

Genotipos de *Portulaca oleracea* L. ante estrés salino por NaCl: un análisis multivariado

Genotypes of *Portulaca oleracea* L. under saline stress by NaCl: a multivariate analysis

Aaron David Lugo-Palacios¹ , José Luis García-Hernández² , Priscilla Yamilhet Montes-Orona¹ , Christian Silva-Martínez³ , Urbano Nava-Camberos² , Edgar Omar Rueda-Puente^{4*} 

¹Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, CP. 35111. Durango, México.

²Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, Km 35, Ejido Venecia, CP. 35111, Gómez Palacio, Durango, México.

³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Carretera Periférico s/n, Col. Valle Verde, 27054. Torreón, Coahuila, México.

⁴Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas, s/n, Col. Centro, CP. 83000. Hermosillo, Sonora, México.

*Autor de correspondencia: edgar.rueda@unison.mx

Artículo científico

Recibido: 19 de febrero 2026

Aceptado: 09 de agosto 2026

RESUMEN. La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una especie con potencial creciente ante el incremento de la salinidad de los suelos agrícolas y pozos de agua profunda. La salinidad es uno de los factores de estrés abiótico más limitantes para la agricultura en zonas áridas. Esta situación demanda la identificación de cultivos resilientes con valor agregado. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta morfológica, pigmentaria, bioquímica y colorimetría de genotipos mexicanos de *P. oleracea* bajo estrés salino, utilizando un análisis multivariado. La investigación se llevó a cabo en Francisco I. Madero, Coahuila, México, donde se sometieron los cultivares Cuautla, Xochimilco y la variedad Hoja ancha a concentraciones de 0, 4, 8, 12 y 16 dS m⁻¹. Se evaluaron variables de crecimiento, coordenadas de color CIE, compuestos bioactivos, pigmentos fotosintéticos y no fotosintéticos. Como resultado, se encontró una reducción significativa de hasta 66% del peso fresco al comparar el testigo (0 dS m⁻¹) y 12 dS m⁻¹. En cambio, los pigmentos fotosintéticos (carotenoides, clorofila a y b) y no fotosintéticos (betacianinas y betaxantinas) no presentaron diferencias estadísticas significativas. El análisis de componentes principales (ACP) evidenció que la verdolaga limitó su desarrollo ante el estrés salino; luego priorizó la acumulación de fenoles e incrementó su capacidad antioxidante como respuesta metabólica. Además, Las variables colorimétricas se asociación con la conductividad eléctrica. En síntesis, los genotipos examinados en esta investigación toleran niveles inferiores a 12 dS m⁻¹ con pérdidas menores de rendimiento y aumentan su calidad nutracéutica en concentraciones superiores.

Palabras clave: Comarca Lagunera, compuestos fenólicos, ABTS, CIE *L*a*b**.

ABSTRACT. Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is a species with potential under increasing salinity in agricultural soils and deep groundwater used for irrigation. Salinity is one of the most limiting abiotic factors for agricultural productivity in arid zones. This issue demands the identification of resilient crops with commercial value. For that reason, the aim of this investigation was to assess the morphological, pigmentary, bioactive compounds, and Cie *L*a*b** responses of Mexican *P. oleracea* genotypes under salinity stress with a multivariate analysis. The experiment was conducted in Francisco I. Madero, Coahuila, Mexico. The Cuautla and Xochimilco cultivars and the Hoja Ancha variety were exposed to 0, 4, 8, 12, and 16 dS m⁻¹. Growth variables, CIE color coordinates, bioactive compounds, and both photosynthetic and non-photosynthetic pigments were evaluated. The results indicated that salinity significantly reduced fresh biomass at 12 dS m⁻¹, representing a decrease of up to 66% compared to the control. In contrast, photosynthetic (carotenoids, chlorophyll a and b) and non photosynthetic (betacyanins and betaxanthins) showed no statistical significance. Meanwhile, principal component analysis (PCA) revealed that the plant prioritizes the biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant capacity over primary growth as a defense mechanism against salt stress. Furthermore, colorimetric variables showed an association with electrical conductivity. It is concluded that the studied *P. oleracea* genotypes possess salt stress tolerance up to 12 dS m⁻¹, maintaining their nutraceutical quality even in the face of yield reductions.

Keywords: Comarca Lagunera, phenols, ABTS, CIE *L*a*b**.

Como citar: Lugo-Palacios AD, García-Hernández JL, Montes-Orona PY, Silva-Martínez C, Nava-Camberos U, Rueda-Puente EO (2026) Genotipos de *Portulaca oleracea* L. ante estrés salino por NaCl: un análisis multivariado. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. VI: e5080. DOI: 10.19136/era.a13nVI.5080.

INTRODUCCIÓN

La seguridad agroalimentaria es crucial para satisfacer el suministro de alimentos a la población. Sin embargo, esta seguridad está amenazada por el cambio climático y la degradación de los recursos como el agua y el suelo, lo cual agrega limitaciones productivas en los sistemas agroalimentarios (Ivushkin *et al.* 2019, Cauich-Kau *et al.* 2025). Asimismo, los eventos socioambientales pueden generar vulnerabilidad en la producción y abastecimiento de alimentos, como el aumento de costos de los agroquímicos (Ryabkov 2025). Por lo anterior, es necesario orientar la producción agrícola considerando las limitantes abióticas de las zonas productivas con un enfoque en sostenibilidad y autosuficiencia alimentaria (Lugo-Palacios *et al.* 2026). Entre los estresores abióticos a considerar destaca la salinidad, que es uno de los factores limitantes de la agricultura, debido a que afecta al 20% de las tierras cultivadas y se estima que aumentará al 50% para el 2050.

En las zonas productivas de México destacan las zonas áridas y semiáridas que representan el 64% del territorio nacional. Al norte del país, estas zonas están conformadas por la Región Lagunera (Durango y Coahuila), y los estados de Aguascalientes, Chihuahua y Zacatecas (INIFAP-CIRNOC 2026). Este territorio se encuentra clasificado como árido, semiárido e hiperárido (CONAZA 2022, Correa-Islas *et al.* 2023). A pesar de la predominancia de la aridez, estos estados resaltan por la producción agropecuaria.

No obstante, la intensificación de la degradación del suelo junto con los cambios en los patrones meteorológicos condicionan la selección adecuada de cultivos para cada región agroclimática, considerando sus factores limitantes (Lugo-Palacios *et al.* 2026). Esta situación es apremiante en regiones áridas y semiáridas, donde se enfrentan períodos de sequía y degradación del suelo; situación en la que resalta la superficie de suelos salinizados, que aumenta 3.33 millones de hectáreas por año en todo el mundo y representa una amenaza en el suministro alimentario global a mediano y largo plazo (Ivushkin *et al.* 2019, Correa-Islas *et al.* 2023).

Para dimensionar el problema, la región Laguna de Coahuila-Durango cuenta con concentraciones de sales en pozos de agua profundos destinados para uso agrícola dentro del rango de 0.32 - 33.248 dS m⁻¹ (Cauich-Kau *et al.* 2025). En cambio, el agua de riego proveniente del río Nazas no representa un problema en la productividad agropecuaria, ya que la conductividad eléctrica oscila entre 0.32 y 0.694 dS m⁻¹ (Rodríguez-Ríos *et al.* 2024). Sin embargo, alrededor del 99% de los suelos de uso agrícola de la región cuentan con niveles de 2 - 4 dS m⁻¹, lo que limita el rendimiento de cultivos comúnmente usados como la alfalfa, que encuentra su umbral económico en concentraciones mayores de 1.8 dS m⁻¹ (Santamaría-César *et al.* 2004, Ivushkin *et al.* 2019).

La salinización de los suelos fomenta el interés en especies capaces de desarrollarse en condiciones adversas; y el NaCl actúa como la principal sal limitante debido a prácticas de riego inadecuadas en zonas áridas (FAO 2024). La verdolaga (*Portulaca oleracea*) es un cultivo prometedor debido a su metabolismo fotosintético flexible C4-CAM, lo que le confiere tolerancia a la salinidad y la sequía (He *et al.* 2021, Guevara-Olivar *et al.* 2024). De esta manera, se abre una oportunidad para intensificar su producción en zonas propensas a las condiciones adversas ya mencionadas, es decir, temperaturas elevadas, suelos o agua de riego con altas concentraciones de sales (Borsai *et al.* 2020).

Desde la perspectiva de la salud pública, *P. oleracea* se considera un alimento funcional con alto valor biológico (Bekmirzaev *et al.* 2021, Hristozkova *et al.* 2025). En su composición, destacan pigmentos con actividad antioxidante como carotenoides, betalaínas y clorofilas, así como otros grupos como fenoles y flavonoides totales (Egamberdieva *et al.* 2022, Montoya-García *et al.* 2023). Además, sus propiedades ópticas resultan visualmente atractivas para los consumidores, a la vez que pueden fungir como indicadores de estrés (Won *et al.* 2025). Por esta razón, el CIE L^*a^*b , el croma (C^*) y el tono (h^*) son relevantes para la investigación en cultivos y alimentos (Procida y Honeychurch 2022).

Ahora bien, a pesar del potencial nutrimental y agroclimático de *P. oleracea*, existe un vacío de conocimiento sobre la evaluación de genotipos de origen mexicano en condiciones ambientales áridas y semiáridas para observar la respuesta a distintos niveles de conductividad eléctrica generados por NaCl. Centrarse en genotipos adaptados a las condiciones edafoclimáticas es esencial para el éxito de los programas de mejoramiento y la adopción de semillas necesarias para reforzar las estrategias nacionales de seguridad agroalimentaria. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta morfológica, fisiológica y bioquímica de tres genotipos de *Portulaca oleracea* bajo diferentes niveles de conductividad eléctrica en condiciones áridas de la Región Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se ubicó en Francisco I. Madero, Coahuila de Zaragoza, México. Este municipio forma parte de la región Laguna de Coahuila y Durango, cuenta con coordenadas geográficas 25°46'15" LN y -103°16'21" LO, altitud de 1 100 msnm y 21.3 °C de temperatura media anual. En cuanto a las condiciones climáticas registradas durante el desarrollo del experimento, que ocurrió dentro de los meses de junio y julio de 2025, consistieron en 8.73 mm de precipitación, 37.9 °C como temperatura máxima promedio, 19.9 °C de temperatura mínima promedio y 28.9 °C de temperatura media (CONAGUA 2026).

