







El papel crucial del contenido de carbohidratos y proteínas en las raíces de *Parkinsonia aculeata* frente a salinidad y sequía en el semidesierto de Sonora, México

Angélica Herrera-Sepúlveda¹, Ofelda Peñuelas-Rubio¹, Joe Luis Arias-MoscOSO¹, Francisco Cadena Cadena¹, Iram Mondaca -Fernández², Jorge González Aguilera³, Leandris ArgenteL-Martínez^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui, BÁCUM, Sonora, México.

²Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México.

³Universidad Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Cassilândia, MS, Brasil

Autor de correspondencia: oleinismora@gmail.com

Recibió: 2024-09-01

Aceito: 2024-09-11

Publicado: 2024-09-12

Editor Principal

Alan Mario Zuffo

Resumen: El cambio climático está alterando los patrones de precipitación y temperatura, afectando a los ecosistemas y cultivos, por lo que es vital estudiar a adaptación al estrés abiótico, especialmente en zonas áridas. *Parkinsonia aculeata* es una especie del semidesierto de Sonora. Evaluar su respuesta frente al estrés por salinidad y sequía; determinando el impacto de estas condiciones en el contenido de carbohidratos y proteínas totales en las raíces utilizando métodos estándar es el objetivo del presente trabajo. Al evaluar las raíces el contenido de carbohidratos fue mayor en el sitio con salinidad (3.803 mg g⁻¹ ms) comparado con el sitio con sequía (3.696 mg g⁻¹ ms). En contraste, el contenido de proteínas fue mayor en el sitio afectado por sequía (5.632 mg g⁻¹ ms) en relación con la afectación por salinidad (2.132 mg g⁻¹ ms). Estas diferencias indican que las raíces de *P. aculeata* responden de manera distinta a la salinidad y a la sequía, adaptándose a las condiciones abióticas específicas, por lo que potencialmente pueden ser utilizados como indicadores clave de la adaptación de la planta al estrés abiótico, proporcionando información valiosa para la ecología y conservación de ecosistemas áridos en el contexto del cambio climático.

Palabras clave: estrés abiótico; ecología; fisiología vegetal; mitigación; cambio climático.



Copyright: © 2023. Creative Commons Attribution license: [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Para cita: Herrera-Sepúlveda, A.; Peñuelas-Rubio, O.; Arias-MoscOSO, J. L.; Cadena, F. C.; -Fernández, I. M.; Aguilera, J. G.; ArgenteL-Martínez, L. (2024). El papel crucial del contenido de carbohidratos y proteínas en las raíces de *Parkinsonia aculeata* frente a salinidad y sequía en el semidesierto de Sonora, México. Trends in Agricultural and Environmental Sciences, (e240014), DOI: 10.46420/TAES.e240014



1. Introducción

El cambio climático altera los patrones de precipitación y temperatura, forzando a los sistemas ecológicos y agrícolas a cambiar, transformarse y/o colapsar (Cheng y Gong, 2021). Las predicciones de los efectos que este fenómeno pueda tener sobre la vegetación son de especial interés, debido a su función como fuente primaria de recursos para los consumidores, incluidos el hombre. Teniendo en cuenta el aumento previsto de la población humana mundial y la creciente demanda por alimentos, es necesario estudiar la capacidad de adaptación de los distintos cultivos al estrés abiótico (Raza et al., 2019). Específicamente, en los ecosistemas cuyo factor limitante es principalmente la temperatura y las precipitaciones, es apremiante determinar la respuesta a la vegetación frente al cambio climático. Las zonas áridas, el mejor ejemplo de ecosistemas altamente vulnerables, donde las alteraciones en la temperatura y precipitación puede llevar a las especies vegetales a sus límites fisiológicos y sus efectos pueden ser devastadores (IPCC 2007).

La mayoría de las plantas están compuestas por una parte aérea (hojas, tallo, flores, frutos) y una parte subterránea (raíces). Las raíces desempeñan un papel esencial en la supervivencia y desarrollo de las plantas. Dicha función incluye: el anclaje de la planta al suelo, la captación de

minerales y agua del suelo, el transporte de agua y minerales a la parte aérea y la síntesis de compuestos orgánicos que permite la comunicación e interacción con el microbioma del suelo y con otras plantas (Anten y Chen, 2021). Debido a que las raíces están en contacto directo con el suelo, cuando se presentan condiciones estresantes (déficit de agua y nutrientes, salinidad, inundaciones, temperaturas elevadas), las raíces son el principal órgano de las plantas, en detectar estos cambios (Tariq et al., 2024). Durante estas condiciones desfavorables, las raíces de las plantas se adaptan, desarrollando mecanismos de defensas celulares específicas para hacer frente a las condiciones estresantes, mostrando modificaciones morfológicas y fisiológicas (a nivel de expresión de genes, proteínas y metabolitos) (Khan et al., 2016, Shurabhi et al., 2018). La finalidad de estas adaptaciones en las raíces es evitar que la planta sufra alteraciones en su crecimiento y desarrollo (Kul et al., 2020).

