

Artigos


Dinámica del desarrollo foliar de *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. ante altas temperaturas, la sequía y la salinidad del semidesierto de Sonora

Leaf development dynamics of *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. under high temperature, drought and salinity conditions in Sonoran semi-desert

Leandris ArgenteL-Martínez^I 

Ofelda Peñuelas-Rubio^I 

Jorge González Aguilera^{III} 

Jaime Garatuzá-Payán^{II} 

^ITecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Bâcum, Sonora, México

^{II}Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México

^{III}Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Cassilândia, MS, Brasil

RESUMEN

El semidesierto de Sonora con sus condiciones estresantes de altas temperaturas, salinidad y sequía afectan el desempeño fisiológico y la productividad de las plantas. En esta región se realizó un estudio con el objetivo de evaluar la dinámica del desarrollo de las hojas, el NDVI (*Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*), el tiempo de senescencia de las hojas y la productividad primaria de *Parkinsonia aculeata* L. Sp. Pl. en tres sitios donde prevalecen condiciones de altas temperaturas, salinidad y sequía. Se encontró que las altas temperaturas no afectan la dinámica del desarrollo ni la longitud de las hojas, sin embargo, la sequía reduce sí, reduciendo su ritmo de desarrollo a 0.2 cm día⁻¹. La condición de sequía fue la que más afectó el NDVI se afecta *más por* la condición de sequía, con valores inferiores al 0.79. La salinidad causó la senescencia de las hojas a los 67 días. *Parkinsonia aculeata* L. Sp. Pl. presentó mayor productividad primaria en la condición de calor, generando 116 g m⁻² mes⁻¹.

Palabras clave: Longitud de la hoja; Estrés abiótico; Hojarasca; Palo verde



ABSTRACT

The Sonoran semi-desert with its stressful conditions of high temperature, salinity and drought affect the plant physiological performance and productivity. In this region, a study was carried out with the aim of evaluating the dynamics of leaf development, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), leaf senescence time and primary productivity of *Parkinsonia aculeata* L. Sp. Pl. in three sites there where high temperatures conditions prevail. It was found that heat does not affect the development dynamics nor leaves length, however, drought does, reducing their development rate to 0.2 cm day⁻¹. The NDVI was more affected by drought condition, with values lower than 0.79. Salinity caused leaves senescence at 67 days. *Parkinsonia aculeata* L. Sp. Pl. presented higher primary productivity under heat condition, generating 116 g m⁻² month⁻¹.

Keywords: Leaf length; Abiotic stress; Litter; Palo verde

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático a nivel internacional ha causado una reducción significativa de la diversidad de especies de múltiples regiones y ha provocado la incidencia de otras condiciones de estrés como la sequía y consecuentemente la salinización de los suelos (CORWIN, 2021). Estas condiciones estresantes afectarán la seguridad alimentaria internacional creando vulnerabilidad en regiones de producción donde los escenarios de cambio climático son más críticos (MOLOTOKS; SMITH; DAWSON, 2021). Entre estas regiones se encuentran los semidesiertos y los desiertos que a nivel internacional ocupan el 41.3% de las tierras dedicadas a la agricultura (UN, 2020).

En el noroeste de México, los pronósticos de cambio climático de 2.5°C para los próximos diez años ya fueron superados (LARA-RESÉNDIZ; GALINA-TESSARO; SINERVO; MILES; VALDEZ-VILLAVICENCIO; VALLE-JIMÉNEZ; MÉNDEZ-DE LA CRUZ, 2021) y en la región semidesértica se agudiza la situación debido a la sequía imperante (COOK; MANKIN; WILLIAMS; MARVEL; SMERDON; LIU, 2021). Aun así, algunas especies, entre ellas las cactáceas (NABHAN; DAUGHERTY; HARTUNG, 2022) y las leguminosas prosperan demostrando su capacidad de crecer y reproducirse ante condiciones de estrés como la sequía, la salinidad y el calor.



En Sonora, México, el 47% de las tierras cultivables presentan condiciones de sequía extrema (LEE; NAVARRO-NAVARRO; LEY; HARTFIELD; TOLLESON; SCOTT, 2021; ARENAS, 2021) y de ellas el 60% de esta se encuentra afectada por el calor extremo (FAO, 2014). Para esta región las temperaturas promedio se incrementan en 3.59 °C durante el verano y 3.3 °C en el invierno (DOBLER-MORALES; BOCCO, 2021), constituyendo una región bajo estrés térmico. La salinidad, en Sonora afecta a 13 de los 72 municipios que la conforman (OJEDA-BARRIOS; BENAVIDES-MENDOZA; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ; OROZCO-MELÉNDEZ; SANCHEZ, 2021), algunos de ellos con conductividades eléctricas del extracto de saturación que superan 8.45 dS m⁻¹, siendo catalogadas esas regiones como fuertemente salinizadas (GONZÁLES; PENUELAS-RUBIO; ARGENTEL-MARTINEZ; PONCE; ANDRADE; HASANUZZAMAN; AGUILERA; TEODORO, 2021).

Condiciones edafoclimáticas adversas (altas temperaturas, sequía y salinidad) pueden encontrarse combinadas en 45 municipios del estado de Sonora, en los cuales no todas las especies logran sobrevivir, de ahí el grado de desertificación existente (PEREZ-AGUILAR; PLATA-ROCHA; MONJARDIN-ARMENTA; FRANCO-OCHOA; ZAMBRANO-MEDINA, 2021). Sin embargo, habitan múltiples especies vegetales, aunque con bajos índices de vegetación. Estas especies vegetales forman parte de la flora xerófila que mantiene con vitalidad los ecosistemas (ZACHMANN; WIENS; FRANKLIN; CRAUSBAY; LANDAU; MUNSON, 2021).