Diseño experimental

El experimento se ejecutó en diseño completamente al azar con dos factores y tres repeticiones; el primer factor consistió en genotipos de *P. oleracea*: cv. Xochimilco, cv. Cuautla y var. Hoja ancha. El segundo factor fue la conductividad eléctrica estimada a partir de la concentración molar de NaCl empleada en el agua de riego de 0 (control), 40, 80, 120 y 160 mM, los cuales son equivalentes a 0, 4, 8, 12 y 16 dS m⁻¹ según la conversión 4 dS m⁻¹ = 40 mM NaCl (Hnilickova *et al.* 2021), por lo que serán mencionadas de esta manera en el texto para homogeneizar las unidades (incluyendo estudios comparativos). En total se emplearon 45 unidades experimentales (macetas).

Estimación de la evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó a partir del coeficiente del cultivo (K_c) y la evapotranspiración potencial (ET_o) a partir de estimaciones de Lugo-Palacios *et al.* (2026).

Establecimiento del experimento

Los genotipos de *P. oleracea* se sembraron el 3 de junio del 2025 en macetas con 565 g de suelo como sustrato. El pH del suelo fue de 8.226 ($\sigma^2 = 0.020$) y la conductividad eléctrica (CE) de 0.671 dS m⁻¹ ($\sigma^2 = 0.023$) (Bekmirzaev *et al.* 2021, Egamberdieva *et al.* 2022). La germinación ocurrió dos días después de la siembra (dds); luego se clareó, dejando un total de 4 plantas en cada maceta. El riego se efectuó con agua de grifo hasta que las plantas alcanzaron entre 4 y 7 cm (Kafi y Rahimi 2011). Después, el agua de riego con los correspondientes niveles de conductividad eléctrica se comenzó a aplicar a los 22 dds preparada con agua destilada, con incrementos de 4 dS m⁻¹ por día hasta lograr la concentración deseada para evitar choque osmótico (Xing *et al.* 2019, Hassanpouraghdam *et al.* 2022).

Colorimetría CIE $L^*a^*b^*$ y C^*h^*

La obtención de las variables CIE $L^*a^*b^*$, que consisten en coordenadas que componen el color que percibe el ojo humano, requirió capturar imágenes digitales de la planta un día antes de la cosecha. Para esto se empleó un teléfono inteligente iPhone 16 Pro (Apple, Zhengzhou, China) (Won *et al.* 2025). La captura de imágenes se ejecutó con un tripié, en posición nadir, a una altura de 80 cm con relación al suelo (Bodor-Pesti *et al.* 2024). Luego, se utilizó la aplicación Color Picker and Helper para obtener cada variable (L^* , a^* y b^*) (Procida y Honeychurch 2022). Posteriormente, se calculó croma (C^*) y tono (h^*) utilizando las variables a^* y b^* acorde a Orlando-Guerrero *et al.* (2023) mediante las fórmulas siguientes:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$
$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Variables morfológicas

El área foliar se obtuvo a través de la aplicación LeafByte y se registró en cm². Este método consiste en capturar una imagen de las muestras de hoja de la planta sobre una hoja blanca como fondo; la hoja debe estar centrada dentro de un recuadro con cuatro puntos rojos a 5 cm de distancia (Getman-Pickering *et al.* 2020). La altura de tallo y la longitud de raíz se obtuvieron con una regla y se expresaron en centímetros. El diámetro de tallo se determinó con un vernier digital en mm. Posteriormente, se registró el peso fresco (g) de cada conjunto de órganos de la planta (tallo, hojas, raíz) y en su totalidad para encontrar el peso fresco por unidad.

La materia seca se determinó en estufa de secado durante 72 h a 70 °C y se expresó en porcentaje (%) (Camalle *et al.* 2020). Para el análisis de °Brix, se machacó tejido vegetal en un mortero, se tomó una alícuota sin sólidos visuales y se inspeccionó en el refractómetro (Hassanpouraghdam *et al.* 2022).

Determinación de clorofila a, b y carotenoides

Los carotenoides, la clorofila a y b fueron cuantificados a partir de la extracción de 0.5 g de hoja fresca macerada en 10 mL de metanol como solvente. Esto se centrifugó por 15 min, a 4°C y 15 000 rpm (Hermle, Z 216 MK, Wehingen, Alemania). Después, se tomó 0.5 mL de sobrenadante y se mezcló con 4.5 mL de solvente; luego, se midió la absorbancia en espectrofotómetro (Jenway, 7305,

Stone, Reino Unido) a longitudes de onda de 470, 652.4 y 665.2 nm. Finalmente, se aplicaron las fórmulas correspondientes según Nayek *et al.* (2014) y las variables se estimaron en $\mu\text{g g}^{-1}$ PF.

Evaluación de betalaínas

Se recolectó 0.5 g de planta en fresco (sin raíz). Esto se maceró con 5 mL de solvente (80% agua, 20% etanol); la mezcla se dejó reposar por 30 minutos en ausencia de luz. Posteriormente, se centrifugó (Hermle, Z 216 MK, Wehingen, Alemania) por 5 min a 4 °C y 13 200 rpm. Luego, se agregó 1 mL de sobrenadante con 2.5 mL de solvente para capturar la absorbancia en espectrofotómetro (Jenway, 7305, Stone, Reino Unido) a 536 nm y 650 nm para betacianinas, así como 485 nm y 650 nm para betaxantinas, lo que se utilizó para el cálculo de estas variables en mg g^{-1} PF (Wruss *et al.* 2015, Hristozkova *et al.* 2025).

Determinación de fenoles totales y flavonoides totales

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó utilizando una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.* 1999). Se mezclaron 50 μL de extracto reconstituido con 3 mL de agua destilada en un tubo de ensayo. Después, se añadieron 250 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, EE. UU.) y se agitó en vórtex durante 10 s. Después de 3 min de reacción, se añadieron 750 μL de carbonato de sodio (20% p/v) y se agitó durante 10 s, seguido de 950 μL de agua destilada; se volvió a agitar en vórtex y se dejó reaccionar durante 2 h a temperatura ambiente y en ausencia de luz. La absorbancia de la solución se obtuvo a 765 nm en espectrofotómetro UV-Visible (Thermo Scientific, Genesys 10S, Madison, EE. UU.). Luego, se generó una curva de calibración con ácido gálico como estándar, con resultados expresados en mg AG g^{-1} PF.

La cantidad de flavonoides se midió usando el método de Zhishen *et al.* (1999). Por ello, se adoptaron las siguientes modificaciones: primero, se mezclaron 250 mL del extracto de cada muestra con 1 000 mL de agua desionizada y 75 μL de NaNO_2 , y se dejó reaccionar durante 5 minutos. Posteriormente se agregó AlCl_3 al 10% (150 μL) y NaOH al 1 M (500 μL) a cada muestra; luego, la solución se centrifugó a 3 500 rpm durante 5 minutos (Hermle, Z 216 MK, Wehingen, Alemania). Para finalizar, se determinó la absorbancia a 510 nm en espectrofotómetro UV-Visible (Thermo Scientific, Genesys 10S, Madison, EE. UU.); y luego se estimó la concentración de los flavonoides en $\text{mg equivalentes de quercetina (QE) g}^{-1}$ de PF.

Determinación de capacidad antioxidante ABTS

La prueba ABTS fue seleccionada como métrica de capacidad antioxidante en esta investigación. El procedimiento se elaboró de acuerdo con la metodología de Aubad-Lopez *et al.* (2007). Esta se fundamenta en la respuesta del ABTS, la cual consiste en la reacción oxidativa del radical en presencia de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (Sigma Aldrich, EE. UU.). En la evaluación, se utilizan 20 μL de muestra y 980 μL de la solución ABTS en tampón fosfato a un pH de 7.4. Después de 30 minutos, se observó la absorbancia a 743 nm en espectrofotometría (Thermo Scientific, Genesys 10S, Madison, EE. UU.). La curva de calibración se desarrolló usando Trolox como referente y los resultados se presentaron en mg Trolox g^{-1} PF.

Análisis de datos

En el análisis de datos, se verificó el cumplimiento de la homogeneidad de varianzas en Minitab 20 a través de la prueba de Levene basada en la mediana (Brown y Forsythe 1974). La normalidad se comprobó mediante la prueba de Lilliefors en JASP 0.95.4.0 (Baghban *et al.* 2013). Además, los supuestos también se evaluaron a través de inspección visual de los gráficos de residuos frente a valores ajustados para homogeneidad de varianzas y gráfica de cuantiles para normalidad. Las variables que no cumplieran con alguno de los supuestos se transformaron en VDY: software de transformación de datos desarrollado por Arslan *et al.* (2019). Posteriormente, se ejecutó un análisis de componentes principales (ACP) en Minitab (2020) 20. Luego se empleó JASP (2025) 0.95.4.0 para realizar ANOVA con pruebas post hoc de Tukey en caso de significancia estadística y análisis de correlación de Spearman (Rebekić *et al.* 2015).

RESULTADOS

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) presentó nueve componentes con un valor propio mayor de 1. Pero cuatro explican el 54.6% de la varianza total del conjunto de datos, presentando el primer y segundo componente a el 20.2% y 15% de la varianza, respectivamente. En la Figura 1 se observa la gráfica de puntuaciones del primer y segundo componente, los cuales están distribuidos en el ejes horizontal y vertical, respectivamente; asimismo, cada eje muestra la ponderación de cada variable, ya sea positiva o negativa. El plano positivo del primer componente está compuesto por la morfología de la planta, i.e., peso fresco de raíz (PFR), de hoja (PFH) y tallo (PFT), al igual que la longitud de raíz (LR), la altura de planta (AP), el diámetro de tallo (DT) y área foliar (AF). En cambio, en el plano negativo destacan los fenoles (FEN), betacianinas (BTC) y grados brix (° Brix). El segundo componente presentó ponderación positiva de a^* y ABTS; en el plano negativo, fue impactado por las variables de colorimetría restantes.