Los carbohidratos o azúcares, son moléculas orgánicas ampliamente distribuidos en la naturaleza; tienen importantes funciones estructurales y metabólicas (Ahmad et al., 2024). En los vegetales, la obtención de carbohidratos se lleva a cabo a partir de la fotosíntesis, y es almacenada generalmente en raíz y semillas en forma de almidón (Rodwell et al., 2018). Los carbohidratos que componen la raíz de las plantas son principalmente utilizados para llevar a cabo actividades fisiológicas como son el crecimiento, respiración, absorción de nutrientes y secreción de compuestos orgánicos (Mei et al., 2004). El almacenamiento de los carbohidratos en las plantas puede desempeñar un papel importante en su metabolismo, defensa y resistencia a sequía y retrasando o previniendo la muerte (Ji et al., 2020).

Al igual que los carbohidratos, las proteínas son biomoléculas que actúan como un elemento estructural clave de las células, el metabolismo celular y el desarrollo (Jan et al., 2019). El contenido de proteínas en las raíces de las plantas es un factor crítico para diversos procesos fisiológicos y de desarrollo; este contenido puede variar mucho en función de la especie vegetal, la fase de desarrollo, las condiciones ambientales y la disponibilidad de nutrientes (Ghosh y Xu, 2014).

En este sentido, el presente estudio tuvo por objetivo determinar el contenido de carbohidratos y proteínas totales en las raíces de la especie endémica del semidesierto de Sonora, *Parkinsonia aculeata*, bajo dos condiciones abióticas estresantes (salinidad y sequía), como posible indicador de respuesta adaptativa vegetal, frente al estrés abiótico en ecosistemas frágiles.

2. Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en dos sitios los cuales presentan características representativas del semidesierto de Sonora; Sitio 1 el Municipio de San Ignacio Río Muerto, específicamente en la localidad de Bahía de Lobos (BL), abarcando un área de 2 hectáreas con condiciones de salinidad elevada ($CE = 8.6 \text{ dS m}^{-1}$) ($27^{\circ}22'15'' \text{ N}$; $-110^{\circ}25'35'' \text{ O}$), y el Sitio 2, en el municipio de Rosario Tesopaco, (TS); el cual se ve afectado por severas sequías ($27^{\circ}53'12'' \text{ N}$; $-109^{\circ}22'46'' \text{ W}$) (Herrera-Sepúlveda et al., 2024). Estos sitios de estudio, se clasifican como BWw (Desértico o muy árido con lluvias en verano) para el sitio 1 y BSw (Semiseco o estepario con lluvias en verano) para el sitio 2, de acuerdo a la escala de Köppen para México (García E. 2004). En plantas de *Parkinsonia aculeata* que crecen naturalmente en ambos sitios, se recolectaron muestras de raíz a profundidades de 0-30 cm, extrayendo un total de nueve muestras. Posteriormente, las muestras fueron transportadas en bolsas ziplock en una hielera para asegurar la integridad de las mismas, y después fueron secadas en estufa a 70° C para determinar humedad y finalmente fueron sujetas a determinación de carbohidratos totales, utilizando el método AOAC 920.44 (AOAC, 1997).

Por otra parte, en las mismas muestras se determinó el porcentaje de nitrógeno total, siguiendo la metodología descrita en la NOM-F-68-S-1980, posteriormente este valor se multiplico por

el factor de conversión 6.25 para obtener así el contenido de proteína de las muestras. La determinación de carbohidratos totales y el porcentaje de nitrógeno se realizó por cuadruplicado. Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete profesional ESTATÍSTICA, versión 14.0 para Windows (Statsoft, 2014). Los datos se compararon mediante una distribución teórica de probabilidades de *t-student*, para niveles de significancia del 5 y 1 % (Gosset, 1917).

3. Resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis estadísticos se detectaron diferencias altamente significativas por la prueba de *t-Student* entre los contenidos de carbohidratos ($p=0.00214$) y de proteínas totales ($p=0.00317$) obtenidas en las muestras radiculares de los sitios de muestreo (Figura 1).

