

## Indicadores Fisiológicos de Tolerancia a la Salinidad en dos Especies del Género *Parkinsonia* en el Sur de Sonora, México

## Indicadores Fisiológicos de Tolerância à Salinidade em Duas Espécies do Gênero *Parkinsonia* no Sul de Sonora, México

Leandris Argente-Martínez<sup>a</sup>; Ofelda Peñuelas-Rubio<sup>\*a</sup>; Jony R. Torres<sup>a</sup>; Joe Luis Arias Moscoso<sup>a</sup>; Jorge González Aguilera<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. México.

<sup>b</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. MT, Brasil.

\*E-mail: ofeperub@gmail.com

### Resumen

Se evaluó la tolerancia a la salinidad a partir de variables del desarrollo y del régimen hídrico en dos especies del género *Parkinsonia* (*P. aculeata* y *P. praecox*) existentes en un ecosistema semiárido salino del Sur de Sonora, México. Inicialmente se determinaron algunas características físico-químicas del suelo para conocer la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación, tomando dos profundidades para el estudio (0-30 cm y 31-60 cm). Se determinó el potencial hídrico foliar a diferentes horas del día: 3:00 h, 6:00 h, 10:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h; 21:00 h, 23:00 h, y se repitió a intervalos trimestrales (1 año) para determinar la cantidad de horas en que las especies permanecen estresadas, y la intensidad del estrés. También se determinaron variables dasométricas: altura y diámetro del fuste y de la copa, así como el índice de copa viva. Se observó variabilidad en la respuesta a la salinidad entre ambas especies. En particular la especie *P. aculeata* presentó más altos promedios en las variables dasométricas evaluadas. Es importante destacar que una mayor copa contribuye a una mayor incorporación de hojarasca, incrementando el contenido de materia orgánica en el suelo. La CE del suelo (6.2 dS m<sup>-1</sup>) permitió clasificarlo como fuertemente salino y esto resultó en disminuciones significativas en el potencial hídrico, generando un estrés superior las 8 h, con una intensidad del 24%. La superioridad de respuesta a la salinidad de *P. aculeata* sugiere que puede ser una opción práctica para su establecimiento como una alternativa factible en la reforestación y recuperación de suelos salinos.

**Palabras-clave.** *P. aculeata*, *P. Praecox*. Régimen Hídrico. Indicadores Dasométricos.

### Resumo

A tolerância à salinidade com base no regime hídrico e variáveis de desenvolvimento foi avaliada em duas espécies do gênero *Parkinsonia* (*P. aculeata* e *P. praecox*) existentes em um ecossistema salino semiárido ao sul de Sonora, México. Inicialmente foram determinadas algumas características físico-químicas do solo para conhecer a condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação, amostrando duas profundidades para o estudo (0-30 cm e 31-60 cm). O potencial hídrico foliar foi determinado em diferentes horários do dia: 3h, 6h, 10h, 12h, 15h, 18h, 21h, 23:00 h, e repetido em intervalos trimestrais (1 ano) para determinar o número de horas que a espécie permanece estressada e a intensidade do estresse. Foram determinadas variáveis dasométricas: altura e diâmetro do caule e da copa e índice de copa viva. Houve uma variabilidade na resposta à salinidade entre ambas as espécies. A espécie *P. aculeata* apresentou maiores médias nas variáveis dasométricas avaliadas, destacando que uma copa maior contribui para uma maior incorporação de serapilheira, aumentando o teor de matéria orgânica no solo. O valor de CE (6,2 dS m<sup>-1</sup>) permitiu classificar o solo como fortemente salino e causou diminuições significativas no potencial hídrico, gerando um estresse superior a 8 h, e uma intensidade de estresse de 24%. A superioridade da resposta à salinidade de *P. aculeata* sugere que esta pode ser uma opção prática para o seu estabelecimento como alternativa viável para reflorestamento e recuperação de solos salinos

**Palavras-chave:** *P. aculeata*, *P. praecox*. Regime Hídrico. Indicadores Dasométricos.

### 1 Introducción

La salinidad de los suelos en ecosistemas naturales puede afectar el desarrollo de las plantas debido al bajo potencial hídrico presente, lo que reduce la capacidad de absorción de agua por las raíces. Además, la salinidad puede inducir efectos específicos de los iones, desequilibrio nutricional y toxicidad de iones que afectan el metabolismo normal de las plantas (Shahbaz *et al.*, 2013).