La Figura 2 presenta visualmente la agrupación de los factores (tratamientos) diseñados en esta investigación. El ACP permite generar distinciones o agrupaciones entre tratamientos según la contribución de estos en los componentes 1 y 2. El comportamiento de los genotipos se presenta en la Figura 2a, mientras que la Figura 2b contiene los niveles de conductividad eléctrica (CE). En el primer caso, la puntuación de los genotipos no permite distinguir entre estos; es decir, mostraron un comportamiento similar. En la conductividad eléctrica existe distinción entre la agrupación del tratamiento 0 dS m⁻¹ (testigo) vs. tratamiento 12 y 16 dS m⁻¹, a la vez que los niveles de 4 y 8 dS m⁻¹ actúan como zona intermedia.

Análisis de varianza

En la Tabla 1 se observa la significancia de los factores genotipos y concentraciones de conductividad eléctrica, en las variables morfológicas, de colorimetría y rendimiento. En la Tabla 2, se presenta la significancia de ambos factores en las variables fisiológicas, de pigmentos y compuestos bioactivos.

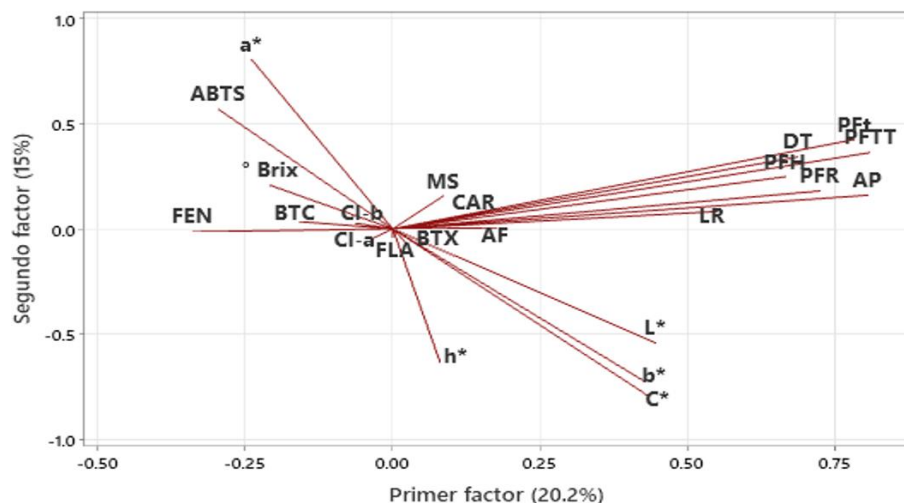


Figura 1. Análisis de componentes principales de variables evaluadas. AP: Altura de planta; DT: Diámetro de tallo; C*: Croma; h*: Tono; Cl-a: Clorofila a; Cl-b: Clorofila b; BTC: Betacianinas; BTX: Betaxantinas; MS: Materia seca; FEN: Fenoles; FLA: Flavonoides; LR: Longitud de raíz; PFR: Peso fresco de raíz; PFT: Peso fresco de tallo; PFH: Peso fresco de hojas; PFTT: Peso fresco total; AF: Área foliar. CAR: Carotenoides.

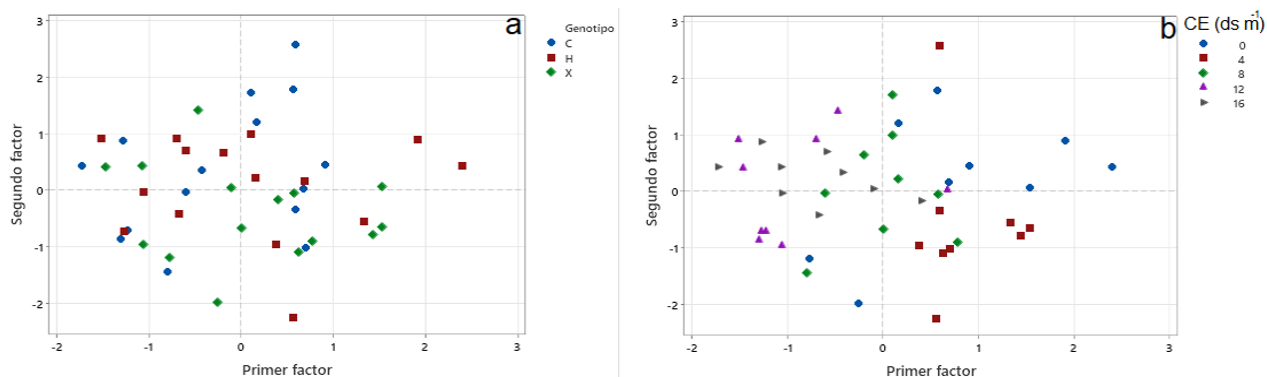


Figura 2. Gráfica de puntuación de componentes principales de variables evaluadas a partir de factores. a) por genotipos, b) por nivel de conductividad eléctrica. C: cv. Cuautla; H: var. Hoja ancha; X: cv. Xochimilco.

Tabla 1. Significancia de genotipos de *P. oleracea* y niveles de conductividad eléctrica en variables morfológicas, parámetros ópticos y de rendimiento.

F	AP	DT	LR	AF	L*	a*	b*	C*	h*	PFR	PFT	PFH	PFTT	MS
G	0.022	0.634	0.041	0.105	0.890	0.011	0.134	0.083	0.015	0.25	0.854	0.068	0.432	0.36
CE	<0.001	0.035	0.358	0.432	<0.001	0.039	0.008	0.008	0.102	0.013	0.006	0.016	0.003	0.125
G*CE	0.291	0.252	0.695	0.004	0.465	0.459	0.684	0.623	0.677	0.763	0.281	0.538	0.285	0.62

F: Factor, G: Genotipo; CE: Conductividad eléctrica; AP: Altura de planta; DT: Diámetro de tallo; C*: Croma; h*: Tono; LR: Longitud de raíz; PFR: Peso fresco de raíz; PFT: Peso fresco de tallo; PFH: Peso fresco de hojas; PFTT: Peso fresco total; MS: Materia seca; AF: Área foliar.

Morfología y ° Brix de *P. oleracea*

La Tabla 3 detalla el efecto de los genotipos y las concentraciones de conductividad eléctrica en las variables morfológicas y de °Brix. Como se observa, el genotipo var. Hoja ancha presentó una altura de planta 20% superior al cv. Cuautla. En lo concerniente a diámetro de tallo, longitud de raíz y

área foliar, no hubo efecto significativo por los genotipos. En cambio, la conductividad eléctrica afectó la altura de planta y el diámetro de tallo; en el primer caso, disminuyó 32, 28 y 35% entre el testigo (0 dS m⁻¹) y 8, 12 y 16 dS m⁻¹, respectivamente. Respecto a la segunda variable, decreció el diámetro del tallo un 24% entre 0 y 12 dS m⁻¹; sin embargo, no hubo diferencia estadística entre 0 y 16 dS m⁻¹ a pesar de poseer una reducción del 11%.

Tabla 2. Significancia de genotipos de *P. oleracea* y niveles de conductividad eléctrica en variables fisiológicas, de pigmentos y compuestos bioactivos.

Factor	°Brix	Cl-a	Cl-b	CIT	Car	BTC	BTX	BET	FEN	FLA	ABTS
G	0.423	0.56	0.575	0.965	0.881	0.05	0.532	0.239	0.069	0.142	<0.001
CE	0.065	0.529	0.683	0.601	0.149	0.671	0.589	0.721	0.026	0.096	<0.001
G*CE	0.416	0.015	0.278	0.602	0.233	0.103	0.409	0.228	0.003	<0.001	<0.001

G: Genotipo; CE: Conductividad eléctrica; AP Cl-a: Clorofila a; Cl-b: Clorofila b; CIT: Clorofilas totales; Car: Carotenoides; BTC: Betacianinas; BTX: Betaxantinas; BET: Betalaínas; FEN: Fenoles; FLA: Flavonoides.

Tabla 3. Comparación de medias de parámetros de crecimiento y ° Brix en genotipos de *Portulaca oleracea* L. bajo cinco niveles de conductividad eléctrica.

Genotipos	Altura de planta(cm)	Diámetro de tallo(mm)	Longitud de raíz(cm)	Área foliar(cm ²)	° Brix
cv. Cuautla	13.653 ^a ± 0.899	2.928 ^a ± 0.134	5.077 ^a ± 0.29	1.701 ^a ± 0.162	1.233 ^a ± 0.128
var. Hoja ancha	17.047 ^b ± 1.483	3.118 ^a ± 0.19	5.947 ^a ± 0.243	1.978 ^a ± 0.235	1.44 ^a ± 0.112
cv. Xochimilco	13.869 ^{ab} ± 0.809	3 ^a ± 0.144	4.89 ^a ± 0.343	1.605 ^a ± 0.313	1.313 ^a ± 0.116
CE (dS m⁻¹)					
0	19.211 ^b ± 1.867	3.289 ^b ± 0.242	5.456 ^a ± 0.315	1.671 ^a ± 0.409	1.244 ^a ± 0.144
4	17.53 ^b ± 0.963	3.278 ^b ± 0.139	5.769 ^a ± 0.37	2.226 ^a ± 0.459	1.222 ^a ± 0.147
8	13.211 ^a ± 1.12	3.028 ^{ab} ± 0.128	5.589 ^a ± 0.353	1.674 ^a ± 0.254	1.133 ^a ± 0.111
12	11.913 ^a ± 0.774	2.517 ^a ± 0.151	4.744 ^a ± 0.396	1.581 ^a ± 0.193	1.711 ^a ± 0.149
16	12.417 ^a ± 0.704	2.965 ^{ab} ± 0.237	4.965 ^a ± 0.53	1.655 ^a ± 0.155	1.333 ^a ± 0.161

Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, P ≤ 0.05). n = 45. CE: Conductividad eléctrica.