Parkinsonia aculeata L., Sp. Pl. (palo verde) es una de las cuatro especies del género *Parkinsonia* existente en el semidesierto de Sonora que está adaptada a las condiciones edafoclimáticas adversas imperantes (GONZÁLES; PENUELAS-RUBIO; ARGENTEL-MARTINEZ; PONCE; ANDRADE; HASANUZZAMAN; AGUILERA; TEODORO, 2021). Aun cuando esta especie tiene una distribución cosmopolita, las condiciones adversas como salinidad, sequía y altas temperaturas afectan la morfología foliar y el ritmo de desarrollo (ZACHMANN; WIENS; FRANKLIN; CRAUSBAY; LANDAU; MUNSON, 2021). La capacidad adaptativa de esta especie hace que se mantenga viva, aportando al balance carbonado y a la productividad primaria de materia orgánica del suelo.



Teniendo en cuenta la capacidad de adaptación de esta especie se realizó una investigación con el objetivo de evaluar la variabilidad de la dinámica del desarrollo de la hoja, el NDVI estacional y la productividad primaria de la especie palo verde ante condiciones de estrés por altas temperaturas, sequía y salinidad en tres sitios experimentales, del semidesierto de Sonora, México.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación de los sitios experimentales y principales variables climáticas

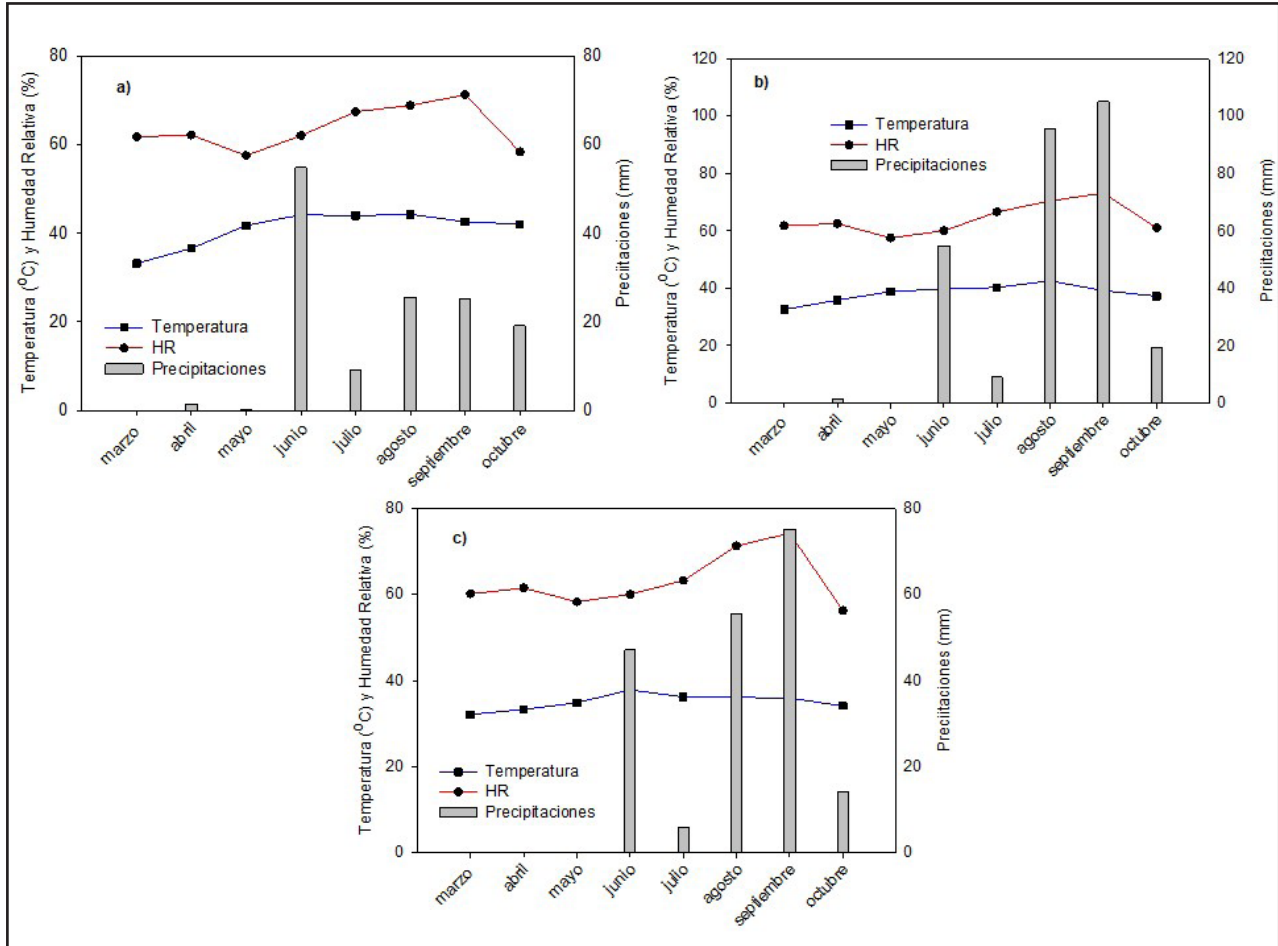
El estudio se desarrolló en tres sitios experimentales: Sitio 1 – altas temperaturas: Las misiones, Cajeme, en un área de 1.6 ha, con temperatura promedio de 47°C durante el verano (27°27'26" N; -109°52'08" W), Sitio 2 - sequia: Municipio del Rosario Tesopaco, en un área de 2 ha, con sequía severa, con un potencial osmótico del suelo de -7.6 Mpa (27°53'12" N; -109°22'46" W), y Sitio 3 - salinidad: Bahía de Lobos, municipio de San Ignacio Rio Muerto, en un área de 1 ha con condiciones de elevada salinidad (conductividad eléctrica CE= 8.6 dS m⁻¹ (27°22'15" N; -110°25'35" W). En los tres sitios experimentales se analizaron las variables climáticas: temperatura promedio, humedad relativa promedio y precipitaciones acumuladas mensual. Partiendo de las variables precipitaciones y temperaturas se determinó el coeficiente hidrotérmico para cada sitio, mediante la fórmula desarrollada por Evarte-Bundere y Evarts-Bunders, (2012), para temperaturas superiores a 10°C – Ecuación (1):