En respuesta a las condiciones de salinidad del suelo, algunas especies activan mecanismos como la inclusión y acumulación de iones en sus órganos (Ordoñez *et al.*, 2018) así como la acumulación de compuestos osmóticamente activos con el fin de reducir su potencial osmótico y consecuentemente

el potencial hídrico y así garantizar el agua necesaria para la realización de otros procesos importantes como la fotosíntesis, que garantiza la ganancia de materia seca y el balance carbonado en los ecosistemas (De Sedas *et al.*, 2020). Por lo tanto, un estudio detallado de variables que puedan servir como indicadores precisos de la tolerancia a condiciones de estrés en las especies que habitan los ecosistemas salinos tiene trascendencia biológica importante para futuros programas de mejoramiento genético y de reforestación.

En el noroeste de México, especialmente en las zonas costeras cercanas al Mar de Cortés, se combinan diversos factores abióticos que limitan la productividad de las especies que habitan allí. Estos factores como la sequía (Devora-Isiordia

et al., 2018), y las variaciones térmicas (Argentel-Martínez et al., 2019), propician el incremento de la concentración de sales en el complejo absorbente del suelo, que a mediano plazo afectan el desempeño fisiológico y la diversidad de especies que generalmente contribuyen a la incorporación de materia orgánica en el suelo (Ash et al., 2017).

En la región semidesértica del sur de Sonora, caracterizada por ecosistemas frágiles y degradados, las especies que pertenecen al género *Parkinsonia* presentan altos porcentajes de dominancia, demostrando su capacidad de tolerar las condiciones de estrés existentes en la región. Teniendo en cuenta este parámetro, se desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar la tolerancia a la salinidad en dos especies del género *Parkinsonia* a través de las variaciones del potencial hídrico, como variable más importante del régimen hídrico de las plantas, así como en otras variables con el desarrollo y la intensidad del estrés generado por la salinidad.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Ubicación del área experimental

El experimento se desarrolló en el Bloque 937 (27 ° 21'22 "N, 110 ° 24'06" W) ubicado en el municipio de San Ignacio Río Muerto, Sonora, México. La superficie de muestreo abarcó 8 hectáreas, y se seleccionaron tres rodales experimentales de 10\*10 metros cada uno como sitios de estudio. Durante 2019 la humedad relativa osciló entre 65 % y 84 %, debido a la cercanía a la costa del Mar de Cortés (datos no graficados). Las precipitaciones significativas solo se registraron durante los meses de agosto a diciembre, siendo las mayores acumuladas en agosto y septiembre, con un total de aproximadamente 140 mm. La temperatura en esta zona se mantuvo en un rango de 18-30 °C, lo que indica que no se presentaron condiciones de estrés térmico para las especies que habitan en la región.

### 2.2 Especies evaluadas

Se eligieron las especies *Parkinsonia aculeata* (palo verde) y *Parkinsonia praecox* "palo brea" debido a que son las más abundantes y dominantes en la región. Estas especies tienen como particularidad que su centro de origen es el noroeste de México y su hábitat principal se sitúa en la región semidesértica. Además están clasificadas como especies tolerantes a la sequía (Rzedowski et al., 2005).

### 2.3 Variables evaluadas

#### 2.3.1 Análisis de suelo

Se analizaron las propiedades del suelo mediante tres muestras tomadas al azar en cada rodal a dos profundidades (0-30 cm y 31-60 cm). Estos estudios se realizaron en el Laboratorio de Suelos Tepeyac, en Ciudad Obregón, Sonora, México.

#### 2.3.2 Variables fisiológicas

Potencial hídrico. Se realizaron mediciones del potencial

hídrico foliar, que es el órgano más alejado del suelo en las dos especies de *Parkinsonia* a diferentes horas del día: 3:00 h, 6:00 h, 10:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h, 21:00 h y 23:00 h, con el objetivo de evaluar el intervalo de tiempo en el que se observaba una mayor variación en el potencial hídrico. Se realizaron tres mediciones en un total de seis plantas por rodal, utilizando una bomba de presión de Schollander (PMS-100; PMS Instrument Company, Albany, OR, EE. UU.) (Schollander et al., 1965). Estas mediciones se repitieron de manera trimestral en las mismas plantas durante un año, con el propósito de evitar el posible efectos debidos a la morfología de la planta y de las variaciones estacionales.

