbancia de 595 nm para FRAP y 517 nm para DPPH en un espectrofotómetro (Bio-Rad, Estados Unidos). Los datos se obtuvieron con el software Microplate Manager 6.0 (Bio-Rad, Estados Unidos). La cuantificación de ambas pruebas se realizó mediante una curva de calibración utilizando Trolox (Sigma-Aldrich, México) como estándar. Los resultados se expresaron en µM equivalentes de Trolox por gramo de peso seco (µM ET·g⁻¹ PS).

Para la cuantificación de compuestos fenólicos totales se utilizó el método de Folin-Ciocalteu (Valero-Galván et al. 2024). En una placa de 96 pocillos, se depositaron por triplicado 25 µL de cada extracto, 100 µL de carbonato de sodio (Na₂CO₃) (7.5 %, Sigma-Aldrich, México) y 125 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (2N, Sigma-Aldrich, México). La mezcla se dejó reposar en oscuridad durante 15 min y se midió la absorbancia a 710 nm en un espectrofotómetro (Bio-Rad, Estados Unidos). Los datos se obtuvieron con el software Microplate Manager 6.0 (Bio-Rad, Estados Unidos). Para la cuantificación se elaboró una curva de calibración con ácido gálico (Sigma-Aldrich, México) como estándar. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG·g⁻¹ PS).

Para la cuantificación de azúcares reductores se utilizó el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Valero-Galván et al. 2024). Se mezclaron 50 μL de extracto y 300 μL de reactivo DNS (Sigma-Aldrich, México) en un tubo Eppendorf, se calentó a 95 $^{\circ}\text{C}$ durante 5 min en un termobloque y, una vez a temperatura ambiente, se colocaron 150 μL de cada muestra en una placa de 96 pocillos y se midió la absorbancia a 540 nm (Sigma-Aldrich, México). Para la cuantificación se preparó una curva de calibración tomando la glucosa (Sigma-Aldrich, México) como estándar, y los resultados se expresaron como mg de glucosa por gramo de masa seca ($\text{mg GLU}\cdot\text{g}^{-1}\text{ PS}$).

2.5. Análisis estadístico

Se utilizó el software IBM SPSS Statistics versión 22.0 para realizar un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con el objetivo de identificar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de concentración de KCl analizados. El nivel de significancia se estableció en $p < 0.05$. Posteriormente, se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey para identificar diferencias específicas entre los grupos. El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con tres repeticiones por tratamiento, considerando cada repetición como una unidad experimental independiente. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson con un nivel de confianza del 0.05 entre las variables de las concentraciones de KCl y morfológicas, germinación, pigmentos fotosintéticos, compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

3. Resultados y discusión

3.1. Efecto del KCl en los índices de germinación

En la Fig. 1 se muestra el crecimiento de las plántulas de sotol en condiciones de estrés, bajo el tratamiento de las diferentes concentraciones de KCl a los 21 días de germinación.

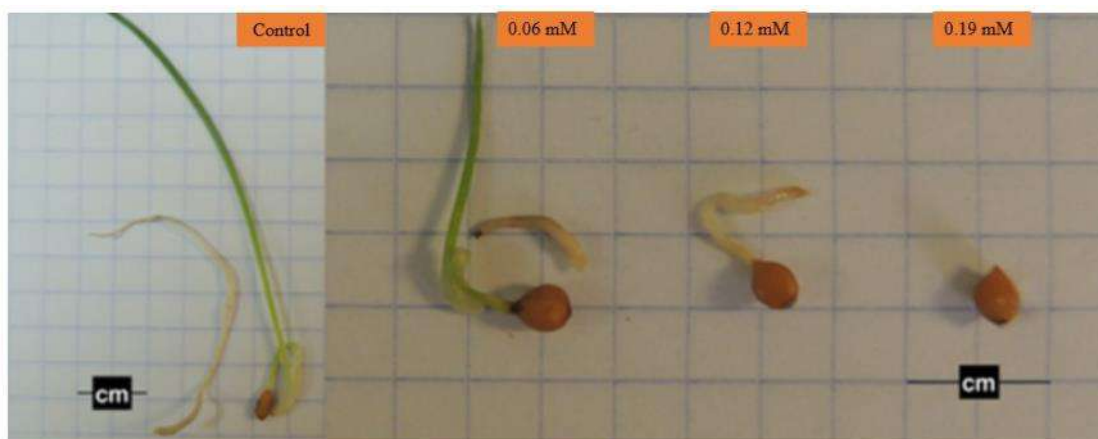


Figura 1. Efecto de las tres concentraciones de KCl sobre las características morfológicas de las plántulas de sotol a los 21 días después de su germinación.

Figure 1. Effect of three KCl concentrations on the morphological characteristics of sotol seedlings 21 days after germination.