Rendimiento de *P. oleracea*

En la Tabla 4 se observa el efecto de los genotipos y las concentraciones de conductividad eléctrica en rendimiento, en la que no se observan diferencias significativas entre genotipos para ninguna variable de estos parámetros. Sin embargo, el estrés por conductividad eléctrica afectó estadísticamente el peso fresco de raíz (PFR); el tratamiento testigo acumuló 81 y 73% más biomasa en contraste con 12 y 16 dS m⁻¹, a pesar de no haber significancia entre 0 y 16 dS m⁻¹. Por otra parte, la dosis de 0 dS m⁻¹ fue superior en alrededor de 75% ante 12 y 16 dS m⁻¹ en el peso fresco de tallo (PFT). Para peso fresco de hojas (PFH), la dosis de 4 dS m⁻¹ presentó mayor acumulación de biomasa en un 58 y 61% en comparación con 12 y 16 dS m⁻¹, respectivamente. Respecto al peso fresco total (PFT), el rendimiento decreció 62 y 64% considerando la dosis de 0 dS m⁻¹ ante 12 y 16 dS m⁻¹. La materia seca (MS) no se vio afectada estadísticamente.

Tabla 4. Comparación de medias de parámetros de rendimiento en genotipos de *Portulaca oleracea* L. bajo cinco niveles de conductividad eléctrica.

Genotipos	PFR(g)	PFT(g)	PFH(g)	PFT(g)	MS(%)
cv. Cuautla	0.207 ^a ± 0.052	1.754 ^a ± 0.34	2.109 ^a ± 0.388	4.07 ^a ± 0.667	11.536 ^a ± 0.5
var. Hoja ancha	0.372 ^a ± 0.138	1.68 ^a ± 0.516	1.448 ^a ± 0.263	3.477 ^a ± 0.835	10.549 ^a ± 0.362
cv. Xochimilco	0.194 ^a ± 0.04	1.454 ^a ± 0.277	2.427 ^a ± 0.342	4.075 ^a ± 0.616	10.617 ^a ± 0.723
CE (dS m⁻¹)					
0	0.566 ^b ± 0.22	3.201 ^b ± 0.747	2.148 ^{ab} ± 0.459	5.916 ^b ± 1.249	12.146 ^a ± 0.687
4	0.229 ^{ab} ± 0.055	1.752 ^{ab} ± 0.242	3.111 ^b ± 0.459	5.092 ^b ± 0.691	10.605 ^a ± 0.314
8	0.227 ^{ab} ± 0.048	1.539 ^{ab} ± 0.446	2.178 ^{ab} ± 0.465	3.944 ^{ab} ± 0.825	11.685 ^a ± 1.039
12	0.108 ^a ± 0.028	0.832 ^a ± 0.22	1.323 ^a ± 0.335	2.263 ^a ± 0.537	10.03 ^a ± 0.484
16	0.158 ^{ab} ± 0.036	0.824 ^a ± 0.115	1.211 ^a ± 0.206	2.155 ^a ± 0.281	10.037 ^a ± 0.639

CE: Conductividad eléctrica; PFR: Peso fresco de raíz; PFT: Peso fresco de tallo; PFH: Peso fresco de hojas; PFT: Peso fresco total; MS: Materia seca. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). n = 45.

Colorimetría de *P. oleracea*

El efecto de los genotipos y la conductividad eléctrica en las variables ópticas se desglosa en la Tabla 5. Las variables a^* y h^* presentaron diferencia estadística entre genotipos; en cuanto al primer caso, el cv. Cuautla fue un 57% superior al cv. Xochimilco. Respecto al segundo, el cv. Xochimilco superó por 6% al cv. Cuautla. En cambio, la conductividad eléctrica fue significativa en todas las variables de colorimetría (excepto h^*). Las concentraciones de 4 y 8 dS m⁻¹ fueron mayores en L^* por 20 y 15% respectivamente a 16 dS m⁻¹. En la variable a^* 4 dS m⁻¹ superó por 70% a 12 dS m⁻¹. Mientras que 0 y 4 dS m⁻¹ excedieron en 18 y 20% a 16 dS m⁻¹ en la variable b^* , respectivamente. Por último, el nivel de 4 dS m⁻¹ sobrepasó por 21% a 16 dS m⁻¹ en C^* .

Tabla 5. Comparación de medias de parámetros de colorimetría en genotipos de *Portulaca oleracea* L. bajo cinco niveles de conductividad eléctrica.

Genotipos	L^*	a^*	b^*	C^*	$h^*(^\circ)$
cv. Cuautla	70.474 ^a ± 2.091	-10.484 ^b ± 1.759	49.399 ^a ± 1.904	50.833 ^a ± 2.074	101.527 ^a ± 1.766
var. Hoja ancha	69.753 ^a ± 2.249	-14.444 ^{ab} ± 1.267	49.292 ^a ± 1.931	51.497 ^a ± 2.084	106.146 ^{ab} ± 1.136
cv. Xochimilco	70.87 ^a ± 1.795	-16.464 ^a ± 1.236	53.928 ^a ± 2.201	56.551 ^a ± 2.239	107.039 ^b ± 1.136
CE(dS m⁻¹)					
0	70.484 ^{ab} ± 2.693	-12.798 ^{ab} ± 2.303	55.517 ^b ± 2.097	57.291 ^{ab} ± 2.253	102.768 ^a ± 2.166
4	77.059 ^b ± 1.758	-17.536 ^a ± 2.491	56.261 ^b ± 2.845	59.198 ^b ± 3.217	106.349 ^a ± 2.372
8	72.562 ^b ± 1.928	-15.82 ^{ab} ± 1.917	47.718 ^{ab} ± 1.742	50.47 ^{ab} ± 2.061	108.006 ^a ± 1.802
12	69.842 ^{ab} ± 2.124	-10.098 ^b ± 1.005	49.239 ^{ab} ± 2.928	50.377 ^{ab} ± 2.846	101.903 ^a ± 1.39
16	61.88 ^a ± 1.795	-12.735 ^{ab} ± 1.262	45.631 ^a ± 1.747	47.466 ^a ± 1.88	105.493 ^a ± 1.256

CE: Conductividad eléctrica. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). n = 45.

Pigmentos fotosintéticos de *P. oleracea* ante estrés salino

Los factores no presentaron diferencia significativa en este grupo de variables (Tabla 6). A pesar de que el nivel de 16 dS m⁻¹ es superior numéricamente por 35 y 31% al testigo (0 dS m⁻¹) en la concentración de clorofilas (Cl-*a* y Cl-*b*). En contraste, se observó un comportamiento inverso en la

concentración de carotenoides (Car), ya que la concentración de 0 dS m⁻¹ fue superior en alrededor de 170 - 208% en comparación con el resto de los niveles de conductividad eléctrica.

Tabla 6. Comparación de medias de variables de pigmentos en genotipos de *Portulaca oleracea* L. bajo cinco niveles de conductividad eléctrica.

Genotipos	Cl-a(μg g ⁻¹ PF)	Cl-b(μg g ⁻¹ PF)	Cl(μg g ⁻¹ PF)	Car(μg g ⁻¹ PF)
cv. Cuautla	225.512 ^a ± 24.598	122.049 ^a ± 20.519	347.561 ^a ± 39.842	72.601 ^a ± 7.621
var. Hoja ancha	221.505 ^a ± 24.078	111.549 ^a ± 17.451	333.05 ^a ± 38.008	78.504 ^a ± 12.099
cv. Xochimilco	195.29 ^a ± 25.776	142.947 ^a ± 25.619	338.237 ^a ± 48.186	77.638 ^a ± 18.172
CE (dS m ⁻¹)				
0	180.67 ^a ± 31.756	122.142 ^a ± 16.128	302.812 ^a ± 44.856	119.653 ^a ± 28.255
4	231.479 ^a ± 43.202	122.917 ^a ± 36.017	354.396 ^a ± 77.295	66.612 ^a ± 9.029
8	209.673 ^a ± 37.975	116.44 ^a ± 40.029	326.113 ^a ± 72.232	57.32 ^a ± 13.336
12	204.188 ^a ± 22.329	105.45 ^a ± 21.818	309.638 ^a ± 26.741	66.945 ^a ± 11.323
16	244.501 ^a ± 19.557	160.625 ^a ± 16.859	405.126 ^a ± 29.166	70.709 ^a ± 8.44

CE: Conductividad eléctrica; Cl-a: Clorofila a; Cl-b: Clorofila b; Cl: Clorofilas totales; Car: Carotenoides. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). n = 45.

Pigmentos no fotosintéticos en *P. oleracea*

Los genotipos y las concentraciones de conductividad eléctrica tuvieron un comportamiento homogéneo referente a cada variable de pigmentos no fotosintéticos evaluados en este estudio. En la Tabla 7 se constata que el nivel de concentración de betacianinas, betaxantinas y betalaínas no presentó diferencia significativa ($P > 0.05$). Por el contrario, los valores reportados mostraron estabilidad para cada nivel de ambos factores, lo cual se constata en el error estándar de la media, que fue relativamente bajo para cada grupo.

Tabla 7. Comparación de medias de variables de pigmentos no fotosintéticos en genotipos de *Portulaca oleracea* L. bajo cinco niveles de conductividad eléctrica.

Genotipos	Betacianinas(mg g ⁻¹ PF)	Betaxantinas(mg g ⁻¹ PF)	Betalaínas(mg g ⁻¹ PF)
cv. Cuautla	0.037 ^a ± 0.003	0.056 ^a ± 0.003	0.093 ^a ± 0.007
var. Hoja ancha	0.027 ^a ± 0.002	0.051 ^a ± 0.003	0.077 ^a ± 0.005
cv. Xochimilco	0.03 ^a ± 0.004	0.051 ^a ± 0.005	0.081 ^a ± 0.009
CE(dS m ⁻¹)			
0	0.031 ^a ± 0.004	0.057 ^a ± 0.006	0.089 ^a ± 0.01
4	0.029 ^a ± 0.004	0.054 ^a ± 0.003	0.084 ^a ± 0.006
8	0.028 ^a ± 0.003	0.047 ^a ± 0.004	0.074 ^a ± 0.007
12	0.035 ^a ± 0.003	0.055 ^a ± 0.004	0.09 ^a ± 0.007
16	0.033 ^a ± 0.007	0.049 ^a ± 0.007	0.082 ^a ± 0.014

CE: Conductividad eléctrica. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). n = 45.

Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante ABTS de *P. oleracea*

Los compuestos bioactivos: fenoles y flavonoides, así como la capacidad antioxidante ABTS, fueron evaluados en esta investigación y no hubo diferencia significativa ocasionada por el genotipo, salvo

en ABTS donde cv. Xochimilco fue inferior (Tabla 8). Lo cual indica que la respuesta genotípica se comporta similar ($P > 0.05$) independientemente del cultivar o var. Hoja ancha. En cambio, el factor conductividad eléctrica demostró significancia en fenoles y capacidad antioxidante ABTS. La acumulación de fenoles aumento gradualmente con la concentración de la conductividad eléctrica en el agua de riego, sin embargo, la diferencia estadística ocurrió entre 0 y 12 dS m⁻¹ con un aumento del 39% en este último nivel, no obstante, la diferencia entre 0 y 16 dS m⁻¹ fue mayor para el segundo por 25% a pesar de no haber significancia. Por otra parte, el ABTS presentó la mayor concentración bajo 8 dS m⁻¹, superando al resto de niveles por valores entre 2.4 - 15%.

Tabla 8. Comparación de medias de compuestos bioactivos en genotipos de *Portulaca oleracea* L. bajo cinco niveles de conductividad eléctrica.

Genotipos	Fenoles (mg AG g ⁻¹ PF)	Flavonoides (mg QE g ⁻¹ PF)	ABTS (mg Trolox g ⁻¹ PF)
cv. Cuautla	12.246 ^a ± 0.722	25.813 ^a ± 1.524	92.571 ^b ± 2.333
var. Hoja ancha	10.277 ^a ± 0.66	23.813 ^a ± 2.389	92.781 ^b ± 1.575
cv. Xochimilco	10.99 ^a ± 0.928	23.563 ^a ± 2.703	89.114 ^a ± 2.376
CE (dS m ⁻¹)			
0	9.342 ^a ± 1.109	26.443 ^a ± 2.725	93.829 ^b ± 1.163
4	11.009 ^{ab} ± 1.058	23.443 ^a ± 2.111	83.21 ^a ± 3.258
8	10.735 ^{ab} ± 0.479	23.804 ^a ± 2.672	96.21 ^c ± 1.101
12	13.009 ^b ± 1.15	22.568 ^a ± 4.75	90.448 ^b ± 3.772
16	11.761 ^{ab} ± 0.95	25.721 ^a ± 1.57	93.749 ^b ± 1.061

CE: Conductividad eléctrica. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). n = 45.

Efecto de la interacción de genotipos y la conductividad eléctrica

Como se abordó en las Tablas 1 y 2, el efecto de la interacción entre los genotipos de *P. oleracea* y los niveles de conductividad eléctrica fue altamente significativo en área foliar, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante ABTS ($P < 0.01$). Respecto al área foliar, las interacciones superiores fueron var. Hoja ancha con 0 y 4 dS m⁻¹ respectivamente, así como cv. Xochimilco bajo 4 dS m⁻¹ que presentaron diferencias de 600%, 464% y 531% en contraste a cv. Xochimilco con 0 dS m⁻¹ (Tabla 9).

En el caso de los flavonoides, los genotipos presentaron patrones de respuesta distintos en relación con la conductividad eléctrica. El cv. Cuautla presentó mayor síntesis de estos compuestos en los extremos (0 y 16 dS m⁻¹) en comparación con la dosis central de 8 dS m⁻¹. En cambio, en la var. Hoja ancha, incrementó progresivamente la concentración de flavonoides conforme aumento la conductividad eléctrica en el agua de riego, ya que los valores de 0 y 4 dS m⁻¹ representan entre el 44 y 52% de la concentración encontrada bajo 12 y 16 dS m⁻¹. Mientras que el cv. Xochimilco tuvo efecto hasta 8 dS m⁻¹, para luego disminuir la acumulación de flavonoides bajo 12 y 16 dS m⁻¹ por 656 y 36%, correspondientemente.

Los fenoles presentaron diferencia estadística entre cv. Xochimilco a 12 dS m⁻¹ y cv. Cuautla bajo 12 y 16 dS m⁻¹, con concentraciones mayores en aproximadamente 220% a var. Hoja ancha con 0 dS m⁻¹. Por último, el ABTS se comportó estable en el cv. Cuautla, sin embargo, decreció significativamente bajo 12 dS m⁻¹ en 22% en comparación con 0 y 16 dS m⁻¹. La var. Hoja ancha se

vio afectada a 4 dS m⁻¹, lo que desencadenó en mayor concentración una disminución a 8 dS m⁻¹ (16%) que decreció en los niveles extremos de la conductividad eléctrica. Similarmente, el cv. Xochimilco presentó un patrón de respuesta con menor ABTS en 4 dS m⁻¹, para luego continuar incrementando por 26, 35 y 29% en presencia de 8, 12 y 16 dS m⁻¹ respectivamente.

Tabla 9. Efecto de la interacción de genotipos de *P. oleracea* * y la conductividad eléctrica en variables con diferencia estadística.

Genotipo	CE (dS m ⁻¹)	Área foliar (cm ²)	Flavonoides (mg QE g ⁻¹ PF)	Fenoles (mg AG g ⁻¹ PF)	ABTS (mg Trolox g ⁻¹ PF)
cv. Cuautla	0	1.396 ^{ab} ± 0.217	33.137 ^f ± 0.402	10.05 ^{abc} ± 1.14	97.924 ^{ef} ± 0.312
var. Hoja ancha	0	3.1 ^b ± 0.481	15.89 ^{bc} ± 1.78	5.821 ^a ± 0.245	93.352 ^{bcd} ± 0.579
cv. Xochimilco	0	0.517 ^a ± 0.0104	30.304 ^{ef} ± 0.435	12.15 ^{abc} ± 1.73	90.21 ^{bc} ± 0.858
cv. Cuautla	4	1.522 ^{ab} ± 0.477	25.55 ^{cdef} ± 1.02	12.59 ^{abc} ± 2.88	94.162 ^{cde} ± 0.265
var. Hoja ancha	4	2.403 ^b ± 0.604	15.429 ^b ± 0.15	11.94 ^{abc} ± 0.253	83.21 ^{ab} ± 2.19
cv. Xochimilco	4	2.75 ^b ± 1.24	29.34 ^{def} ± 0.798	8.487 ^{ab} ± 0.445	72.26 ^a ± 1.59
cv. Cuautla	8	1.849 ^{ab} ± 0.524	16.1 ^{bc} ± 1.09	11.13 ^{abc} ± 1.04	97.829 ^{ef} ± 0.787
var. Hoja ancha	8	1.866 ^{ab} ± 0.214	22.51 ^{bcd} ± 3.66	11.71 ^{abc} ± 0.378	98.829 ^f ± 0.36
cv. Xochimilco	8	1.308 ^{ab} ± 0.596	32.804 ^f ± 0.15	9.359 ^{abc} ± 0.112	91.971 ^{bc} ± 0.297
cv. Cuautla	12	2.047 ^b ± 0.36	27.09 ^{def} ± 0.182	12.718 ^{bc} ± 0.882	75.4 ^a ± 0.33
var. Hoja ancha	12	1.163 ^{ab} ± 0.012	35.26 ^f ± 5.58	10.46 ^{abc} ± 0.627	98.114 ^{ef} ± 0.378
cv. Xochimilco	12	1.532 ^{ab} ± 0.349	5.346 ^a ± 0.651	15.85 ^c ± 2.72	97.829 ^{ef} ± 0.825
cv. Cuautla	16	1.692 ^{ab} ± 0.326	27.18 ^{def} ± 1.76	14.744 ^{bc} ± 0.688	97.543 ^{def} ± 0.66
var. Hoja ancha	16	1.358 ^{ab} ± 0.188	29.971 ^{ef} ± 0.22	11.44 ^{abc} ± 1.23	90.4 ^{bc} ± 0.378
cv. Xochimilco	16	1.917 ^{ab} ± 0.262	20.013 ^{bcd} ± 0.26	9.103 ^{abc} ± 0.9	93.305 ^{bcd} ± 0.126

CE: Conductividad eléctrica. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). n = 45.

Correlación de Spearman

En la Figura 3 se presenta la correlación de Spearman (r_s) entre las variables evaluadas, y la conductividad eléctrica. Cabe resaltar que, a medida que incrementa la intensidad del tono, ya sea rojizo o azul, significa que la relación entre variables es mayor; ahora bien, los recuadros en color blanco señalan relaciones nulas o bajas. Además, la significancia se representa con asteriscos, como se desglosa en el pie de la figura. La conductividad eléctrica, tiene una correlación negativa con la acumulación de biomasa, ya que afectó la altura de planta (AP) ($r_s = -0.6$, $P < 0.001$) con la explicación del 36% de la varianza y limitó el peso fresco total (PFT) ($r_s = -0.511$, $P < 0.001$) con R^2 de 26%. También, la salinidad se asoció de forma negativa con L^* (-0.425 , $P < 0.01$), b^* ($r_s = -0.504$) y C^* (-0.502), ambas con $P < 0.001$. Pero tuvo una correlación positiva con los fenoles ($r_s = 0.304$, $P < 0.05$). También se detectó relación significativa para a^* ante betacianinas (BTC) ($r_s = 0.301$, $P < 0.05$); al igual que entre h^* y clorofilas totales (CIT) ($r_s = 0.312$). Mientras que los indicadores de colorimetría se asociaron con parámetros bioquímicos, como C^* frente a ABTS ($r_s = -0.544$, $P < 0.001$) y h^* en contraste a betacianinas (BTC) ($r_s = -0.384$, $P < 0.01$). Entre compuestos bioquímicos la asociación de clorofilas totales (CIT) y betaxantinas (BTX) ($r_s = -0.373$, $P < 0.01$), junto a flavonoides (FLA) y materia seca (MS) ($r_s = 0.428$, $P < 0.01$).