La intensidad del estrés (IS), se determinó según (Fernández, 1993) tomando como potencial hídrico al alba ( $\psi$  alba) el promedio de 23:00 h a 6:00 h, y el potencial hídrico estresado ( $\psi$  estrés) el promedio significativamente menor que el potencial hídrico normal (Ecuación 1). A partir de la diferencia de potenciales al alba y de estrés, también se determinó la cantidad de horas que las plantas permanecieron estresadas.  
 $SI = 1 - (\psi_{\text{estrés}} / \psi_{\text{alba}})$  Ecuación 1

#### 2.3.3 Variables dasométricas

Diámetro del fuste. Para determinar el diámetro normal (DN) a una altura de 1.3 m, se siguió la metodología propuesta por González et al. (2018). Se estableció un diámetro mínimo de 0.15 m para considerarlo parte del arbolario (Burkhart; Tomé, 2012). Se empleó una cinta diametral (TRUPER) de 5 m con un error de medición implícito de 0.0002 mm. Altura del fuste: (AF), en un total de 30 árboles, se realizó hasta la sesión de cruce o altura del primer verticilo vivo, empleando una cinta de 25 m, (TRUPER) con un error de medición de 0.0001 m. Se tomaron tres clases de altura: porte bajo (2.5- 5.0 m), medio (5.1- 8.0 m.) y alto (altura mayor de 8.1 m) (González et al., 2018).

#### 2.3.4 Mediciones de la copa

Altura de la copa (HC). Con la cinta antes mencionada, en un total de 30 árboles, tomando la altura como la diferencia entre la lectura obtenida en la parte terminal del árbol y la altura del primer verticilo vivo, siguiendo la metodología propuesta por (López; Nieto de Pascual, 2019).

Diámetro de la copa (DC). Se obtuvo mediante la semisuma de dos medidas del diámetro de manera perpendicular. Con los datos obtenidos a partir de estas mediciones se determinó el índice de copa viva (ICV) mediante el cociente de la altura de la copa y la altura total del árbol. El tamaño de la muestra para esta variable fue 30 árboles.

#### 2.3.5 Incorporación de hojarasca al suelo

Para evaluar la incorporación de hojarasca al suelo se establecieron cajas de recolección con dimensiones 0.5\*0.6 m, ubicadas debajo de las copas de los 30 árboles medidos, a razón de tres por rodal. La cosecha de la cantidad de hojarasca (CH) se realizó mensualmente (González-Rodríguez et al., 2019).

## 2.4 Análisis estadísticos

Después de verificar que los datos de las variables evaluadas cumplieron con el supuesto teórico de normalidad (Kolmogorov, 1933), se compararon las medias utilizando una prueba de hipótesis diseñada para variables cuantitativas continuas. Se aplicó la distribución teórica de t-Student con un nivel de significancia del 1% (Gosset, 1917). Para estos análisis de datos se utilizó el paquete estadístico profesional STATISTICA, versión 12.0 para WINDOWS.

## 3 Resultados y Discusión

### 3.1 Características físico-químicas del suelo

Se observó que en la profundidad de 0-30 cm, el suelo presentaba un mayor porcentaje de arena y limo, mientras que en la profundidad de 31-60 cm, se registró un mayor porcentaje de arcilla. Estos resultados permitieron clasificar al suelo como franco arenoso ya que los porcentajes más altos en ambas profundidades corresponden a arena y limo, con

diferencias significativas entre las profundidades (Tabla 1). Esta nomenclatura se correlaciona con la clasificación genética de los suelos “Soil Taxonomy” (Bockheim *et al.*, 2014). Este tipo de suelos tiene la dificultad que la alta velocidad de infiltración que propicia un incremento en el porcentaje de desecación, cuando se encuentra sin cobertura vegetal, propiciando la concentración de sales en el complejo absorbente. Se obtuvo bajo porcentaje de materia orgánica y de saturación por base, lo que indica la tendencia del suelo a la acidificación en las dos profundidades evaluadas. Este resultado es avalado por el bajo porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  obtenido, que entre las profundidades no presentó diferencias estadísticas. La CE en la profundidad de 0-30 cm fue mayor que en la de 31-60 cm, existiendo diferencias altamente significativas entre ellas (valor  $t = 14.8913$ ;  $p = 0.0001$ ). La mayor variabilidad se encontró en la profundidad de 0-30 cm (Tabla 1). Según Ivushkin *et al.* (2019) este suelo está clasificado como fuertemente salino y no es adecuado para el cultivos de especies agrícolas y bosques.