$$\text{CHT} = (\sum P / \sum T) * 10 \quad (1)$$

Donde: $\sum P$ y $\sum T$ representan las sumatorias de las precipitaciones y las temperaturas, respectivamente, en el período evaluado.



Figura 1 – Temperatura promedio, humedad relativa y precipitaciones de los sitios de Las Misiones, Cajeme (a), El Rosario Tesopaco (b) y Bahía de Lobos, San Ignacio Río Muerto (c), Sonora, México



Fuente: Autores (2022)

En qué: Datos disponibles en <https://www.siafeson.com/remas/index.php/Consulta/estadisticas>.

2.2 Variables evaluadas

Longitud final de las hojas (LFH, cm), la medición de esta variable se realizó al seleccionar 30 arbustos de *P. aculeata* L. Sp.Pl. distribuidos en los tres sitios experimentales y en cada planta se seleccionaron 10 ramas donde se observaban las yemas axilares en brotación. En cada una de las 10 ramas se seleccionó una hoja incipiente para el estudio. En cada sitio, todas las hojas se etiquetaron con un indicador de plástico de color blanco, anotando el número de árbol y número de rama. A intervalos de siete días se determinó la longitud de las hojas, con una cinta métrica (TRUPER). Estas mediciones se realizaron hasta obtenerse el mismo valor de longitud en cada hoja.



Dinámica del desarrollo de la hoja (DDH, cm día⁻¹), para esta medición se procedió siguiendo la Ecuación (2):

$$DDH = (LFH) / \#D \quad (2)$$

Donde: LFH representa la longitud final de la hoja; #D representa el número de días hasta la última medición variable de la longitud de la hoja.

Tiempo de senescencia de las hojas (TSH, días) fue determinado al evaluar de modo visual en las hojas marcadas cuando ésta carecía de pigmentos verdes en más del 90% de su longitud.

NDVI conocido como el índice de vegetación de diferencia normalizada ($1 < NDVI > 1$) se midió con un sensor portátil (Green Seeker, marca Trimble™) (GOVAERTS; VERHULST, 2010), en un total de 30 plantas tomadas al azar, en cada sitio. Dicha medición se realizó a intervalos de siete días en los meses de marzo-agosto de 2021. Cada medición fue tomada por triplicado para lograr mayor precisión experimental. El sensor se ubicó a una distancia de 0.60 m del dosel de las plantas.

Productividad primaria [evaluada mediante la producción de hojarasca (PP, g m⁻² mes⁻¹)], para medir esta variable se prepararon cajas recolectoras de hojarasca de 0.50*0.30*0.30 m (largo*ancho por alto). Se ubicaron tres cajas aleatoriamente debajo de cada una de las plantas seleccionadas. Cada 15 días se realizaban las colectas de la hojarasca y rápidamente se pesaron en una balanza semianalítica (SUMILAB), en condición de peso seco al ambiente a las 11.00 h.

2.3 Análisis estadístico de los datos

Para el procesamiento estadístico de los datos se comprobó el cumplimiento de los supuestos teóricos de homogeneidad de varianza y posteriormente se realizaron análisis de varianza de clasificación simple para cada variable respuesta. Estos análisis se realizaron basados en un modelo lineal de efectos fijos (FISCHER, 1937).



Cuando existieron diferencias significativas entre las medias se empleó la prueba de comparación múltiple de MDS (mínima diferencia significativa) para un nivel de significación del 1%. Para estos análisis estadísticos se utilizó el programa STATISTICA, versión 8.1 (STATSOFT, 2008).

Para las mediciones de NDVI se construyó una curva, tomando como eje de ordenada el valor de NDVI y como abscisa los meses en que se midió [siendo el mes de marzo el límite inferior (1) y el límite superior (9) el mes de noviembre]. En cada par ordenado se presentó la desviación típica de la media. Se determinaron las ecuaciones polinómicas de ajuste de los valores de NDVI y el coeficiente de determinación. A partir de estas ecuaciones se determinó el área bajo las curvas, mediante la aplicación de la integral definida de una función polinómica, información que sirvió para inferir el estado fisiológico de las plantas ante la condición a la que estaban sometidas las plantas. Para evaluar el estado fisiológico se propuso la siguiente escala de áreas bajo las curvas: [5-6] sin estrés; [4-5] estrés moderado; y [3-4] estrés severo.