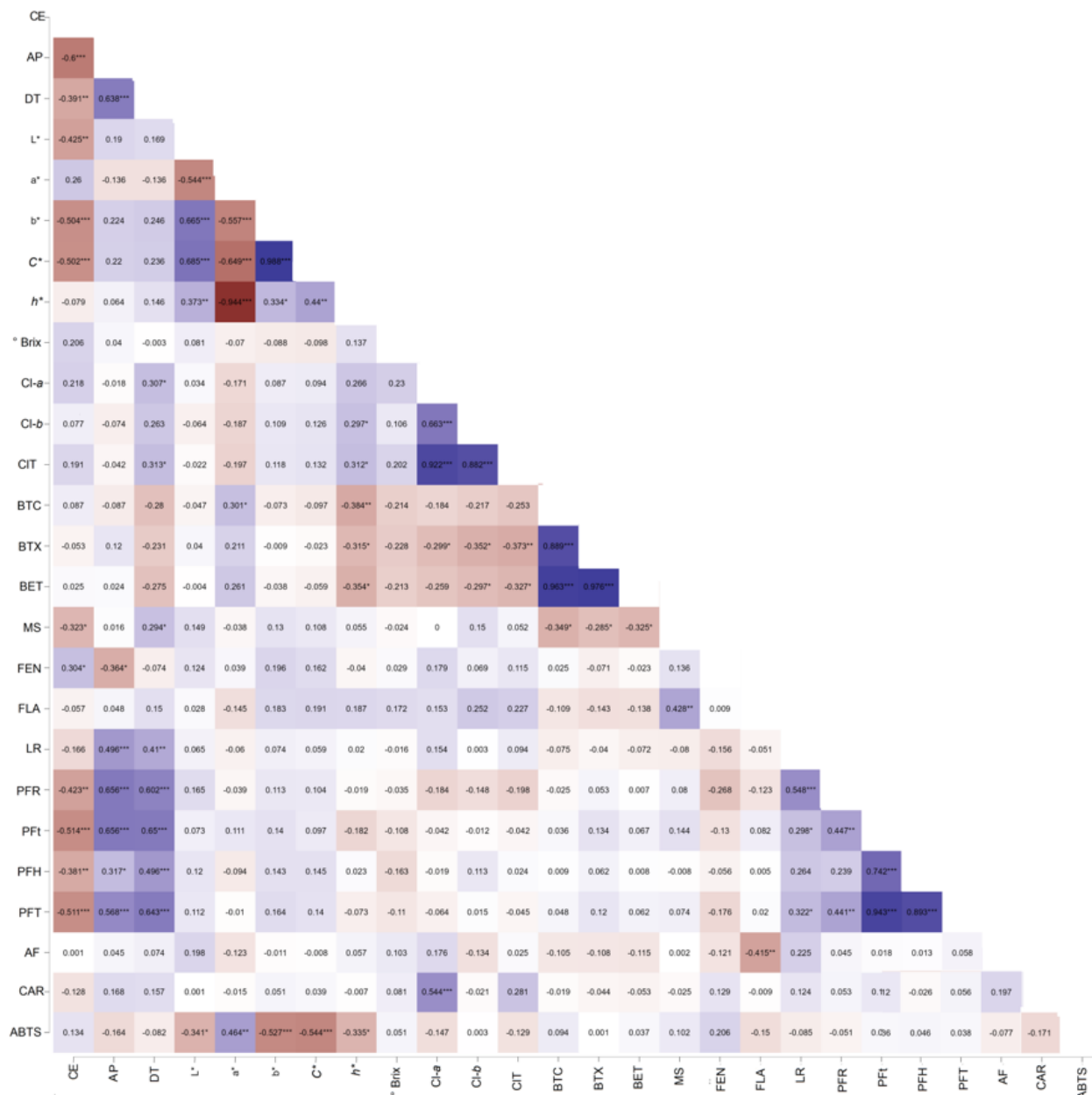


Figura 3. Correlograma de la correlación de Spearman (r_s). Donde CE: Conductividad eléctrica; AP: Altura de planta; DT: Diámetro de tallo; C*: Cromo; h*: Tono; Cl-a: Clorofila

DISCUSIÓN

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) expuso la respuesta holística de los genotipos de *P. oleracea* ante los niveles de conductividad eléctrica. Este análisis exploratorio fue útil para visualizar la relación entre las variables evaluadas, donde se interpreta la dirección de la respuesta (Hnilickova *et al.* 2021). Sin embargo, en esta investigación no se observó una discriminación específica entre genotipos, contrario a Borsai *et al.* (2020), quienes reportaron patrones de

comportamiento distintos entre dos genotipos de *P. oleracea* en condiciones salinas. Por lo tanto, se puede atribuir que hay distintos niveles de tolerancia a estresores abióticos según el genotipo, dependiendo de las condiciones del suelo y del clima en las que se ha desarrollado anteriormente (Camalle *et al.* 2020; Hnilickova *et al.* 2021).

Por otra parte, el agrupamiento de los parámetros evaluados según las concentraciones de conductividad eléctrica suministradas durante este experimento demostró una marcada distancia entre el tratamiento control y las dosis de 12 y 16 dS m⁻¹ (Figura 2). Es decir, los niveles de salinidad inducen una variabilidad numérica que se confirma mediante los análisis de varianza. Mientras tanto, los niveles de 4 y 8 dS m⁻¹ presentan un área de transición con respecto al resto de concentraciones de conductividad eléctrica, al igual que hallazgos de Hnilickova *et al.* (2021), quienes muestran un ACP con 10 dS m⁻¹ como zona intermedia entre 0 y 30 dS m⁻¹. Esto ocurre ya que los impactos del estrés salino tienden a generar respuestas no lineales (He *et al.* 2021).

Morfología y rendimiento de *P. oleracea*

La *P. oleracea* enfrentó disminución en su desarrollo con el incremento de la conductividad eléctrica; esto se reflejó en una disminución en la altura de planta ($r_s = -0.6$) y diámetro de tallo ($r_s = -0.4$) a partir de 8 y 12 dS m⁻¹, consecutivamente, lo cual es similar a Hassanpouraghdam *et al.* (2022), que señalaron el mismo fenómeno bajo 10 dS m⁻¹. Contrariamente, Guevara-Olivar *et al.* (2024) determinaron que el diámetro de tallo de una variedad local de *P. oleracea* ubicada en suelos salinos disminuye a partir de 50 dS m⁻¹, mientras que la altura no se afectó; porque, durante condiciones adversas, la planta induce la síntesis de metabolitos secundarios para contrarrestar el estrés oxidativo ocasionado por la salinidad (He *et al.* 2021).

La inhibición de crecimiento en especies vegetales repercute en la acumulación de biomasa. En este estudio se observó afectación significativa del peso fresco del cultivo a partir de 12 dS m⁻¹, ya que 12 y 16 dS m⁻¹ representaron únicamente el 38 y 34% del peso fresco total por planta en comparación con el tratamiento control, respectivamente. Esto se vio impulsado por la reducción de biomasa en hojas y tallos (Tabla 4); similarmente, Samet y Çikılı (2019) encontraron mayor rendimiento bajo 0 dS m⁻¹ en comparación con 10 dS m⁻¹; asimismo, Kafi y Rahimi (2011) señalaron que la materia seca aérea de *P. oleracea* bajo 12 dS m⁻¹ representó 57% respecto al control (0 dS m⁻¹). Además, Hassanpouraghdam *et al.* (2022) mencionaron que, a medida que aumentó la conductividad eléctrica (0, 5 y 10 dS m⁻¹) en el agua de riego, se redujo el rendimiento. Mientras que Bekmirzaev *et al.* (2021) indicaron que la acumulación de biomasa disminuyó un 33% en concentraciones superiores a 20 dS m⁻¹ en comparación con el control. Estos hallazgos son similares a los de Borsai *et al.* (2020), quienes determinaron que el peso fresco disminuye en presencia de 20 y 30 dS m⁻¹ para *P. oleracea* subsp. *oleracea* y *P. oleracea* "Toucan Scarlet Chase", respectivamente.

En cambio, He *et al.* (2021) reportaron mayor rendimiento en parte aérea y de raíz bajo 10 dS m⁻¹ equivalentes de NaCl en contraste con 0, 20 y 30 dS m⁻¹. Los autores mencionan que algunas halófilas facultativas requieren de cierto grado de salinidad para maximizar su potencial productivo; sin embargo, no hay más evidencia reciente que soporte esto hasta el alcance de esta investigación. Otro factor que puede repercutir en el rendimiento en condiciones de sustrato heterogéneo es la relación entre NO₃-NH₄, fenómeno que interactúa con la salinidad presente en el medio (Camalle *et al.* 2020). No obstante, también la interacción entre el genotipo, la temperatura

y la radiación puede ser determinante (Hassanpouraghdam *et al.* 2022). Ahora bien, en condiciones de estrés salino, la planta redirige energía y recursos hacia sus mecanismos de defensa; por ende, reduce su crecimiento y acumulación de biomasa debido al costo energético asociado al ajuste osmótico y la eventual limitación de la actividad fotosintética (Xing *et al.* 2019, Borsai *et al.* 2020).

Finalmente, según la literatura, la *P. oleracea* pierde potencial productivo bajo distintos niveles de NaCl o conductividad eléctrica. Por lo tanto, se carece de un umbral económico ante salinidad. Ya que el peso fresco comienza a disminuir a niveles $>7.5 \text{ dS m}^{-1}$, o incluso hasta 50 dS m^{-1} (Franco *et al.* 2011, Guevara-Olivar *et al.* 2024).

Colorimetría de *P. oleracea* ante estrés salino

Las variables CIE $L^*a^*b^*$ en plantas indican presencia de estrés mediante cambios en alguna de las coordenadas de color; así, se posibilita la recolección de datos asequiblemente mediante técnicas no destructivas (Orlando-Guerrero *et al.* 2023, Bodor-Pesti *et al.* 2024). Al mismo tiempo determinan el atractivo visual de productos procesados i.e., *P. oleracea* deshidratada (Karaaslan *et al.* 2013).