**Tabla 1** - Características del suelo a profundidades de 0-30 cm y 31-60 cm. [Porcentajes de arena, limo y arcilla. pH: índice de acidez o basicidad; MO: porcentaje de materia orgánica,  $\text{CaCO}_3$ : porcentaje de carbonato de calcio; CE: conductividad eléctrica del extracto de saturación]

| Profundidad (cm) | Análisis Físico (%) |        |         | pH   | MO (%) | Saturación (%) | $\text{CaCO}_3$ (%) | CE $\text{dS m}^{-1}$ |
|------------------|---------------------|--------|---------|------|--------|----------------|---------------------|-----------------------|
|                  | arena               | limo   | arcilla |      |        |                |                     |                       |
| 0-30             | 49.44*              | 36.69* | 13.87** | 7.87 | 0.07*  | 42**           | 2                   | 8.09**                |
| 31-60            | 47.27               | 35.62  | 17.11   | 7.89 | 0.04   | 37             | 1.9                 | 3.05                  |

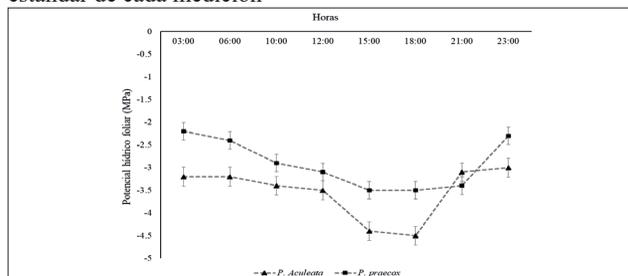
\* y \*\* representan diferencias significativas por t-Student para  $p < 0.005$  y  $p < 0.001$  respectivamente.

Fuente: datos de la investigación.

### 3.2 Potencial hídrico

Existen diferencias significativas entre los potenciales a diferentes horas del día, existiendo una reducción de este indicador en la medida que se aproximaba al medio día (Figura 1), donde la mayor radiación solar genera el cierre parcial de los estomas (punto de marchitez temporal) para evitar pérdidas excesivas de agua por transpiración (Knipfer *et al.*, 2020). *P. aculeata* presentó un potencial hídrico más bajo que *P. praecox* y con eso una mejor capacidad adaptativa. Resultados similares a los aquí mostrados fueron obtenidos por González *et al.* (2021) en la especie *P. aculeata* en un suelo fuertemente salino en el noroeste del estado de Sonora, México. Siendo una de las especies de menor intensidad del estrés de las cuatro que fueron evaluadas.

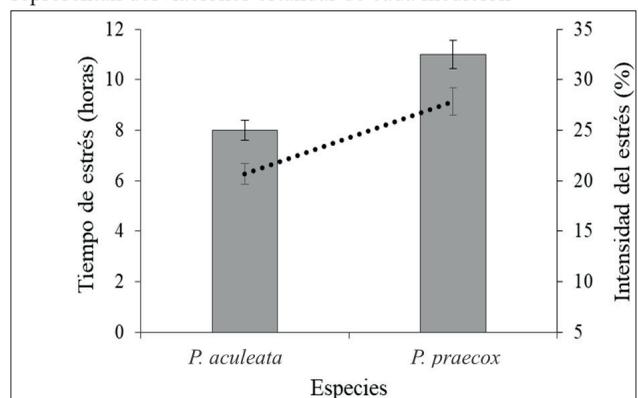
**Figura 1** - Potencial hídrico diurno de las especies *P. aculeata* y *P. praecox*. Barras rectangulares representan desviaciones estándar de cada medición



Fuente: datos de la investigación.

La reducción del potencial hídrico indica la capacidad de las especies para realizar el ajuste osmótico (Munns *et al.*, 2020). De acuerdo con Ruiz-Sánchez *et al.* (2017) ambas especies evaluadas toleran la salinidad debido a su potencial hídrico ser menor de -2 MPa. A partir de los potenciales hídricos más alto y más bajo se observó que las plantas permanecen estresadas por al menos 8 h, existiendo diferencias altamente significativas entre las especies. *P. aculeata* presentó la menor cantidad de horas de estrés y este tiempo de estrés generó intensidades de 21% y 28% en las especies *P. aculeata* y *P. praecox*, respectivamente (Figura 2).

**Figura 2** - Tiempo de estrés (barras) e intensidad del estrés (línea) de las especies *P. aculeata* y *P. praecox*. Barras rectangulares representan desviaciones estándar de cada medición



Fuente: datos de la investigación.