3 RESULTADOS

El análisis de las principales variables climáticas en los tres sitios experimentales demostró la existencia de nula precipitación durante tres meses consecutivos, demostrando la condición de sequía que caracteriza al estado de Sonora, México. Se observó la superioridad de los valores de temperatura en el Sitio 1 (Las Misiones, Cajeme, Sonora, México) respecto a los sitios 2 (Tesopaco, con una diferencia de 2.7°C) y sitio 3 (Bahía de Lobos, con una diferencia de 6°C). La temperatura promedio del Sitio 1 (41.07°C) se considera alta, respecto a la observada en los restantes sitios (Figura 1a). Por ello, se tomó como referencia de sitio de calor, en el año objeto de investigación (2021).

El Sitio 2 (Figura 1b) clasifica como sitio en condición de sequía, sin embargo, en el presente estudio se verificó que fue el de mayor acumulado de lluvias, respecto a los restantes dos sitios, donde existieron precipitaciones superiores a 80 mm, con



un acumulado de 285 mm. El Sitio 3 es un sitio con condición de salinidad conforme a estudios recientes desarrollados por Gonzáles, Penuelas-Rubio, Argentel-Martinez, Ponce, Andrade, Hasanuzzaman, Aguilera y Teodoro (2021) (Figura 1c).

Durante la conducción del experimento la humedad relativa se mantuvo siempre en valores inferiores al 72%, en todos los sitios, con excepción del mes de septiembre, donde se registraron las mayores precipitaciones en los sitios de Tesopaco y Bahía de Lobos (Figura 1). Se observó además que en los Sitios 1 y 2 se combinan altas temperaturas con escasas precipitaciones y en el Sitio 3, la baja precipitación y la salinidad (8.6 dS m^{-1}). El coeficiente hidrotérmico promedio de los tres sitios, calculado en los meses de marzo a noviembre del año 2021 fue de 0.1, clasificando como ecosistemas muy secos.

3.1 Dinámica del desarrollo de las hojas de *P. aculeata* L. Sp. Pl. ante las condiciones de calor, sequía y salinidad

Existieron diferencias significativas entre las medias de la longitud final de la hoja ($p = 0.00400$) entre las tres condiciones de estrés evaluadas. Similar respuesta se encontró en la dinámica del desarrollo de la hoja ($p=0.00542$) y en el tiempo de ocurrencia de la senescencia ($p=0.00326$). La salinidad fue la condición que más afectó las tres variables evaluadas (Tabla 1).

Tabla 1 – Longitud final, dinámica del desarrollo de las y tiempo a la senescencia de las hojas de *P. aculeata* L. Sp. Pl. ante las condiciones de alta temperatura (sitio 1), sequía (sitio 2) y salinidad (sitio 3) en el semidesierto de Sonora, México

Sitios	Longitud final (cm)	Dinámica del desarrollo de la hoja (cm día^{-1})	Tiempo a la senescencia (días)
Alta temperatura (1)	$63.2 \pm 0.2 \text{ a}$	$0.75 \pm 0.01 \text{ a}$	$84 \pm 1^{\text{a}}$
Sequía (2)	$43.2 \pm 0.2 \text{ b}$	$0.54 \pm 0.01 \text{ b}$	$80 \pm 0.7 \text{ b}$
Salinidad (3)	$16.2 \pm 1.1 \text{ c}$	$0.25 \pm 0.01 \text{ c}$	$66 \pm 0.1 \text{ c}$

Fuente: Autores (2022)

En qué: Letras diferentes en la columna indican diferencias por MDS para $p < 0.001$.

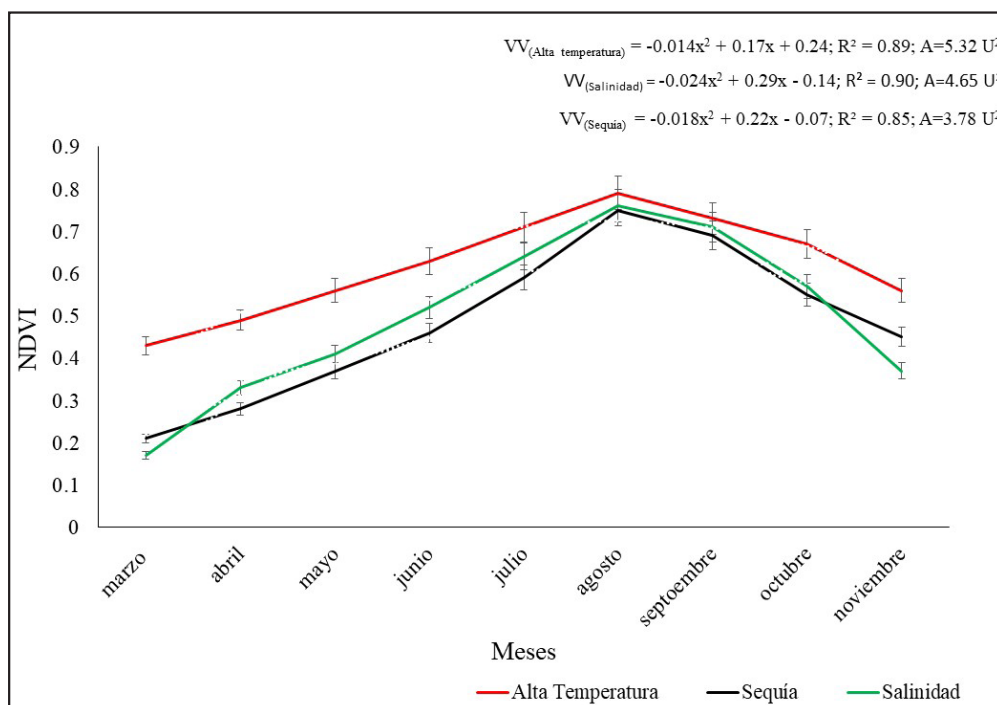


El tiempo de senescencia de las hojas para la condición de salinidad fue alcanzada a los 66 días. Sin embargo, en las condiciones de alta temperatura y sequía las hojas permanecieron vivas por 85 y 80 días, respectivamente. En esta misma condición de estrés, por salinidad, las hojas alcanzaron menor longitud y menor dinámica del desarrollo (Tabla 1).