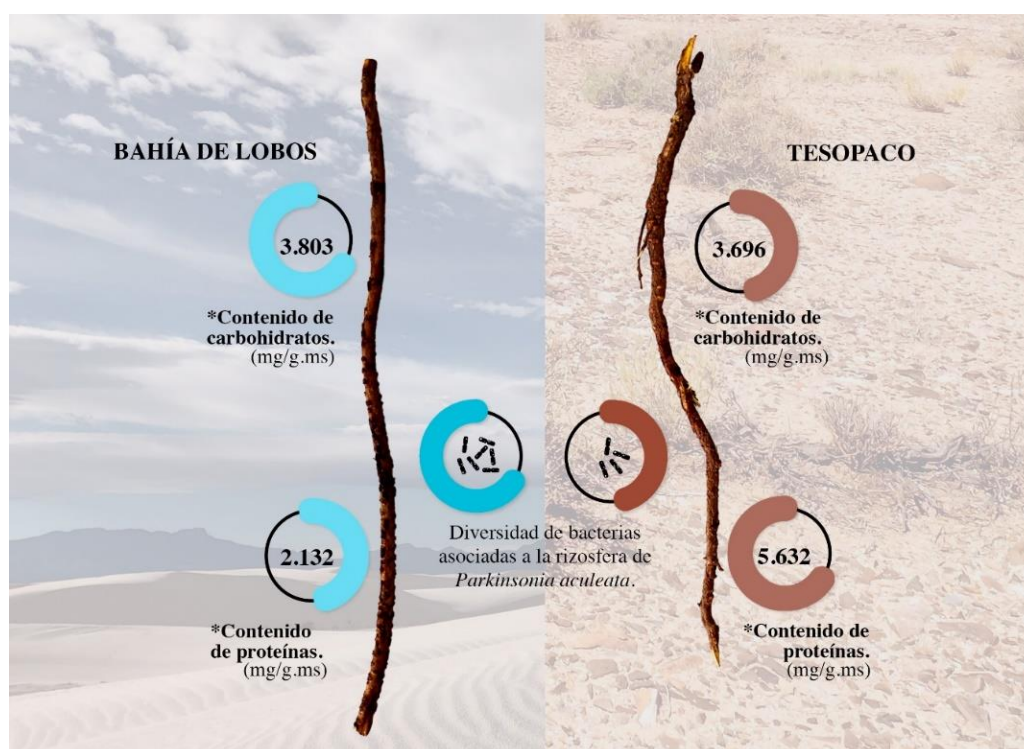


Figura 1. Variación en el contenido de carbohidratos y proteínas en la raíz de *P. aculeata*, bajo condiciones abióticas estresantes y su efecto sobre la diversidad de bacterias asociadas a la rizosfera.

El mayor contenido de carbohidratos totales en las raíces de *P. aculeata*, se obtuvo para las raíces extraídas del sitio de muestreo 1 (BL), en donde predomina la condición de salinidad de suelo, con valores de $3.803 \text{ mg g}^{-1} \text{ ms}$ en comparación con valores de $3.696 \text{ mg g}^{-1} \text{ ms}$ para el sitio 2 (TS), en donde hay predominancia de sequías. Con respecto al contenido de proteínas los resultados fueron opuestos, presentándose valores de $5.632 \text{ mg g}^{-1} \text{ ms}$ para el sitio 2 (TS) vs $2.132 \text{ mg g}^{-1} \text{ ms}$ en el sitio 1 (BL), siendo la sequía la condición abiótica con mayor impacto en el contenido de proteínas en la raíz de *P. aculeata*.

4. Discusión

La variación en el contenido de carbohidratos totales puede atribuirse a que la salinidad presente en el sitio 1, implica un re-ajuste tanto morfológico como fisiológico para contrarrestar su efecto adverso. Yi et al. (2007) reportaron que, en especies halófitas, se presenta un aumento en el consumo de nutrientes para incrementar la tasa de respiración de las plantas y así resistir el estrés

salino (actividad radicular); lo cual conlleva a una reducción en los nutrientes disponibles para el crecimiento, inhibiendo especialmente el desarrollo del sistema radicular. Es decir, el incremento en la actividad radicular de las halófitas implica un beneficio ya que se presenta una respuesta activa para tolerar la salinidad y también un costo, ya que reduce la tasa de crecimiento para mejorar la capacidad de resistencia a la salinidad. Mientras que, la disminución en el contenido de carbohidratos totales para el Sitio 2 TS, sitio impactado por sequías, coinciden con los resultados presentados por Li et al. (2020), quienes reportaron una disminución en la concentración de azúcares solubles y almidón en las raíces de las tres especies de árboles, las cuales disminuyeron gradualmente con el aumento de la intensidad de la sequía.