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de germinación (Pg), el tiempo medio de germinación (Tmg), velocidad media de germinación (Vmg) y el índice de velocidad de germinación (Ivg). El tratamiento control presentó un 100 % de germinación, lo cual confirmó la viabilidad del lote de semillas bajo las condiciones experimentales, asimismo, la germinación observada en los tratamientos confirmó la capacidad germinativa de las semillas en diferentes condiciones iónicas. El Pg mostró una disminución progresiva de 6.6 %, 20 % y 90 %, en 0.06, 0.12 y 0.19 mM de KCl, respectivamente. De manera similar, el Ivg disminuyó 6.79 %, 20.38 % y 91.85 %, conforme aumentó la concentración de KCl. Así mismo, el Vmg permaneció sin cambios en las dos primeras concentraciones, sin embargo, se observó una reducción del 16.67 % en la concentración más alta de KCl. En contraste, el Tmg se comportó igual a 0.06–0.12 mM (–1.04 % y –0.60 %, respectivamente), pero aumentó un 20.48 % en la concentración de 0.19 mM, evidenciando retraso en la emergencia bajo el nivel de KCl más elevado (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de diferentes concentraciones KCl en cuatro índices de germinación de semillas de *Dasyllirion* sp. después de 21 días de germinación.

Table 1. Effect of different KCl concentrations on four germination indices of *Dasyllirion* sp. seeds after 21 days of germination.

Índices de germinación	Concentración de KCl			
	0 mM	0.06 mM	0.12 mM	0.19 mM
Pg (%)	100.00±0.57 ^a	93.33±0.38 ^b	80.00±0.57 ^c	10.00±0.57 ^d
Tmg (días)	8.30±0.02 ^b	8.21±0.02 ^b	8.25±0.02 ^b	10.00±0.57 ^a
Vmg (días ⁻¹)	0.12±0.00 ^b	0.12±0.01 ^b	0.12±0.01 ^b	0.10±0.01 ^a
Ivg (días)	3.68±0.00 ^a	3.43±0.02 ^b	2.93±0.02 ^c	0.30±0.00 ^d

Se muestran las medias ± desviación estándar de un n=90 semillas por tratamiento, las letras indican el resultado de la prueba de medias de Tukey. Pg = Porcentaje de germinación, Tmg = tiempo medio de germinación, Vmg = velocidad media de germinación y Ivg = índice de germinación.

Los índices Pg y el Ivg se correlacionaron negativamente con las concentraciones de KCl ($r = -0.901$, $p < 0.001$), lo que evidenció que el incremento en la salinidad redujo simultáneamente la proporción de semillas germinadas y la rapidez de germinación de las semillas. Del mismo modo, el Vmg se correlacionó negativamente con las concentraciones de KCl ($r = -0.773$, $p < 0.05$), indicando que el incremento en la salinidad del medio disminuye la eficiencia de la germinación de las semillas. En contraste, el Tmg se correlacionó positivamente con las concentraciones de KCl ($r = 0.784$, $p < 0.05$), lo que sugirió que a mayores concentraciones de KCl se requiere más tiempo para completar el proceso germinativo de las semillas.

En estos resultados se observó que el incremento en la concentración de KCl afectó negativamente el porcentaje y velocidad de germinación, pero aumentó el tiempo medio de germinación de las semillas de *Dasyllirion* sp. Este comportamiento es consistente con lo observado en especies de pastos, donde las semillas expuestas a diferentes concentraciones de KCl mostraron una disminución en el

porcentaje e índice de germinación, así como un incremento en el tiempo medio de germinación (Ruiz y Terenti, 2012). De manera similar, en semillas de *Capsicum annuum* L., el porcentaje de germinación disminuyó progresivamente conforme aumentó la concentración de KCl, evidenciando una respuesta negativa al estrés iónico (Joseph et al., 2021). Estos resultados sugieren que el exceso de KCl puede afectar procesos fisiológicos clave durante la germinación, como la imbibición y la activación metabólica (Lucini et al., 2016). Sin embargo, el presente estudio aporta evidencia específica sobre la sensibilidad fisiológica de *Dasyllirion* sp. a gradientes controlados de K^+ , un aspecto poco documentado en especies xerófitas no domesticadas, particularmente durante etapas tempranas del desarrollo.