3.2 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de *P. aculeata* L. Sp. Pl. ante las condiciones de calor, sequía y salinidad

En el sitio 1 (condición de alta temperatura), el NDVI fue superior al obtenido en las condiciones de sequía y salinidad en todos los meses en que fue medido (Figura 2). Esto denota la tolerancia relativa que tiene la especie a las altas temperaturas. La condición de salinidad presentó, en la mayoría de los meses, mayores valores de NDVI que la condición de sequía, con excepción de los meses límites de medición (marzo y noviembre). Dicha superioridad alude a una mayor tolerancia, al menos para esta variable, a la salinidad que a la sequía (Figura 2).

Figura 2 - Índice de Vegetación de diferencia normalizada de *P. aculeata* L. Sp. Pl. ante las condiciones de alta temperatura, sequía y salinidad en el semidesierto de Sonora, México



Fuente: Autores (2022)



En las tres condiciones evaluadas se obtuvo el máximo valor de NDVI en el mes de agosto. Las condiciones de salinidad y sequía presentaron similar valor en este mes. En estas tres condiciones los valores obtenidos simulaban una curva polinómica de la forma $y=-mX^2+pX±q$, con bondades de ajuste de los datos superiores al 85%. El área bajo estas curvas fue superior en la condición de alta temperatura (5.32 U²), evidenciando adaptabilidad a dicha condición. Este valor del área permitió caracterizar el sitio como sitio sin estrés en las plantas. En las condiciones de salinidad se obtuvo un área de 4.65 U², clasificando como plantas con estrés moderado, mientras que el sitio de sequía presentó el menor valor de área bajo la curva (3.78 U²) clasificando como sitio de estrés severo.

3.3 Productividad primaria de *P. aculeata* L. Sp. Pl. ante las condiciones de calor, sequía y salinidad

La productividad primaria presentó diferencias significativas ante las tres condiciones abióticas estudiadas, siendo la condición de alta temperatura la de menor efecto adverso, con una producción de 116 g m⁻² mes⁻¹ de hojarasca. En la condición de salinidad, en concordancia con lo observado en el análisis de los resultados del NDVI, las plantas aportaron mayor cantidad de hojarasca que la condición de Sequía, aunque la diferencia promedio fue de 4 g m⁻² mes⁻¹ (Tabla 2).

Tabla 2 – Productividad primaria *P. aculeata* L. Sp. Pl. en las condiciones de alta temperatura, salinidad y sequía en el semidesierto de Sonora, México

Sitios	Hojarasca (g m ⁻² mes ⁻¹)
Alta temperatura (1)	116 ± 11 a
Sequia (2)	75 ± 6 c
Salinidad (3)	79 ± 4 b

Fuente: Autores (2022)

Letras diferentes en la columna indican diferencias por MDS para $p<0.001$.



El estudio de la dinámica del desarrollo foliar, el estado fisiológico y la capacidad de incorporación de la hojarasca de especies predominantes en el semidesierto, y en particular en el semidesierto de Sonora, México contribuye a inferir sobre la capacidad de captura y balance carbonado en estos ecosistemas. La incorporación de hojarasca es la clave para elevar el contenido de materia orgánica, lo que se convertirá en la aparición y diversificación de microorganismos que contribuyen a la disponibilidad y solubilización de algunos nutrientes para propiciar más vida a los suelos de los ecosistemas frágiles y degradados.

4 DISCUSIONES

El desierto de Sonora clasifica como terrenos secos con condiciones fuertes de sequía (MARTÍNEZ-SIFUENTES; VILLANUEVA-DÍAZ; ESTRADA-ÁVALOS, 2020). Los valores del coeficiente hidrotérmico obtenidos permiten clasificarlo como un suelo muy seco (EVARTE-BUNDERE; EVARTS-BUNDERS, 2012). En condiciones favorables tanto de clima como de suelo se han reportado longitudes de la hoja de hasta 30 cm para esta especie (ROMÃO; MANSANO, 2021). Las condiciones de sequía y salinidad generan en las plantas una reducción del área foliar y este es el efecto más común que se presenta en las plantas ante estas condiciones (SHARMIN; LIPKA; POLLE; ECKERT, 2021). Esta reducción del área foliar, en ocasiones, constituye un mecanismo de defensa de las plantas para evitar pérdidas de agua por transpiración (MELO; YULE; BARROS; RIVAS; SANTOS, 2021), con ello las plantas logran mantener alta eficiencia de uso de agua (MATEUS; FLORENTINO; SANTOS; FERRAZ; GONCALVES; LAVRES, 2021).