La intensidad del estrés refleja la agresividad de una condición adversa en el cuerpo vegetal, dependiendo del grado de tolerancia de la especie. Intensidades de estrés superiores al 26% pueden causar efectos irreversibles en las reacciones bioquímicas de las plantas y por consiguiente, afectar el desempeño fisiológico y productivo general (Steudel *et al.*, 2012).

### 3.3 Indicadores dasométricos

En el suelo salino estudiado, la especie *P. aculeata* presentó

los mayores valores en las características dasométricas evaluadas (Tabla 2). Además, esta especie presentó un ICV más elevado, lo que denota mayor área foliar que una vez caducada, puede contribuir a incrementar el contenido de materia orgánica del suelo (Token *et al.*, 2022). Además, el ICV, proporciona información colateral sobre la capacidad de la copa para interceptar la luz solar y su capacidad para la fijación del CO<sub>2</sub> (Martínez *et al.*, 2020).

**Tabla 2** - Indicadores dasométricos de las especies existentes y cantidad de hojarasca [DN: diámetro normal; AF: altura del fuste; AC: altura de la copa; DC: diámetro de la copa; ICV: índice de copa viva; P: porte de las plantas; CH: cantidad de hojarasca]

| Especie            | Indicadores dasométricos (m) |              |             |             |       |       | CH<br>(g m <sup>-2</sup> mes <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------|-------|--|
|                    | DN                           | AF           | AC          | DC          | ICV   | P     |  |
| <i>P. aculeata</i> | 0.31 ± 0.02                  | 3.6 ± 0.25   | 2.2 ± 0.2   | 2.2 ± 0.4   | 0.39* | medio | 116  |
| <i>P. praecox</i>  | 0.21 ± 0.01**                | 2.4 ± 0.11** | 1.4 ± 0.3** | 3.4 ± 0.1** | 0.36  | bajo  | 73.1   |

\* y \*\* representan diferencias significativas por t-Student para p<0.005 y p<0.001 respectivamente.

Fuente: datos de la investigación.

La obtención de mayores valores en la altura total de las plantas (dato no mostrado literalmente, AF+AC) es un indicador preciso de tolerancia a la salinidad (Kumar; Sharma, 2020). El efecto más visible de la salinidad en las especies vegetales es la reducción del desarrollo (menor altura) y disminución del área foliar (De Sedas *et al.*, 2020). Por lo tanto, las especies que logren mejores indicadores morfológicos en estas condiciones pueden ser catalogadas como tolerantes a esta condición de estrés.

La producción de hojarasca fue significativamente superior en la especie *P. aculeata*, superando en un 37% la producida por *P. praecox*. La importancia de esta variable radica en el posible incremento del contenido de materia orgánica en el suelo, contribuyendo al mantenimiento de humedad en el suelo y a disminuir el efecto adverso de la salinidad (Esteban *et al.*, 2017; Hasini *et al.*, 2020).

### 4 Conclusion

Las dos especies del género *Parkinsonia* presentaron potenciales hídricos muy bajos como respuesta a la alta CE del suelo. Esta CE causó un estrés superior a las 8 horas, y una IE del 24% como promedio entre las especies.

*P. aculeata* presentó mayor tolerancia a la salinidad existente en la región del sur de Sonora, con base en los indicadores dasométricos evaluados, destacando mayor altura del fuste y de la copa. Además, esta especie, aportó mayor cantidad de hojarasca al suelo, lo que contribuirá a elevar el contenido de materia orgánica.

El estudio realizado demostró la viabilidad del establecimiento de *P. aculeata* como una especie tolerante a la salinidad y una alternativa viable para la reforestación en los ecosistemas salinos del semi desierto de Sonora.

### Referencias

ARGENTEL-MARTÍNEZ, L. *et al.* Water regime and osmotic

adjustment under warming conditions on wheat in the Yaqui Valley, Mexico. *Peer J.*, v.7, p.e7029, 2019. doi: 10.7717/peerj.7029

ASH, J.D.; GIVNISH, T.J.; WALLER, D.M. Tracking lags in historical plant species' shifts in relation to regional climate change. *Global Change Biol.*, v.23, p.1305-1315, 2017. doi: 10.1111/gcb.13429

BOCKHEIM, J.G. *et al.* Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma*, v.226, p.231-237, 2014.