En nuestros resultados, se encontró una asociación negativa entre b^* ($r_s = -0.504$) y C^* (-0.502) con respecto a la salinidad. Este hallazgo se puede atribuir al estrés osmótico, el cual limita el transporte de nutrientes según Won *et al.* (2025); en consecuencia, la intensidad del amarillo decrece en *P. oleracea*. En cambio, Won *et al.* (2025) identificaron que conforme aumenta la intensidad de tonos verdes incrementa el peso fresco de lechuga.

Por lo tanto, el estudio de CIE $L^*a^*b^*$ requiere de calibración por genotipo. Como es el caso de esta investigación, ya que existen diferencias entre genotipos (cv. Cuautla vs. cv. Xochimilco) de la misma especie; además, nuestros resultados contrastan con Youssef y Mokhtar (2014), quienes mostraron valores inferiores para L^* (35.90) y b^* (9.51), mientras a^* superó lo reportado en este estudio (-4.89). El ambiente en el que se desarrolla la especie es determinante, ya que las condiciones meteorológicas, la nutrición y factores de estrés pueden repercutir en la salud y desarrollo del cultivo. La Comarca Lagunera suele presentar veranos cálidos (hasta 40°C) y radiación solar ($50 \text{ mol m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) de la más alta en el mundo, por lo que especies sin adaptación pueden padecer estrés y demostrarlo visualmente a través de las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ (Lee *et al.* 2022, Lugo-Palacios *et al.* 2026).

Pigmentos fotosintéticos en *P. oleracea* ante estrés salino

El contenido de clorofila a y b es un indicador de salud en la *P. oleracea* (Shanmugam *et al.* 2018). Según Hassanpouraghdam *et al.* (2022), el decrecimiento de las clorofilas estuvo acompañado de menor peso fresco entre concentraciones estimadas de 0, 5 y 10 dS m^{-1} . Esto concuerda con He *et al.* (2021), autores que enfrentaron reducciones de clorofila total y carotenoides en concentraciones superiores a 20 dS m^{-1} . Pero, durante esta investigación no se afectaron las concentraciones de clorofila ni carotenoides a pesar de encontrarse una disminución del rendimiento, lo cual coincide con Guevara-Olivar *et al.* (2024), quienes reportaron que la clorofila total y la clorofila-a no presentaron diferencias significativas, salvo la clorofila-b, que decreció bajo 25 dS m^{-1} y se mantuvo estable hasta 100 dS m^{-1} . Adicionalmente, Kafi y Rahimi (2011) señalaron valores de SPAD sin variaciones bajo niveles equivalentes a 0, 12 y 24 dS m^{-1} . Si bien los carotenoides totales y las clorofilas pueden verse afectados por el estrés salino, podría ser más informativo evaluar la tasa de

asimilación neta de CO₂ en lugar de la concentración de pigmentos, ya que esto señala si existe o no una reducción en la actividad fotosintética en esta especie (Xing *et al.* 2019). La salinidad puede afectar la producción de pigmentos fotosintéticos al interactuar con la luz y la relación de NO₃ - NH₄, dependiendo del genotipo de *P. oleracea* (Camalle *et al.* 2020; He *et al.* 2021). En este sentido, hay métodos que pueden incrementar la defensa metabólica de la planta, como el uso de nanopartículas de CeO₂:SA o la bioinoculación de hongos micorrízicos (HMA) como *Claroideoglomus claroideum* o *Funneliformis mosseae* (Hassanpouraghdam *et al.* 2022, Hristozkova *et al.* 2025).

Pigmentos no fotosintéticos de *P. oleracea*

Las betalainas son pigmentos no fotosintéticos que se caracterizan por brindar tonalidades entre amarillo-naranja en presencia de betaxantinas, o bien, rojo-violeta cuando predominan las betacianinas. Dichos pigmentos tienen función estabilizadora ante radicales libres y protegen de la radiación ultravioleta (Wruss *et al.* 2015). Por ende, se ha encontrado en la literatura que el incremento de especies reactivas de oxígeno tiende a incrementar la síntesis de las betalainas (Mulry *et al.* 2015). Lo cual no ocurrió en este experimento bajo condiciones salinas. No obstante, las concentraciones de betacianinas reportadas durante esta investigación coinciden con Hristozkova *et al.* (2025), quienes estimaron niveles de 0.037 mg g⁻¹ PF en tratamiento control; por el contrario, los niveles de nuestro experimento duplicaron los 0.030 mg g⁻¹ PF de betaxantinas señaladas por dichos autores.

Es posible que los mecanismos de defensa ante condiciones adversas sean distintos dependiendo del genotipo. Mulry *et al.* (2015) indican que la producción de compuestos antioxidantes con menos de 20 dS m⁻¹ varía según la variedad de *P. oleracea*. La variedad T-16 produce más prolina, mientras que la variedad WI-9 se enfoca en acumular betacianinas. Sin embargo, los valores que presentaron en el tratamiento control (0 dS m⁻¹) muestran acumulación de 0.04 mg g⁻¹ para betacianinas y 0.06 mg g⁻¹ para betaxantinas en ambas variedades. Por lo que puede ser posible que los genotipos estudiados durante este experimento no empleen la síntesis de betalainas como respuesta primaria durante el estrés salino ocasionado por los niveles de conductividad eléctrica aplicados. Por otra parte, Shanmugam *et al.* (2018) determinaron que el estrés por aplicación de herbicidas incrementó la síntesis de betalainas con respecto al control; al igual que Hristozkova *et al.* (2025), que encontraron que la adición de HMA puede aumentar o disminuir la acumulación de betacianinas y betaxantinas según la asociación hongo-planta.

Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante ABTS de *P. oleracea*

El contenido de flavonoides no demostró variaciones significativas entre las concentraciones de conductividad eléctrica suministradas en este estudio. En cambio, la máxima concentración de fenoles se presentó bajo 12 dS m⁻¹. Estos hallazgos encuentran similitud con Hassanpouraghdam *et al.* (2022), quienes señalaron un incremento significativo en la producción de fenoles y flavonoides conforme aumenta la conductividad eléctrica estimada (0, 5 y 10 dS m⁻¹). Además, Borsai *et al.* (2020) reportaron niveles superiores de fenoles en 20 dS m⁻¹ en contraste con 0 y 10 dS m⁻¹ equivalentes. Contrariamente, He *et al.* (2021) presentaron una reducción significativa de fenoles totales a partir de 20 dS m⁻¹. Mulry *et al.* (2015) no encontraron diferencias entre 0 y 20 dS m⁻¹, sin embargo, sí hubo

una interacción significativa entre el genotipo y la conductividad eléctrica. La variedad WI-9 no mostró cambios con el aumento de la salinidad, mientras que la T-16 sí disminuyó.

Los fenoles y flavonoides actúan como antioxidantes que disminuyen el estrés oxidativo generado por el estrés abiótico; por ende, ambos intervienen directamente en la capacidad antioxidante de la *P. oleracea* (Youssef y Mokhtar 2014, Borsai *et al.* 2020). No obstante, la prueba ABTS puede arrojar diferencias entre genotipos, como se constata en la Tabla 8. Ya que la síntesis de estos compuestos como mecanismos de defensa depende de la expresión génica y el impacto del ambiente en el que se encuentra el material vegetal (He *et al.* 2021). Adicionalmente, la aplicación foliar de CeO₂:SA o la bioinoculación de HMA puede contrarrestar el estrés abiótico mediante el aumento en la síntesis de fenoles y flavonoides en *P. oleracea* (Hassanpouraghdam *et al.* 2022, Hristozkova *et al.* 2025). Ahora bien, la respuesta del genotipo (*P. oleracea* subsp. *oleracea* y *P. oleracea* “Toucan Scarlet Chase”) puede diferir significativamente ante la conductividad eléctrica del medio (Borsai *et al.* 2020). Este comportamiento puede estar influenciado por una respuesta coordinada con el sistema antioxidante enzimático, el cual se ha demostrado que aumenta en presencia de estresores abióticos, *i.e.*, salinidad o herbicidas, para luego disminuir temporalmente debido a exposición prolongada al estresor y el agotamiento del sistema de defensa (Shanmugam *et al.* 2018, Xing *et al.* 2019).