El mantenimiento del área foliar por más tiempo presupone mayor actividad fotosintética (ZHU; LI; THORPE; HOCART; SONG, 2021). La senescencia temprana también limita la capacidad de captura del carbono, por lo que la actividad fotosintética de las plantas se reduce, limitando la ganancia de materia seca (GODFREY; FERGUSON; ZWIENIECKI, 2021). Algunas especies del semidesierto, en respuesta a la condición de estrés acumulan altas concentraciones de ácido abscísico, causando la caída temprana



de las hojas, lo que reduce la transpiración (MUKARRAM; CHOUDHARY; KURJAK; PETEK; KHAN, 2021). La salinidad y la sequía en muchas especies de plantas generan el proceso de senescencia temprana debido al efecto tóxico de las sales en el metabolismo de las clorofilas y cuando las concentraciones de sales son altas, las plantas desarrollan el mecanismo de extracción de sales a través de las hojas (RODRÍGUEZ; TALEISNIK, 2021; LLANES; PALCHETTI; VILO; IBAÑEZ, 2021).

Resultados similares de los valores de NDVI en condiciones de salinidad fueron reportados por Gonzáles, Penuelas-Rubio, Argente-Martinez, Ponce, Andrade, Hasanuzzaman, Aguilera y Teodoro (2021), demostrando que bajo estrés salino *P. aculeata* L. Sp. Pl. el NDVI no supera el valor de 0.8. El NDVI, como otros índices de vegetación es una variable importante que determina el estado fisiológico de las plantas y la condición nutricional. En muchas especies es utilizado como indicador de referencia para identificar condiciones de estrés como la sequía (AFSHAR; AL-YAARI; YILMAZ, 2021), alta temperatura (KARNIELI; AGAM; PINKER; ANDERSON; IMHOFF; GUTMAN; PANOVA; GOLDBERG, 2010) e incluso para identificar grado de tolerancia al estrés salino (QUAMRUZZAMAN; MANIK; LIVERMORE; JOHNSON; ZHOU; SHABALA, 2022). Los valores bajos de NDVI en condiciones de sequía pueden estar asociados con la reducción de la nutrición vegetal nitrogenada debido a la baja disponibilidad hídrica (BALDARELLI; THROOP; COLLINS; WARD, 2021).

Los valores de NDVI, cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutrimentales del cultivo (en especial de nitrógeno) y la posible incidencia de estrés, es un indicador fisiológico muy importante. Valores mayores del NDVI representan un mejor estado nutritivo (INMAN; KHOSLA; MAYFIELD, 2005). Ya se ha descrito que el NDVI mide los cambios en el contenido de clorofila dentro del dosel vegetal, trayendo como resultado que los valores más altos de NDVI representan un mayor vigor y capacidad fotosintética (o verdor) de la cubierta vegetal (XIE; FAN, 2021). Baja nutrición nitrogenada afectará la capacidad de las plantas para sintetizar clorofilas y todo ello reduce la eficiencia fotosintética (DEMMIG-ADAMS; LÓPEZ-POZO; POLUTCHKO; FOUROUNJIAN; STEWART; ZENIR; ADAMS, 2022).



En el semidesierto de Sonora existen reportes de especies que generan cantidades de hojarasca que ascienden a los $65 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ (ROLDAN-NICOLAU; TERRAZAS; MONTESINOS; PI; TINOCO-OJANGUREN, 2020). Estudios realizados por Day, Bliss, Tomes, Ruhland y Guénon (2018) demostraron que la descomposición de la hojarasca del desierto propicia un acoplamiento de la respiración microbiana, las fracciones solubles en agua y la fotodegradación. En estudio desarrollado en varias regiones del semidesierto de Sonora, se encontraron apenas 12 tipos de hojarasca durante 34 meses de evaluación. Estos hallazgos demuestran que en el desierto no es muy abundante el contenido de materia orgánica, lo que genera más desecación de los suelos. En los semidesiertos y desiertos generalmente la vegetación es escasa y abundan más los cactus que tardan un tiempo considerable en descomponerse (BILDERBACK; TORRES; VEGA; BALL, 2021), Algunos reportes han demostrado que la fotodegradación de las cutículas de la hojarasca mejora la descomposición microbiana al aumentar la absorción de humedad que no proviene de la lluvia (LOGAN; BARNES; EVANS, 2022).

5 CONSIDERACIONES FINALES

De las tres condiciones abióticas estudiadas, la alta temperatura no afecta significativamente la dinámica del desarrollo ni la longitud final de las hojas. En tanto, la sequía reduce la longitud final de las hojas disminuyendo el ritmo de desarrollo a 0.2 cm día^{-1} . Por su parte la salinidad genera en las plantas un adelanto de la senescencia de la especie en 66 días.

El NDVI de *Parkinsonia aculeata* L. Sp.Pl. ante las condiciones de alta temperatura, sequía y salinidad en el semidesierto de Sonora no alcanza valores mayores al 0.8 y el máximo valor se obtiene en el mes de octubre. La condición de sequía genera la mayor reducción del NDVI.

La especie *Parkinsonia aculeata* L. Sp.Pl. presenta variabilidad en la producción de hojarasca ante las condiciones de alta temperatura, sequía y salinidad existentes



en el semidesierto de Sonora. La mayor productividad primaria ($116 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$) se obtiene ante la condición de alta temperatura. La sequía es la condición abiótica que más redujo la productividad primaria.

REFERENCIAS

AFSHAR, M. H.; AL-YAARI, A.; YILMAZ, M. T. Comparative Evaluation of Microwave L-Band VOD and Optical NDVI for Agriculture Drought Detection over Central Europe. **Remote Sensing**, v. 13 n. 7, p. 1251, 2021.