De manera consistente, en semillas germinadas de sotol [*D. acrotrichum* (Schiede) Zucc.], el efecto de NaCl disminuyó la velocidad de germinación y aumentó el tiempo necesario para completar ese proceso (Valero-Galván et al., 2024), sin embargo, en dicho estudio el porcentaje de germinación no fue afectado por el incremento de la concentración de NaCl (Valero-Galván et al., 2024). Asimismo, estudios similares han sido reportados en trigo (*Triticum aestivum* L.), donde tratamientos con NaCl afectaron negativamente el índice y la velocidad media de germinación, mientras que incrementaron el tiempo medio de germinación (Fuller et al., 2012). Este patrón coincide con lo observado en otras especies sometidas a salinidad, donde la germinación disminuye y el tiempo requerido para completarla aumenta conforme se incrementa la concentración de sales (Irik y Bikmaz, 2024). Además, se ha observado que en *Dasyllirion* sp., las semillas presentan latencia exógena y una baja tolerancia a condiciones adversas durante la etapa germinativa, lo que contribuye a su sensibilidad a factores ambientales como el estrés salino (Ortiz-López et al., 2024). En el presente estudio se observó una disminución marcada de la germinación a la concentración más alta de KCl, lo que sugiere una respuesta fisiológica sensible al exceso de potasio en las semillas analizadas. Estos efectos pueden atribuirse principalmente al estrés osmótico, que reduce la disponibilidad de agua para la imbibición, y a la toxicidad iónica, que altera funciones metabólicas esenciales durante las primeras fases de la germinación (Valero-Galván et al., 2024; Manono, 2026).

Las concentraciones de KCl empleadas corresponden a un gradiente controlado diseñado para evaluar la sensibilidad fisiológica de las semillas de *Dasyllirion* frente a variaciones iónicas, permitiendo identificar umbrales de respuesta en germinación y desarrollo temprano bajo condiciones experimentales. En este sentido, el diseño experimental se orienta a caracterizar la respuesta biológica de la especie ante el exceso de K^+ , estableciendo una base comparativa para comprender su comportamiento frente al estrés iónico. Se hipotetiza que el incremento en la concentración de KCl inducirá una reducción progresiva en la germinación y el crecimiento de las plántulas, debido a alteraciones en procesos fisiológicos clave asociados al balance hídrico y metabólico. Adicionalmente, aunque se emplearon 90 semillas por tratamiento, la unidad experimental correspondió a la caja de Petri, con tres repeticiones independientes por tratamiento. En consecuencia, el tamaño de muestra efectivo utilizado en los análisis estadísticos fue de $n = 3$, lo cual constituye una limitación inherente en términos de potencia estadística, pudiendo restringir la detección de diferencias de baja magnitud entre tratamientos. Finalmente, el potasio es un nutriente esencial para las plantas y su aplicación forma parte de esquemas de fertilización en condiciones de cultivo. No obstante, en este estudio se evaluó el efecto del KCl como agente de estrés iónico bajo condiciones experimentales controladas, por lo que los resultados no deben interpretarse en el contexto de su función nutricional en campo.

3.2. Efecto del KCl en el peso y morfometría de las plántulas

En el presente estudio, también se observó el efecto de las diferentes concentraciones de KCl exógeno sobre el peso y la morfometría de las plántulas después de 21 días de germinación. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en el peso de la hoja, raíz, peso total de la plántula, largo de hoja, largo de la raíz y largo total de las plántulas. Se observó que el KCl redujo el peso total en un 44.4 %, 72.2 % y 100 % (0.06, 0.12 y 0.19 mM, respectivamente), el peso de la hoja (38.7 %, 69.3 % y 100 %) y el peso de raíz (58.3 %, 75 % y 100 %). Asimismo, se observó una reducción en la longitud total de la plántula (29 %, 68.8 % y 100 %), el largo de la raíz (57.03 %, 39.39 % y 100 %) y el largo de la hoja (10.81 %, 87.02 % y 100 %) (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de diferentes concentraciones KCl en la morfometría de las plántulas de *Dasyllirion* sp. después de 21 días de germinación.

Table 2. Effect of different KCl concentrations on the morphometry of *Dasyllirion* sp. seedlings after 21 days of germination.

Características	Concentración de KCl			
	0 mM	0.06 mM	0.12 mM	0.19 mM
Peso total (g)	0.072±0.013 ^a	0.040±0.01 ^b	0.020±0.007 ^c	0.0±0.0 ^d
Peso hoja (g)	0.049±0.013 ^a	0.030±0.01 ^b	0.015±0.008 ^c	0.0±0.0 ^d
Peso raíz (g)	0.024±0.008 ^a	0.010±0.01 ^b	0.006±0.001 ^c	0.0±0.0 ^d
Longitud total (cm)	13.16±1.79 ^a	9.29±5.21 ^{ab}	4.09±2.35 ^b	0.0±0.0 ^c
Largo raíz (cm)	5.07±0.81 ^a	2.18±1.05 ^b	3.04±1.83 ^b	0.0±0.0 ^c
Largo hoja (cm)	8.08±0.97 ^a	7.21±4.16 ^a	1.05±0.52 ^b	0.0±0.0 ^b

Se muestran los valores promedio ± desviación estándar (n = 15 plantas por tratamiento); las letras en los superíndices representan los grupos estadísticamente diferentes según la prueba de comparación de medias de Tukey (p ≤ 0.05).