Gosh y Xu (2014) y Goche et al. (2020) hacen una revisión en donde se identifican y clasifican, los cambios que se presentan en la raíz de distintas plantas (calabaza, soya, sandía, maíz, entre otros) producto de diferentes condiciones estresantes; resaltando cambios en la abundancia de proteínas relacionadas con el metabolismo del Carbono/Nitrógeno, así como proteínas que favorecen la síntesis de osmolitos (Glicina-Betaina y Prolina) y proteínas transmembranales (aquaporinas), proteínas de protección de daño celular y de respuesta frente al estrés. Por otro lado, bajo condiciones de salinidad la disminución en la concentración de proteínas puede asociarse al reajuste metabólico que experimenta la planta, reorientando sus recursos hacia la protección contra la toxicidad por acumulación excesiva de iones de Sodio (Na^+) y Cloro (Cl^-) y estrés oxidativo causado por la salinidad. Este último favorece el aumento de la actividad de las proteasas, enzimas encargadas de degradar a las proteínas dañadas por la salinidad (Goche et al., 2020).

Adicionalmente, se ha reportado que el estrés abiótico tiene un gran impacto en el desarrollo y funcionalidad de las raíces, lo cual se ve reflejado en la alteración de su arquitectura (Karlova et al., 2021), la absorción de agua y nutrientes, así como las interacciones de las raíces con los microorganismos de la rizósfera (Koevoets et al., 2016; Li et al., 2020; Choi et al., 2021). Este último punto, coincide con los resultados presentados por Peñuelas-Rubio et al. (2024), quienes reportaron para el sitio 1 BL, una mayor diversidad y frecuencia de especies de bacterias cultivables, nueve especies, 20 aislamientos vs seis especies y 13 aislamientos obtenidos para el sitio 2 TS. Estas diferencias en la frecuencia y diversidad de especie bacterianas, pudieran ser el resultado de la diferencia en el contenido de carbohidratos presentes en la raíz de *P. aculeata* bajo diferentes condiciones abióticas estresantes (Figura 1).

En la presente investigación, se observó que las raíces de *P. aculeata* muestran variaciones significativas en el contenido de carbohidratos y proteínas totales bajo diferentes condiciones abióticas estresantes. Específicamente, las raíces expuestas a salinidad (sitio 1) presentaron un mayor contenido de carbohidratos en comparación con las raíces expuestas a sequía (sitio 2), mientras que el contenido de proteínas es mayor para condiciones de sequía. El resultado aquí obtenido sugiere que tanto la salinidad como la sequía puede inducir un reajuste fisiológico en las plantas para contrarrestar sus efectos adversos y para mantener funciones vitales bajo estrés. Por lo tanto, la determinación del contenido de carbohidratos y proteínas en las raíces podría ser utilizado como un indicador clave de la respuesta adaptativa de *P. aculeata* frente al estrés abiótico, ofreciendo perspectivas valiosas para la ecología y la biología de la conservación en ecosistemas vulnerables al cambio climático, como son las zonas áridas.

5. Referencias

Anten N.P., Chen B.J. (2021). Detect thy family: mechanisms, ecology and agricultural aspects of kin recognition in plants. *Plant Cell Environment*, 44(4): 1059–1071. DOI: 10.1111/pce.14011

Ahmad, D., Ying, Y., & Bao, J. (2024). Understanding starch biosynthesis in potatoes for metabolic engineering to improve starch quality: A detailed review. *Carbohydrate Polymers*, 122592. DOI: 10.1016/j.carbpol.2024.122592

AOAC (1997). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: edited Ig W. Horwitz 16^a ed. Washington, v.2, 850p.

Chen, S., & Gong, B. (2021). Response and adaptation of agriculture to climate change: Evidence from China. *Journal of Development Economics*, 148, 102557. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2020.102557

Choi, K., Khan, R., & Lee, S. W. (2021). Dissection of plant microbiota and plant-microbiome interactions. *Journal of Microbiology*, 59(3), 281-291. DOI: 10.1007/s12275-021-0619-5

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México

Gosset E. (1917). Another differences calculus based on standard deviation and confidence interval. *Statistical References* 26:66-72

Ghosh, D., & Xu, J. (2014). Abiotic stress responses in plant roots: a proteomics perspective. *Frontiers in plant science*, 5, 6. DOI: 10.3389/fpls.2014.00006

Goche, T., Shargie, N. G., Cummins, I., Brown, A. P., Chivasa, S., & Ngara, R. (2020). Comparative physiological and root proteome analyses of two sorghum varieties responding to water limitation. *Scientific Reports*, 10(1), 11835. DOI: 10.1038/s41598-020-68735-3

Herrera-Sepúlveda, A., Argente-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., & Azizoglu, U. (2024). First report of *Sinomonas halotolerans* from *Parkinsonia aculeata* rhizosphere. *Biologia*, 79(2), 621-627. DOI: 10.1007/s11756-023-01581-6

IPCC (2007). Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) Contribution of Working Group II. Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p 976.