ARENAS, O.I. **Sequía 2021**: la sequía más severa de registro reciente. Boletín del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, 2021. Disponible en: <https://www.atmosfera.unam.mx>

BALDARELLI, L. M.; THROOP, H. L.; COLLINS, S. L.; WARD, D. Nutrient additions have direct and indirect effects on biocrust biomass in a long-term Chihuahuan Desert grassland experiment. **Journal of Arid Environments**, v. 184, p. 104317, 2021.

BILDERBACK, A. H.; TORRES, A. J.; VEGA, M.; BALL, B. A. The structural and nutrient chemistry during early-stage decomposition and desiccation of cacti in the Sonoran Desert. **Journal of Arid Environments**, v. 195, p. 104636, 2021.

COOK, B. I.; MANKIN, J. S.; WILLIAMS, A. P.; MARVEL, K. D.; SMERDON, J. E.; LIU, H. Uncertainties, limits, and benefits of climate change mitigation for soil moisture drought in southwestern North America. **Earth's Future**, v. 9 n. 9, p. e2021EF002014, 2021.

CORWIN, D. L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. **European Journal of Soil Science**, v. 72 n.2, p. 842-862, 2021.

DAY, T. A.; BLISS, M. S.; TOMES, A. R.; RUHLAND, C. T.; GUÉNON, R. Desert leaf litter decay: Coupling of microbial respiration, water-soluble fractions and photodegradation. **Global change biology**, v. 24 n. 11, p. 5454-5470, 2018.

DEMMIG-ADAMS, B.; LÓPEZ-POZO, M.; POLUTCHKO, S. K.; FOUROUNJIAN, P.; STEWART, J. J.; ZENIR, M. C.; ADAMS, W. W. Growth and Nutritional Quality of Lemnaceae Viewed Comparatively in an Ecological and Evolutionary Context. **Plants**, v. 11 n. 2, p. 145, 2022.

DOBLER-MORALES, C.; BOCCO, G. Social and environmental dimensions of drought in Mexico: An integrative review. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 55, p. 102067, 2021.

EVARTE-BUNDERE, G.; EVARTS-BUNDERS, P. Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia*. **Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis**, v. 12 n. 2, p. 135-148, 2012.

FAO. **México**: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. Ciudad de México, México. 290 p. 2014.



GODFREY, J. M.; FERGUSON, L.; ZWIENIECKI, M. A. Sodium Retrieval from Sap May Permit Maintenance of Carbohydrate Reserves in Mature Xylem Tissues of a Salt-tolerant Hybrid Pistachio Rootstock Exposed to 100 mM NaCl. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 146 n. 4, p. 224-232, 2021.

GONZÁLES, H. H. S.; PEÑUELAS-RUBIO, O.; ARGENTE L-MARTÍNEZ, L.; PONCE, A. L.; ANDRADE, M. H. H.; HASANUZZAMAN, M.; TEODORO, P. E. Salinity effects on water potential and the normalized difference vegetation index in four species of a saline semi-arid ecosystem. **PeerJ**, v. 9, p. e12297, 2021.

GOVAERTS, B.; VERHULST, N. The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A: -Concepts and Case Studies: Mexico, D.F. **CIMMYT**, p. 13, 2010.

INMAN, D.; KHOSLA, R.; MAYFIED, T. On-the-go active remote sensing for efficient crop nitrogen management. **Sensor Review**, v. 25, p. 209-214, 2005.

KARNIELI, A.; AGAM, N.; PINKER, R. T.; ANDERSON, M.; IMHOFF, M. L.; GUTMAN, G. G.; PANOV, N.; GOLDBERG, A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. **Journal of climate**, v. 23 n. 3, p. 618-633, 2010.

LARA-RESÉNDIZ, R. A.; GALINA-TESSARO, P.; SINERVO, B.; MILES, D. B.; VALDEZ-VILLAVICENCIO, J. H.; VALLE-JIMÉNEZ, F. I.; MÉNDEZ-DE LA CRUZ, F. R. How will climate change impact fossorial lizard species? Two examples in the Baja California Peninsula. **Journal of Thermal Biology**, v. 95, p. 102811, 2021.

LEE, R. H.; NAVARRO-NAVARRO, L. A.; LEY, A. L.; HARTFIELD, K.; TOLLESON, D. R.; SCOTT, C. A. Spatio-temporal dynamics of climate change, land degradation, and water insecurity in an arid rangeland: The Río San Miguel watershed, Sonora, Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. 104539, 2021.

LLANES, A.; PALCHETTI, M. V.; VILO, C.; IBAÑEZ, C. Molecular control to salt tolerance mechanisms of woody plants: recent achievements and perspectives. **Annals of Forest Science**, v. 78 n. 4, p. 1-19, 2021.

LOGAN, J. R.; BARNES, P.; EVANS, S. E. Photodegradation of plant litter cuticles enhances microbial decomposition by increasing uptake of non-rainfall moisture. **Functional Ecology**, 2022.

MARTÍNEZ-SIFUENTES, A. R.; VILLANUEVA-DÍAZ, J.; ESTRADA-ÁVALOS, J. Runoff reconstruction and climatic influence with tree rings, in the Mayo river basin, Sonora, Mexico. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 13 n. 2, p. 98, 2020.

MATEUS, N. D. S.; FLORENTINO, A. L.; SANTOS, E. F.; FERRAZ, A. D. V.; GONCALVES, J. L. D. M.; LAVRES, J. Partial substitution of K by Na alleviates drought stress and increases water use efficiency in Eucalyptus species seedlings. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 219, 2021.