Estos resultados confirman que las plántulas de *Dasyllirion* sp. fueron altamente sensible a las diferentes concentraciones de KCl evaluadas (Tabla 2). Al correlacionar los pesos, morfometría de las plántulas y las diferentes concentraciones de KCl mediante el análisis de correlaciones de Pearson, se observó que el peso de la hoja y total de las plántulas presentaron correlaciones negativas fuertes (r = -0.912 y -0.908, respectivamente). De manera similar, se observaron correlaciones negativas para el peso de raíz (r = -0.663), longitud de raíz (r = -0.681) y longitud total de la plántula (r = -0.609), mientras que la longitud de hoja presentó una correlación negativa moderada (r = -0.551). Estos resultados claramente evidenciaron que el incremento en la concentración de KCl redujo la biomasa de las plántulas tras los 21 días de desarrollo.

En el caso de la longitud de raíz, no se observó una respuesta en función de la concentración de KCl, ya que el valor promedio disminuyó a 0.06 mM, presentó un incremento a 0.12 mM y finalmente se inhibió completamente a 0.19 mM. Este comportamiento puede estar influenciado por la alta

variabilidad observada entre repeticiones, particularmente en el tratamiento de 0.12 mM, lo cual limita la definición de un patrón de respuesta consistente en el rango de concentraciones evaluado. Asimismo, los tratamientos de 0.06 y 0.12 mM no presentaron diferencias estadísticas entre sí, lo que sugiere que las variaciones observadas en los valores promedio podrían no reflejar un efecto fisiológico diferenciable, sino la variabilidad inherente al sistema experimental. En contraste, la inhibición total del crecimiento radical a 0.19 mM evidencia un efecto claro del KCl a concentraciones más elevadas. De manera consistente, en plántulas de *Capsicum annuum* se ha reportado que el tratamiento con KCl reduce el crecimiento tanto del sistema radical como del sistema aéreo en comparación con el control, observándose un efecto negativo progresivo conforme aumenta la concentración de la sal (Joseph et al., 2021). En dicho estudio, las plántulas desarrolladas en condiciones control presentaron un mayor crecimiento, mientras que concentraciones elevadas de KCl resultaron en un desarrollo radicular y de brote significativamente limitado. Este comportamiento coincide con lo observado en el presente estudio, donde el incremento en la concentración de KCl afectó negativamente la biomasa y el crecimiento de las plántulas, lo que sugiere que el estrés iónico puede interferir con procesos fisiológicos esenciales asociados al desarrollo vegetal temprano.

Estos resultados fueron similares a los obtenidos en plántulas de *D. acrotrichum*, donde se observó que concentraciones crecientes de NaCl disminuyeron la biomasa foliar y radicular, la longitud de las hojas y raíces de plántulas germinadas a los 21 días (Valero-Galván et al., 2024). También, en este estudio se confirmó que la salinidad no solo afecta la germinación de la semilla, sino también el desarrollo temprano de las plántulas de sotol. Sin embargo, una diferencia importante entre ambos estudios radicó en la intensidad del efecto de la sal usada, mientras que en las plántulas del sotol sometidas a NaCl se redujeron progresivamente la biomasa y la morfometría de las plántulas, el KCl impactó severamente la biomasa de las plántulas de sotol, sugiriendo una mayor susceptibilidad a la acumulación de potasio que a la exposición de NaCl. Estos resultados son consistentes con la eco-fisiología de plantas de zonas áridas, donde la tolerancia al sodio suele ser relativamente mayor debido a su presencia natural en los suelos, mientras que concentraciones elevadas de potasio pueden producir desbalances iónicos más rápidos, reduciendo la turgencia celular, afectando procesos como la expansión de tejidos y la estabilidad de membranas. Estos resultados también fueron consistentes con los obtenidos en plantas de *Agave durangensis* Gentry, *A. lechuguilla* Torr. y *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, donde concentraciones de NaCl disminuyeron variables del peso fresco, la biomasa aérea y el crecimiento radicular, afectando la capacidad de las plántulas para establecerse, lo cual refuerza que las especies de Asparagaceae comparten respuestas eco-fisiológicas semejantes, ante la exposición a la salinidad en los suelos (Campos et al., 2020; Gallegos-Hernández et al., 2024). En otras especies no relacionadas como en el caso de *Triticum aestivum*, el estrés salino redujo el contenido de agua en los tejidos, la longitud de hojas y raíces y la biomasa total (Taïbi et al., 2016; Lan et al., 2020). Por lo tanto, el estrés salino actúa principalmente reduciendo la disponibilidad de agua para la expansión celular, disminuyendo la turgencia y limitando procesos fisiológicos esenciales para la producción de biomasa. En este estudio, el potasio parece generar efectos más severos que el sodio, lo que implica que la acumulación de K^+ en suelos áridos puede representar un factor limitante para el establecimiento y desarrollo de plántulas en ecosistemas donde *Dasyllirion* es una especie clave (Valero-Galván et al. 2024).