CONCLUSIONES

Los genotipos de *P. oleracea* evaluados, cv. Cuautla, cv. Xochimilco y var. Hoja ancha no mostraron diferencias significativas entre sí; no obstante, la conductividad eléctrica ocasionada por NaCl actuó como un factor determinante que redujo la morfología de la planta y su rendimiento a partir de 12 dS m⁻¹. El análisis multivariado confirmó que esta especie mitiga el estrés salino mediante la activación de la síntesis de fenoles como mecanismo de defensa, lo cual se manifestó en las variables colorimétricas, sugiriendo su potencial como indicadores de estrés oxidativo. Por lo tanto, los genotipos estudiados pueden ser viables para aprovechamiento en la región laguna considerando su tolerancia al estrés salino. No obstante, el efecto de otros factores abióticos como el estrés hídrico requiere de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de doctorado del primer autor. Asimismo, hacia la Universidad Juárez del Estado de Durango y al PIDCAF. Con dedicatoria especial para María de Jesús Campos Sifuentes, Guillermo Palacios Gómez, María Luisa Ruiz Gómez y Arturo Lugo de Alba, participantes ideológicos de esta línea de investigación, con amor, Aaron.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Arslan AK, Tunç Z, Çolak C (2019) An open sourced software for data transformation and an application on simulated data. International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium: 1–6. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2019.8875876>
- Aubad-López P, Rojano B, Echeverri T (2007) Actividad antioxidante en musgos. *Scientia Et Technica* 13(33): 23–26.
- Baghban AA, Younespour S, Jambarsang S, Yousefi M, Zayeri F, Jalilian FA (2013) How to test normality distribution for a variable: A real example and a simulation study. *Archives of Advances in Biosciences* 4(1): 73–77. <https://doi.org/10.22037/jps.v4i1.3974>
- Bekmirzaev G, Ouddane B, Beltrao J, Khamidov M, Fujii Y, Sugiyama A (2021) Effects of salinity on the macro- and micronutrient contents of a halophytic plant species (*Portulaca oleracea* L.). *Land* 10(5): 481. <https://doi.org/10.3390/land10050481>
- Bodor-Pesti P, Taranyi D, Vértés G, Fazekas I, Nyitrai Sárdy DÁ, Deák T, Varga Z, Baranyai L (2024) Smartphone-based leaf colorimetric analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) genotypes. *Horticulturae* 10(11): 11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111179>
- Borsai O, Hassan MA, Negrușier C, Raigón MD, Boscaiu M, Sestraș RE, Vicente O (2020) Responses to salt stress in *portulaca*: insight into its tolerance mechanisms. *Plants* 9(12): 1660. <https://doi.org/10.3390/plants9121660>
- Brown MB, Forsythe AB (1974) Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association* 69(346): 364–367. <https://doi.org/10.2307/2285659>
- Camalle M, Standing D, Jitan M, Muhaisen R, Bader N, Bsoul M, Ventura Y, Soltabayeva A, Sagi M (2020) Effect of salinity and nitrogen sources on the leaf quality, biomass, and metabolic responses of two ecotypes of *Portulaca oleracea*. *Agronomy* 10(5): 656. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050656>
- Cauich-Kau D, Castro-Larragoitia J, Cardona Benavides A, García-Arreola ME, García-Vargas G. G (2025) An adapted groundwater quality index including toxicological critical pollutants. *Groundwater for Sustainable Development* 28: 101401. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101401>
- CONAGUA (2026) Normales climatológicas mensuales. Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Mensuales/coah/mes05185.txt. Fecha de consulta: 01 noviembre del 2025.
- CONAZA (2022) Restauración de zonas áridas y semiáridas con pastos nativos. Comisión Nacional de Zonas Áridas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/831870/Pasto_Banderita_Documento_Conceptual.pdf. Fecha de consulta: 01 enero del 2026.
- Correa-Islas JJ, Romero-Padilla JM, Pérez-Rodríguez P, Vázquez-Alarcón A (2023) Application of geostatistical models for aridity scenarios in northern Mexico. *Atmósfera*, 37: 233–244. <https://doi.org/10.20937/atm.53103>
- Egamberdieva D, Ma H, Shurigin V, Alimov J, Wirth S, Bellingrath-Kimura SD (2022) Biochar additions alter the abundance of p-cycling-related bacteria in the rhizosphere soil of *Portulaca oleracea* L. under salt stress. *Soil Systems* 6(3): 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6030064>
- FAO (2024) Global status of salt-affected soils. Food and agriculture Organización. Roma, Italia. 240 p. <https://doi.org/10.4060/cd3044en>. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2025.
- Franco JA, Cros V, Vicente MJ, Martínez-Sánchez JJ (2011) Effects of salinity on the germination, growth, and nitrate contents of purslane (*Portulaca oleracea* L.) cultivated under different climatic conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86(1): 1–6. <https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512716>

- Getman-Pickering ZL, Campbell A, Aflitto N, Grele A, Davis JK, Ugine TA (2020) LeafByte: A mobile application that measures leaf area and herbivory quickly and accurately. *Methods in Ecology and Evolution* 11(2): 215–221. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13340>
- Guevara-Olivar BK, Gómez-Merino FC, Ruíz-Posadas LM, Fernández-Pavía YL, Escalante-Estrada JA, Trejo-Téllez LI (2024) Morphological, biochemical and nutritional variations in a Mexican purslane (*Portulaca oleracea* L.) variety exposed to salt stress during the vegetative stage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 52(2): 13434–13434. <https://doi.org/10.15835/nbha52213434>
- Hassanpouraghdam MB, Vojodi Mehrabani L, Bonabian Z, Aazami MA, Rasouli F, Feldo M, Strzemiński M, Dresler S (2022) Foliar application of cerium oxide-salicylic acid nanoparticles (ceo2:sa nanoparticles) influences the growth and physiological responses of *Portulaca oleracea* L. under salinity. *International Journal of Molecular Sciences* 23(9): 5093. <https://doi.org/10.3390/ijms23095093>
- He J, You X, Qin L (2021) High salinity reduces plant growth and photosynthetic performance but enhances certain nutritional quality of c4 halophyte *Portulaca oleracea* L. grown hydroponically under LED lighting. *Frontiers in Plant Science* 12:651341. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.651341>
- Hnilickova H, Kraus K, Vachova P, Hnilicka F (2021) Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants* 10(5): 845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
- Hristozkova M, Valkova K, Geneva M (2025) Mycorrhizal fungi modulate the development and composition of purslane (*Portulaca oleracea* L.) bioactive compounds. *Agriculture* 15(13): 1458. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131458>
- INIFAP-CIRNOC (2026). Inifap Región Norte Centro. Inifap-Norte Centro. https://www.inifap-nortecentro.gob.mx/direccion_norte_centro.php. Fecha de consulta: 16 de abril de 2026.
- Ivushkin K, Bartholomeus H, Bregt AK, Pulatov A, Kempen B, de Sousa L (2019) Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment* 231: 111260. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111260>
- JASP (2025) JASP Versión 0.95.3. JASP TEAM, Amsterdam, Países Bajos. <https://jasp-stats.org/> Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2025.
- Kafi M, Rahimi Z (2011) Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition* 57(2): 341–347. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.567398>
- Karaaslan S, Erdem T, Oztekin S, Erdem T, Karaaslan S (2013) Mathematical modelling and color characteristics of purslane (*Portulaca oleraceae* L.) leaves using different drying methods. *Philippine Agricultural Scientist* 96(3).
- Lee JH, Kim HB, Nam SY (2022) Evaluation of the growth and leaf color of indoor foliage plants under high temperature and continuous lighting conditions at different light intensity. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences* 34(1): 26–36. <https://doi.org/10.22698/jales.20220004>
- Lugo-Palacios AD, Rueda-Puente EO, Montoya-García CO, Orona-Castillo I, Nava-Camberos U, García-Hernández JL (2026) Agro-climatic suitability of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under abiotic stress in semiarid—arid zone in north america. *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 95(1): 14. <https://doi.org/10.32604/phyton.2025.075449>
- Minitab (2020) Minitab Versión 20. Minitab LLC, Pensilvania, Estados Unidos. <https://www.minitab.com>. Fecha de consulta: 1 de enero de 2026.
- Montoya-García CO, García-Mateos R, Becerra-Martínez E, Toledo-Aguilar R, Volke-Haller V H, Magdaleno-Villar J (2023) Bioactive compounds of purslane (*Portulaca oleracea* L.) according to the production system: A review. *Scientia Horticulturae* 308: 111584. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111584>
- Mulry KR, Hanson BA, Dudle DA (2015) Alternative strategies in response to saline stress in two varieties of *Portulaca oleracea* (Purslane). *Plos One* 10(9): e0138723. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138723>

- Nayek S, Choudhury I, Haque Jaishee N, Roy S (2014) Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Research Journal of Chemical Sciences* 4(9): 2231–2606. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1340072>
- Orlando-Guerrero IJ, Ruiz U, Loeza-Corte JM, Hernández-Paxtían ZJ (2023) Procedimiento para obtener modelos lineales de cinética de color en frutas. *Computación y Sistemas* 27(1): 99–106. <https://doi.org/10.13053/cys-27-1-4242>
- Procida A, Honeychurch KC (2022) Smartphone-based colorimetric determination of gamma-butyrolactone and gamma-hydroxybutyrate in alcoholic beverage samples. *Journal of Forensic Sciences* 67(4): 1697–1703. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15042>
- Rebekić A, Lončarić Z, Petrović S, Marić S (2015) Pearson's or spearman's correlation coefficient - which one to use? *Poljoprivreda* 21(2): 47–54. <https://doi.org/10.18047/poljo.21.2.8>
- Rodríguez-Ríos EA, Cardoza-Martínez GF, Alonzo-Rojó F, Valenzuela-García AA, Álvarez-Zagoya R, Estrada-Arellano JR (2024) Nuevo registro del género *Isonychia* (Ephemeroptera: Isonychiidae) en México y datos de parámetros del agua. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 11(1): e3941. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3941>
- Ryabkov S (2025) BRICS and the challenges of the international system ahead. *Insight Turkey* 27(1): 63–73. <https://doi.org/10.25253/99.2025271.5>
- Samet H, Çikili Y (2019) Response of purslane (*Portulaca oleracea* L.) to excess boron and salinity: physiological approach. *Russian Journal of Plant Physiology* 66(2): 316–325. <https://doi.org/10.1134/S1021443719020110>
- Santamaría-César J, Figueroa-Viramontes U, Medina-Morales MC (2004) Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* 22(3): 343–349.
- Shanmugam L, Chambhare D, Kadlag S, Ahire M, Nikam T (2018) Herbicide effects on pigments and antioxidant enzymes of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(1): 2024–2031.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1999) [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: *Methods in Enzymology*. Elsevier. Estados Unidos. pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Won HS, Lee E, Lee S, Nam JH, Jung J, Cho Y, Evert T, Kan N, Kim S, Kim DS (2025) Image analysis using smartphones: Relationship between leaf color and fresh weight of lettuce under different nutritional treatments. *Frontiers in Plant Science* 16: 1589825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1589825>
- Wruss J, Waldenberger G, Huemer S, Uygun P, Lanzerstorfer P, Lanzerstorfer U, Höglinger O, Weghuber J (2015) Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in upper austria. *Journal of Food Composition and Analysis* 42: 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.03.005>
- Xing JC, Dong J, Wang MW, Liu C, Zhao BQ, Wen ZG, Zhu XM, Ding HR, Zhao XH, Hong LZ (2019) Effects of NaCl stress on growth of *Portulaca oleracea* and underlying mechanisms. *Brazilian Journal of Botany* 42(2): 217–226. <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00526-1>
- Youssef KM, Mokhtar SM (2014) Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of *Portulaca oleracea* L. leaves. *Journal of Nutrition & Food Sciences* 04(06): 1000322. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000322>
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* 64(4): 555–559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)