Jan, N., Qazi, H. A., Raja, V., & John, R. (2019). Proteomics: A tool to decipher cold tolerance. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31, 183-213. DOI: 10.1007/s40626-019-00140-2

Ji, L., Attaullah, K., Wang, J., Yu, D., Yang, Y., Yang, L., & Lu, Z. (2020). Root traits determine variation in nonstructural carbohydrates (NSCs) under different drought intensities and soil substrates in three temperate tree species. *Forests*, 11(4), 415. DOI: 10.3390/f11040415

Karlova, R., Boer, D., Hayes, S., & Testerink, C. (2021). Root plasticity under abiotic stress. *Plant Physiology*, 187(3), 1057-1070. DOI: 10.1093/plphys/kiab392

Khan, M. A., Gemenet, D. C., & Villordon, A. (2016). Root system architecture and abiotic stress tolerance: current knowledge in root and tuber crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1584. DOI: 10.3389/fpls.2016.01584

Koevoets, I.T., Venema, J.H., Elzenga J.T.M., Testerink, C. (2016). Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1335–1335. DOI: 10.3389/fpls.2016.01335

Kul, R., Ekinci, M., Turan, M., Ors, S., & Yildirim, E. (2020). How abiotic stress conditions affects plant roots. In *Plant roots*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.95286

Li, Q., Zhao, M., Wang, N., Liu, S., Wang, J., Zhang, W., ... & Du, N. (2020). Water use strategies and drought intensity define the relative contributions of hydraulic failure and carbohydrate depletion during seedling mortality. *Plant Physiology and Biochemistry*, 153, 106-118. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.05.023

Mei Li, M. L., Wang Zheng Quan, W. Z., Cheng Yun Huan, C. Y., & Guo DaLi, G. D. (2004). A review: factors influencing fine root longevity in forest ecosystems. *Acta Phytocologia casinica*, 28(4), 704r710. DOI: 10.17521/cjpe.2004.0094

Peñuelas-Rubio, O., Argente-Martínez, L., Herrera-Sepúlveda, A., Maldonado-Mendoza, I. E., González-Aguilera, J., & Azizoglu, U. (2024). Rhizobacteria associated with *Parkinsonia aculeata* L. under semi desertic drought and saline conditions. *Biologia*, 79(8), 2591-2603. DOI: 10.1007/s11756-024-01731-4

Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, Lv Y, Xu J (2019) Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. *Plants* 8, 34. DOI: 10.3390/plants8020034

Rodwell, V. W., Bender, D., & Botham, K. M. (2018). *Harper's illustrated biochemistry*. McGraw-Hill.

Surabhi, G. K. (2018). Update in root proteomics with special reference to abiotic stresses: achievements and challenges. *Journal of Protein Proteomics*, 9(1), 31-35.

StatSoft, Inc. (2014). STATISTICA (data analysis software system), version 12. Available online: www.statsoft.com

Tariq, A., Graciano, C., Sardans, J., Zeng, F., Hughes, A. C., Ahmed, Z., & Peñuelas, J. (2024). Plant root mechanisms and their effects on carbon and nutrient accumulation in desert ecosystems under changes in land use and climate. *New Phytologist*, 242(3), 916-934. DOI: 10.1111/nph.19676

Yi, L., Ma, J., & Li, Y. (2007). Impact of salt stress on the features and activities of root system for three desert halophyte species in their seedling stage. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50(Suppl 1), 97-106. DOI: 10.1007/s11430-007-5012-7

6. Informaciones adicionales

6.1 Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Yaqui por el apoyo para desarrollar esta contribución. Al CONAHCYT por el otorgamiento de la beca posdoctoral otorgada (CVU 206322) y a Fareros Estrategas por la elaboración y edición de imágenes.

6.2 Financiación

No hubo financiamiento para la realización de la investigación.

6.3 Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés entre la investigación presentada y la vida profesional de los autores.