3.3. Efecto del KCl en el contenido fitoquímico en hojas

En el presente estudio también se observó el efecto de las diferentes concentraciones de KCl exógeno sobre el contenido de pigmentos, fitoquímicos y actividad antioxidante en las hojas de plántulas después de 21 días de germinación. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de clorofilas, xantofilas, carotenoides, fenólicos y actividad antioxidante. Estos resultados indicaron que el incremento de KCl redujo claramente las clorofilas de las hojas de las plántulas después de los 21 días de germinación. Respecto al control, la clorofila a disminuyó 51 %, 92 %, y 100 % en las concentraciones de 0.06, 0.12 y 0.19 mM, respectivamente; mientras que el contenido de la clorofila b se redujo en un 65 %, 87 % y 100 %, y el contenido de la clorofila total en un 56 %, 90 % y 100 %. Del mismo modo, el contenido de xantofilas descendió 33 %, 83.40 % y 100 %, mientras que los carotenos mostraron una reducción del 28 %, 10 % y 100 %. En el contenido de fenólicos totales también disminuyeron 3 %, 29 % y 100 %. La actividad antioxidante por DPPH disminuyó 4.6 % en 0.06 mM, mientras que aumentó en un 0.4 % en 0.12 y disminuyó un 100 % en 0.19 mM (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de diferentes concentraciones de KCl sobre el contenido fitoquímico y actividad antioxidante en hojas de plántulas de *Dasyilirion* sp.

Table 3. Effect of different concentrations of KCl on phytochemical content and antioxidant activity in leaves of seedlings of *Dasyilirion* sp.

Fitoquímico y actividad antioxidante	Concentraciones de KCl			
	Control	0.06 mM	0.12 mM	0.19 mM
Clorofila a*	192.40±51.25 ^a	93.74±5.74 ^b	14.72±3.29 ^c	0.0±0.0 ^d
Clorofila b*	113.86±2.75 ^a	39.48±4.81 ^b	14.68±4.79 ^c	0.0±0.0 ^d
Clorofila total*	306.24±3.93 ^a	133.22±6.45 ^b	29.36±6.01 ^c	0.0±0.0 ^d
Xantofilas*	32.66±6.92 ^a	21.62±4.52 ^b	5.42±2.3 ^c	0.0±0.0 ^d
Carotenoides*	9.29±0.81 ^a	6.68±3.25 ^a	8.33±8.71 ^b	0.0±0.0 ^c
Fenólicos**	20.52±0.86 ^a	19.8±1.48 ^a	14.5±0.46 ^b	0.0±0.0 ^c
DPPH***	21.49±0.92 ^a	20.50±0.61 ^a	21.58±0.81 ^a	0.0±0.0 ^b

Se muestran los valores promedio ± desviación estándar (n=3); las letras en los superíndices representan los grupos estadísticamente diferentes según la prueba de comparación de medias de Tukey (p≤ 0.05). * mg g⁻¹; ** mg EAG g⁻¹, *** μM ET g⁻¹.

Este comportamiento puede explicarse a partir de alteraciones metabólicas inducidas por el estrés iónico. Se ha reportado que el incremento en la concentración de KCl reduce la eficiencia fotosintética en plántulas de *Capsicum annuum*, evidenciado por la disminución en la actividad de transporte electrónico y cambios en la relación clorofila a/b, lo que indica una afectación en el aparato fotosintético. Asimismo, se ha observado una reducción en la actividad de la enzima amilasa y en el contenido de carbohidratos, lo que limita la conversión de reservas en compuestos solubles necesarios para la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas. En conjunto, estos efectos sugieren que el estrés por KCl interfiere con procesos fisiológicos clave, como la movilización de reservas y el metabolismo energético, lo que contribuye a la disminución en la germinación y el crecimiento observados en el presente estudio (Joseph et al., 2021).

De manera complementaria, estos cambios pueden interpretarse como parte de una respuesta metabólica compleja al estrés iónico. Estudios metabolómicos realizados en plantas de alcachofa (*Cynara cardunculus* L.) han demostrado que el tratamiento con KCl induce una reorganización del metabolismo fenólico, con disminución de algunos flavonoides y acumulación de otros compuestos asociados a la defensa, lo que sugiere una redistribución de los metabolitos secundarios en respuesta al estrés. Asimismo, se ha observado un desbalance en el perfil de fitohormonas, caracterizado por alteraciones en citoquininas, auxinas y giberelinas, lo que refleja una modificación en los mecanismos de regulación del crecimiento vegetal. De manera paralela, el incremento en metabolitos asociados al estrés oxidativo y a la lipoperoxidación, indicó daño a nivel de membranas celulares (Lucini et al., 2016). En conjunto, estos cambios evidencian que el estrés por KCl afecta múltiples niveles del metabolismo vegetal, lo que podría explicar las alteraciones fisiológicas observadas en el presente estudio.