MELO, A. S.; YULE, T. S.; BARROS, V. A.; RIVAS, R.; SANTOS, M. G. C3-species *Calotropis procera* increase specific leaf area and decrease stomatal pore size, alleviating gas exchange under drought and salinity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43 n. 11, p. 1-11, 2021.

MOLOTOKS, A.; SMITH, P.; DAWSON, T. P. Impacts of land use, population, and climate change on global food security. **Food and Energy Security**, v. 10 n. 1, p. e261, 2021.



MUKARRAM, M.; CHOUDHARY, S.; KURJAK, D.; PETEK, A.; KHAN, M. M. A. Drought: Sensing, signalling, effects and tolerance in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v. 172 n. 2, p. 1291-1300, 2021.

NABHAN, G. P.; DAUGHERTY, E.; HARTUNG, T. Health Benefits of the Diverse Volatile Oils in Native Plants of Ancient Ironwood-Giant Cactus Forests of the Sonoran Desert: An Adaptation to Climate Change? **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 6, p. 3250, 2022.

OJEDA-BARRIOS, D.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, A.; OROZCO-MELÉNDEZ, L. R.; SANCHEZ, E. Causes, effects, and management of salinity problems in pecan production in North Mexico. **Saline and Alkaline Soils in Latin America**, p. 177-187, 2021.

PEREZ-AGUILAR, L. Y.; PLATA-ROCHA, W.; MONJARDIN-ARMENTA, S. A.; FRANCO-OCHOA, C.; ZAMBRANO-MEDINA, Y. G. The Identification and Classification of Arid Zones through Multicriteria Evaluation and Geographic Information Systems—Case Study: Arid Regions of Northwest Mexico. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10 n. 11, p. 720, 2021.

QUAMRUZZAMAN, M.; MANIK, S. N.; LIVERMORE, M.; JOHNSON, P.; ZHOU, M.; SHABALA, S. Multidimensional screening and evaluation of morpho-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 2022.

RODRÍGUEZ, A. A.; TALEISNIK, E. Soil Salinization and Sodification as Conditioners of Vegetation and Crops: Physiological Aspects of Plant Response to These Conditions. **Intensified Land and Water Use**, p. 43-54, 2021.

ROLDAN-NICOLAU, E.; TERRAZAS, T.; MONTESINOS, M. N.; PI, T.; TINOCO-OJANGUREN, C. Effect of buffelgrass fires on two Sonoran Desert trees: Bark and structural analyses. **Journal of Arid Environments**, v. 178, p. 104166, 2020.

ROMÃO, M. V. V.; MANSANO, V. D. F. Taxonomic review of the species of *Parkinsonia* (Leguminosae, Caesalpinioideae) from the Americas. **Rodriguésia**, v. 72, 2021.

SHARMIN, S.; LIPKA, U.; POLLE, A.; ECKERT, C. The influence of transpiration on foliar accumulation of salt and nutrients under salinity in poplar (*Populus× canescens*). **PloS one**, v. 16 n. 6, p. e0253228, 2021.

STATSOFT. **STATISTICA (data analysis software system), version 8.0**. 2008. Disponible en: <http://www.statsoft.com>

UN. Naciones Unidas. **Decenio de las Naciones Unidas para los desiertos y la lucha contra la desertificación**. 2020. Disponible en: https://www.un.org/es/events/desertification_decade/background.shtml

ZACHMANN, L. J.; WIENS, J. F.; FRANKLIN, K.; CRAUSBAY, S. D.; LANDAU, V. A.; MUNSON, S. M. Dominant Sonoran Desert plant species have divergent phenological responses to climate change. **Madroño**, v. 68 n. 4, p. 473-486, 2021.

ZHU, L.; LI, H.; THORPE, M. R.; HOCART, C. H.; SONG, X. Stomatal and mesophyll conductance are dominant limitations to photosynthesis in response to heat stress during severe drought in a temperate and a tropical tree species. **Trees**, v. 35 n. 5, p. 1613-1626, 2021.



Contribución de los Autores

1 Leandris Argentel-Martínez

Doutor

<https://orcid.org/0000-0002-0353-2251> • oleinismora@gmail.com

Contribución: Curación de datos; Análisis formal; Redacción - borrador original; Visualización

2 Ofelda Peñuelas-Rubio

Doutora

<https://orcid.org/0000-0002-7782-3246> • ofeperub@gmail.com

Contribución: Curación de datos; Análisis formal; Escribiendo – revisión y edición

3 Jorge González Aguilera

Doutor

<https://orcid.org/0000-0002-7308-0967> • j51173@yahoo.com

Contribución: Curación de datos; Análisis formal; Redacción - borrador original

4 Jaime Garatuza-Payán

Doutor

<https://orcid.org/0000-0003-2357-910X> • garatuza1@gmail.com

Contribución: Curación de datos; Escribiendo – revisión y edición

Cómo citar este artículo

ARGENTEL-MARTÍNEZ, L.; PEÑUELAS-RUBIO, O.; AGUILERA, J. G.; GARATUZA-PAYÁN, J. Dinámica del desarrollo foliar de *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. ante altas temperaturas, la sequía y la salinidad del semidesierto de Sonora. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e70584, p. 1-17, 2022. DOI 10.5902/1980509870584. Disponible en: <https://doi.org/10.5902/1980509870584>. Acceso en: día mes abr. año.