BURKHART, H.; TOME, M. Modeling Forest Trees and Stands. Springer Netherlands, 2012. doi: 10.1007/978-90-481-3170-9

DE SEDAS, A. *et al.* Salinity responses of inland and coastal neotropical trees species. *Plant Ecol.*, v.221, p.695-708, 2020.

DEVORA-ISIORDIA, G.; VALDEZ-TORRES, L.; GRANILLO-MORENO, K. Evaluation of the effect of the salinity of irrigation water on the yield of castor plant hybrids (*Ricinus communis* L.) in Mexico. *Int. J. Hydrol.*, v.2, n.5, p.613-616, 2018. doi: 10.15406/ijh.2018.02.00133

ESTEBAN, W *et al.* Efecto de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica y química de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en condiciones de salinidad y exceso de boro. *Idesia (Arica)*, v.35, n.2, p.33-39, 2017.

FERNANDEZ, G.C.J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: KUO, C.G. (Ed.), Adaptation of food crops to temperature and water stress, AVRDC, Shanhua, Taiwan, 1993. p. 257-270.

GONZÁLEZ, J.A. *et al.* Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. *Recursos Rurais*, v.1, n.1, p.21-30, 2018.

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H. *et al.* Depósito de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques de pino-encino y matorrales en el noreste de México. *Madera y Bosques*, v.25, n.3, p.1-16., 2019. doi:10.21829/myb.2019.2531514

GONZÁLES *et al.* Salinity effects on water potential and the normalized difference vegetation index in four species of a saline semi-arid ecosystem. *PeerJ*, e12297, 2021. doi: 10.7717/peerj.12297

GOSSET, E. Another differences calculus based on standard

- deviation and confidence interval. *Statistical References*, v.26, p.66-72, 1917.
- HASINI, S. E. et al. The influence of compost humic acid quality and its ability to alleviate soil salinity stress. *Int. J. Recycling Org. Waste Agricul.*, v.9, n.1, p.21-31, 2020. doi: 10.30486/UROWA.2020.671213
- IVUSHKIN, K. et al. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, v.231, p.111260, 2019. doi: 10.1016/j.rse.2019.111260
- KNIPFER, T. et al. Predicting stomatal closure and turgor loss in woody plants using predawn and midday water potential. *Plant Physiol.*, v.184, n.2, p.881-894, 2020.
- KOLMOGOROV, A.T. Basics concepts of probability theory. Berlin: Julius Springer. 1933.
- KUMAR, P.; SHARMA, P.K. Soil salinity and food security in India. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020. doi: 10.3389/fsufs.2020.533781
- LÓPEZ, G.G.; NIETO DE PASCUAL, P.M. Características estructurales de un bosque de pino en Tlalnepantla, Morelos. *Rev. Mex. Cienc. Forestales*, v.10, n.51, p.23-52, 2019. doi: 10.29298/rmcf.v10i51.187
- MARTÍNEZ, L.J.E. et al. Ecuaciones alométricas para estimar carbono en brinzales de *Pinus hartwegii* Lindl. *Rev. Mex. Cienc. Forestales*, v.11, n.60, p.144-160, 2020.
- MUNNS, R. et al. Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. *New Phytol.*, v.225, n.3, p.1091-1096, 2020.
- ORDOÑEZ, C. et al. The influence of abiotic factors on street tree condition and mortality in a commercial-retail streetscape. *Arboricul. Urban Forestry*, v.44, n.3, p.133-144, 2018.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M. et al. Respuesta de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) a la suspensión de la lámina de agua en tres momentos de su desarrollo. Parte I. *Cultivos Trop.*, v.38, n.2, p.61-69, 2017.
- RZEDOWSKI, J.R.; MEDINA, L.; CALDERON DE RZEDOWSKI, G. Inventario del conocimiento taxonómico de la diversidad y del endemismo regional de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Bot. Mex.*, v.70, p.85-111, 2005.
- SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Improving salinity tolerance in cereals. *Crit. Rev Plant Scie.*, v.32, p.237-249, 2013. doi: 10.1080/07352689.2013.758544
- SCHOLANDER, P.F. et al. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Sci.*, v.148, n.3668, p.339-346, 1965.
- STEUDEL, B. et al. Biodiversity effects on ecosystem functioning change along environmental stress gradients. *Ecol. Lett.*, v.15, n.12, p.1397-1405, 2012.
- TOKEN, S. et al. Effects of plant diversity on primary productivity and community stability along soil water and salinity gradients. *Global Ecol. Conserv.*, v.36, 2022. doi: 10.1016/j.gecco.2022.e02095