Además, estos resultados fueron similares a los obtenidos en plántulas de *D. acrotrichum*, donde concentraciones crecientes de NaCl disminuyeron el contenido de las clorofilas y la capacidad antioxidante, sin embargo, el impacto máximo se observó solamente en las concentraciones más altas (Valero-Galván et al. 2024). En contraste, en el presente estudio el KCl provocó reducciones mucho más drásticas, alcanzando pérdida total de pigmentos incluso en niveles intermedios. Esta diferencia sugiere que, al igual que en la germinación y el crecimiento inicial, el potasio ejerce un efecto tóxico más severo que el sodio en este género, posiblemente debido a su influencia sobre la homeostasis iónica y la estabilidad de membranas cloroplásticas (Valero-Galván et al. 2024). También se observó una disminución en el contenido de las xantofilas y carotenos, esto podría implicar que las plántulas de sotol pudieron quedar más expuestas al daño foto-oxidativo. Este efecto también se ha observado en otras especies como *Lactuca sativa* L., *Cucurbita maxima* Duch., *Triticum aestivum* y *Phaseolus vulgaris* L., donde el efecto de la salinidad en las plántulas redujo el contenido de carotenoides y xantofilas (Taïbi et al., 2016; Shin et al., 2020; Lan et al., 2020; Tarchoun et al., 2022).

En el presente estudio también se observó una reducción en los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Este comportamiento contrasta con lo encontrado en algunas especies expuestas al estrés salino como *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni, *Polygonum equisetiforme* Sm. y *Agave durangensis*, en las que se observó un aumento en el contenido de fenólicos y actividad antioxidante como mecanismo de protección ante el exceso de radicales libres (Taïbi et al., 2016; Boughalleb et al., 2020; Gallegos-Hernández et al., 2024). La ausencia de esta respuesta adaptativa en *Dasyllirion* sp., sugiere que la severidad del daño provocado por el potasio, supera la capacidad del tejido para activar rutas antioxidantes, o bien que el estrés afecta tempranamente las vías biosintéticas responsables de producir estos compuestos. Esto confirma que el potasio constituye un factor de

estrés más severo en las plántulas evaluadas, afectando tanto procesos estructurales como metabólicos esenciales para el establecimiento temprano bajo condiciones experimentales (Valero-Galván et al. 2024).

4. Conclusiones

Este estudio demuestra que las semillas de *Dasyilirion* sp. evaluadas, presentan una alta sensibilidad a la salinidad inducida por KCl en las etapas tempranas de su desarrollo bajo condiciones controladas in vitro. Durante la germinación, el incremento en la concentración de KCl redujo la eficiencia germinativa y prolongó el tiempo requerido para completar este proceso. En el desarrollo de las plántulas, la salinidad afectó de manera marcada la biomasa foliar, radicular y total, limitando su crecimiento y capacidad de establecimiento. Finalmente, el análisis bioquímico reveló un deterioro del aparato fotosintético y de la capacidad antioxidante, indicando que el estrés iónico supera la capacidad fisiológica de respuesta de las plántulas evaluadas. En este contexto, los resultados aportan información específica sobre la respuesta fisiológica de *Dasyilirion* sp. frente a gradientes controlados de K^+ , contribuyendo al entendimiento de los mecanismos asociados al establecimiento temprano de especies xerófitas no domesticadas. Esta información constituye una base experimental para futuros estudios, orientados a evaluar la tolerancia a la salinidad en condiciones ambientales, y a comparar respuestas entre poblaciones o especies del mismo género.

Agradecimientos

La presente investigación fue realizada con el apoyo de la infraestructura de los laboratorios del Departamento de Ciencias Químicas Biológicas del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Conflicto de interés

Los autores no tienen conflicto de intereses, en la publicación de estos resultados.

5. Referencias

- Benavides-Mendoza, A., Hernández-Juárez, A., & Francisco-Francisco, N. (2023). Germinación, crecimiento vegetativo y morfología floral de *Dasyilirion cedrosanum* del matorral rosetófilo de Coahuila. *CienciaUAT* 18(1):191–201. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i1.1772>
- Bibi, S., Ahmad, M., Ibadullah, Khan, F.M., Khan, A., & Yaseen, M. (2025). Effect of potassium chloride induced salinity on germination and potassium uptake by various wheat genotypes. *Pure and Applied Biology* 14(4):1166–1179. <https://doi.org/10.19045/bspab.2025.140105>
- Bogler, D. J. (1995). *Dasyilirion* systematics: taxonomy and molecular phylogeny. *Botanical Sciences* 56:69-76. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1465>

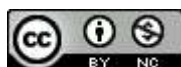
- Boughalleb, F., Abdellaoui, R., Mahmoudi, M., & Bakhshandeh, E. (2020). Changes in phenolic profile, soluble sugar, proline, and antioxidant enzyme activities of *Polygonum equisetiforme* in response to salinity. *Turkish Journal of Botany* 44(1):25–35. <https://doi.org/10.3906/bot-1908-2>
- Campos, H., Trejo, C., Peña Valdivia, C.B., García Nava, R., Conde Martínez, F.V., & Cruz Ortega, R. (2020). Water availability effects on germination, membrane stability and initial root growth of *Agave lechuguilla* and *A. salmiana*. *Flora* 268:151606. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151606>
- Colmenero-Chacón, C.P., Morales-deAvila, H., Gutiérrez, M., Esteller-Alberich, M.V., & Alarcón-Herrera, M.T. (2023). Enrichment and temporal trends of groundwater salinity in central Mexico. *Hydrology* 10(10):194. <https://doi.org/10.3390/hydrology10100194>
- FAO. (2021). Global map of salt-affected soils gsasmap v1.0. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7247en>
- FAO. (2024). Global status of salt-affected soils - Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://doi.org/10.4060/cd3044en>
- Fuller, M.P., Hamza, J.H., Rihan, H.Z., & Al-Issawi, M. (2012). Germination of primed seed under NaCl stress in wheat. *International Scholarly Research Notices* 2012(1):167804. <https://doi.org/10.5402/2012/167804>
- Gallegos-Hernández, G., Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E.A., Ávila-Reyes, J.A., & Torres-Ricario, R. (2024). Variation of the chemical and biochemical responses to salinity during germination and early growth of seedlings of two populations of *Agave durangensis* Gentry. *Plant Science Today* 11(2):193–204. <https://doi.org/10.14719/pst.2963>
- González-Acevedo, Z.I., Padilla-Reyes, D.A., & Ramos-Leal, J.A. (2016). Quality assessment of irrigation water related to soil salinization in Tierra Nueva, San Luis Potosí, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 33(3):271-285. <https://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/438>
- Guan, P., Xie, C., Zhao, D., Wang, L., & Zheng, C. (2022). *SES1* is vital for seedling establishment and post-germination growth under high-potassium stress conditions in *Arabidopsis thaliana*. *PeerJ* 10, e14282. <https://doi.org/10.7717/peerj.14282>
- Ievinsh, G., Andersone-Ozola, U., & Jēkabsone, A. (2022). Similar responses of relatively salt-tolerant plants to Na and K during chloride salinity: Comparison of growth, water content and ion accumulation. *Life* 12(10):1577. <https://doi.org/10.3390/life12101577>
- Irik, H.A., & Bikmaz, G. (2024). Effect of different salinity on seed germination, growth parameters and biochemical contents of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds cultivars. *Scientific Reports* 14:6929. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55325-w>
- Joseph, E., Pius, C., & Mendez, A. (2021). Effect of potassium chloride stress on seed germination and growth of *Capsicum annuum* L. *International Journal of Research in Engineering and Science* 9(7):30-34. <https://www.ijres.org/papers/Volume-9/Issue-7/Series-6/E09073034.pdf>
- Juárez-Morales, M., Martínez-Salvador, M., Chávez-Mendoza, C., Villarreal-Guerrero, F., Pinedo-Álvarez, A., Santellano-Estrada, E., Corrales-Lerma, R., Hernández-Quiroz, N.S., & Vega-Mares, J.H. (2023). Ecological attributes of the shrubby community of sotol (*Dasylirion leiophyllum*) in the Chihuahuan Desert, Mexico. *Forests* 14(12):2343. <https://doi.org/10.3390/f14122343>
- Lan, C.Y., Lin, K.H., Chen, C.L., Huang, W.D., & Chen, C.C. (2020). Comparisons of chlorophyll fluorescence and physiological characteristics of wheat seedlings influenced by iso-osmotic

- stresses from polyethylene glycol and sodium chloride. *Agronomy* 10(3): 325. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030325>
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148:350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lucini, L., Borgognone, D., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Bernardi, J. & Colla, G. (2016). Mild potassium chloride stress alters the mineral composition, hormone network, and phenolic profile in artichoke leaves. *Frontiers in Plant Science* 7: 948. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00948>
- Madrid -Solórzano, J.M., Garcia-Alcaraz, J.L., & Valles -Rosales, D.J. (2021). La producción de sotol: revisión de literatura sistemática. *Mundo FESC* 11(S2):107-117. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.917>
- Manono, B.O. (2026). Effects of salinity on seed germination: Mechanisms, impacts, and mitigation strategies. *Seeds* 5(1):1. <https://doi.org/10.3390/seeds5010001>
- Manzano-Banda, J.I., Rivera-Ortiz, P., Briones-Encinia, F., & Zamora-Tovar, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana* 32(3):211-219. <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/es/article/view/25>
- Nachshon, U. (2018). Cropland soil salinization and associated hydrology: Trends, processes and examples. *Water* 10(8):1030. <https://doi.org/10.3390/w10081030>
- Ortiz, A., Velasco-Velasco, V.A., Martínez-Gutiérrez, G.A., Campos-Angeles, G.V., & Rodríguez-Ortiz, G. (2023). La germinación de semillas de *Dasyilirion* spp. en condiciones de laboratorio: Morfología del fruto de *Dasyilirion*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 10(2):78–89. <https://doi.org/10.60158/rma.v10i2.369>
- Ortiz-Covarrubias, Y.C., Orozco-Sifuentes, M.M., Mendoza-Rodríguez, D.V., Villarreal-Quintanilla, J.A., Martínez, O., Hernández-Godínez, F., & Reyes-Valdés, M.H. (2022). Phylogeny, origin and diversification of the *Dasyilirion* genus based on matK and rbcL sequences. *Plant Genetic Resources* 20(2):108-115. <https://doi.org/10.1017/S1479262122000181>
- Ortiz-López, A., Velasco-Velasco, V.A., Martínez-Gutiérrez, G.A., Campos-Ángeles, G.V., & Rodríguez-Ortiz, G. (2024). Potencial germinativo de *Dasyilirion* spp. como respuesta a regímenes térmicos pregerminativos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 11(3): e4005. <https://era.ujat.mx/rera/es/article/view/4005>
- Ruiz, M., & Terenti, O. (2012). Germinación de cuatro pastos bajo condiciones de estrés salino. *Phyton (Buenos Aires)* 81(2):169-176. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572012000200006&lng=es&tlng=es
- Ruiz-Flores, S.I. & Castro-Castro, A. (2024). Distribución, riqueza, endemismo y conservación del género *Dasyilirion* (Asparagaceae, Convallarioideae). *Acta Botánica Mexicana* (131): e2367. <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2367>
- Sánchez-Madrigal, M.Á. (2019). Extracción y caracterización de fructanos a partir de plantas de sotol (*Dasyilirion* spp.) y agave (*Agave tequilana* Weber var. azul) mediante métodos enzimáticos asistidos con tecnologías de ultrasonido y su aplicación en alimentos (Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León). 259 p. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/18349>
- Šerá, B., & Hnilička, F. (2023). Genetic and environmental factors affecting seed germination. *Plants* 12(24):4106. <https://doi.org/10.3390/plants12244106>

- Sharma, E., & Majee, M. (2023). Seed germination variability: why do genetically identical seeds not germinate at the same time? *Journal of Experimental Botany* 74(12):3462–3475. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad101>
- Shin, Y.K., Bhandari, S. R., Jo, J. S., Song, J. W., Cho, M. C., Yang, E. Y., & Lee, J.G. (2020). Response to salt stress in lettuce: Changes in chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities. *Agronomy* 10(11): 1627. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111627>
- Souza, L.F., Gasparetto, B.F., Lopes, R.R., & Barros, I.B.I. (2016). Temperature requirements for seed germination of *Pereskia aculeata* and *Pereskia grandifolia*. *Journal of Thermal Biology* 57: 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.01.009>
- Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science* 9: 712831. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L.A., Ennajah, A., Belkhodja, M., & Mulet, J.M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defense systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany* 105: 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>
- Tarchoun, N., Saadaoui, W., Mezghani, N., Pavli, O.I., Falleh, H., & Petropoulos, S.A. (2022). The effects of salt stress on germination, seedling growth and biochemical responses of Tunisian squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) germplasm. *Plants* 11(6): 800. <https://doi.org/10.3390/plants11060800>
- Valero-Galván, J., Garza-Vallejo, G.I., Quiñónez-Martínez, M., & González-Fernández, R. (2024). Seed morphometry and NaCl and sucrose effect on germination rates and phytochemicals in sotol (*Dasylirion acrotrichum*) from the Chihuahua state, Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 26: 87–106. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v26i.554>
- Viera-Santos, C.L., Campos, A., Azevedo, H., & Caldeira, G. (2001). *In situ* and *in vitro* senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. *Journal of Experimental Botany* 52(355): 351–360. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.355.351>
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation* 1(1): 100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>

2026 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>