

Efecto de la salinidad y nitrógeno inorgánico del suelo en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Lycium berlandieri*

Effect of salinity and inorganic nitrogen of soils in phenols compounds and antioxidant capacity of *Lycium berlandieri*

Rubén Farías Tapia¹, Martha Patricia Olivas Sánchez¹, Juan Pedro Flores Margez¹,
Nina del Rocío Martínez Ruiz¹ y Emilio Alvarez Parrilla^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Depto. de Ciencias Químico Biológicas. Av. Benjamín Franklin, Alfa. 32310 Cd. Juárez, Chihuahua, México.

* Autor responsable (ealvarez@uacj.mx)

RESUMEN

Los compuestos fenólicos son compuestos antioxidantes inocuos de las plantas, cuyas concentraciones pueden variar entre plantas de la misma especie cultivadas en diferentes zonas geográficas, debido a que las plantas producen estos compuestos para protegerse contra el estrés oxidativo a consecuencia de los factores ambientales que le pudieran afectar. La presente investigación tuvo como objetivos determinar la composición proximal, la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en frutos de *Lycium berlandieri* colectados en las tres localidades del municipio Juárez, Chihuahua (Riveras del Bravo, San Isidro y San Agustín), con la finalidad de evaluar el efecto del contenido de nitrógeno inorgánico, alcalinidad y salinidad del suelo de los sitios de colecta de los frutos de *L. berlandieri* con el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides totales. El contenido de humedad en los frutos de *L. berlandieri* se ubicó entre 78.2 a 93.3%; la composición proximal del fruto en peso seco indicó un contenido de cenizas de 3.6 a 5.3%, en grasas de 0.9 a 6.7%, en proteínas de 9.0 a 15.4% y de 75.2 a 85.7% en carbohidratos totales. En compuestos fenólicos en peso seco, los frutos provenientes de San Agustín mostraron la mayor concentración de estos compuestos, particularmente en fenoles totales 12.82 mg EAG ($P = 0.002$) y 9.02 mg EC en flavonoides ($P = 0.001$). Los resultados del análisis de suelo indicaron que el suelo de San Agustín tiene una mayor concentración de nitratos (88.51 mg kg⁻¹) y un suelo más salino

(6.04 dS m⁻¹). En conjunto los resultados obtenidos permiten atribuir que las diferencias de concentración de los compuestos fenólicos en los frutos de *L. berlandieri*, está correlacionado con la salinidad del suelo y la disponibilidad de nitratos, por lo que el suelo de San Agustín en Ciudad Juárez, Chihuahua es óptimo para el cultivo de *L. berlandieri*.

Palabras clave: fenoles totales, flavonoides, composición proximal, nitrato, salinidad.

SUMMARY

Polyphenolic compounds are antioxidant compounds present mainly in plants. Concentrations may differ in the same species located at different growing points since plants produce these compounds for protection against oxidative stress as a result of environmental factors that could affect them. This study determined the proximate composition, the concentration of polyphenolic compounds and the antioxidant activity in fruits of *Lycium berlandieri* collected in the three locations of the municipality of Juárez, Chihuahua (Riveras del Bravo, San Isidro and San Agustín), with the aim of evaluating the effect of inorganic nitrogen, alkalinity and salinity of the soil on the content of total phenolic and flavonoids compounds. The moisture content in the fruits of *L. berlandieri* ranged from 78.2 to 93.3%; the proximal composition of the fruit in dry weight indicated ash content of 3.6 to 5.3%, fats 0.9 to 6.7%, protein 9.0 to 15.4% and total carbohydrates 75.2 to 85.7%. In terms of polyphenolic

Cita recomendada:

Farías Tapia, R., M. P. Olivas Sánchez, J. P. Flores Margez, N. R. Martínez Ruiz y E. Alvarez Parrilla. 2019. Efecto de la salinidad y nitrógeno inorgánico del suelo en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Lycium berlandieri*. Terra Latinoamericana 37: 81-90.
DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i1.388>

Recibido: enero de 2018.

Aceptado: noviembre de 2018.

Publicado en Terra Latinoamericana 37: 81-90.

compounds (in dry weight), fruits from San Agustín had the highest concentration of these compounds, particularly in total phenols 12 mg EAG ($P = 0.002$) and 9.02 mg EC in flavonoids ($P = 0.001$). Results of soil analysis indicated that the soil of San Agustín had the highest concentration of nitrates (88.51 mg kg^{-1}) and a more saline soil (6.04 dS m^{-1}). Overall, the results obtained showed that the differences in concentration of polyphenolic compounds in the fruits of *L. berlandieri* are related to soil salinity and availability of nitrates. Therefore, the soil of San Agustín in Ciudad Juárez, Chihuahua is optimal for the cultivation of *L. berlandieri*.

Index words: total phenols, flavonoids, moisture, proximate composition, nitrate, salinity.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015), la principal causa de muerte a nivel mundial se debe a cardiopatía isquémica y accidentes cerebro vasculares. El origen de estas enfermedades ha sido atribuido a los radicales libres (Ames *et al.*, 1993). Los antioxidantes son sustancias capaces de neutralizar a los radicales libres (Criado y Moya, 2009). Entre los principales antioxidantes naturales se encuentran los compuestos fenólicos, que son metabolitos secundarios bio-sintetizados por las plantas. Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos, lignanos, flavonoides, entre otros (Quiñones *et al.*, 2012). A finales del siglo XX, los estudios epidemiológicos sugirieron que el consumo prolongado de dietas ricas en polifenoles vegetales ofrecía cierta protección contra el desarrollo de cánceres, enfermedades cardiovasculares, diabetes, osteoporosis y neurodegenerativas (Pandey y Rizvi, 2009). Debido a que los compuestos fenólicos en las plantas juegan un rol importante como compuestos de defensa, cuando las plantas sufren estrés oxidativo a consecuencia de los factores ambientales como humedad, disponibilidad de nutrientes o salinidad en el suelo, las concentraciones de estos compuestos antioxidantes tienden a variar de un sitio a otro (Lattanzio, 2013).

Los cambios fisiológicos y bioquímicos de las plantas están relacionados con las condiciones físico-químicas del suelo, entre los que destacan el estrés

por sales solubles y la disponibilidad de nutrientes (Parr y Boldwell, 2000). Los estudios más recientes indican a nivel proteómico que los mecanismos moleculares de tolerancia a sal, incluyen proteínas asociadas con enzimas antioxidantes y metabolismo secundario, principalmente compuestos fenólicos (Gao *et al.*, 2019). El sistema antioxidante y la absorción o exclusión de iones tienen efecto en la respuesta fisiológica de las plantas (Negrão *et al.*, 2017). La fertilización nitrogenada aumenta la actividad antioxidante expresada por compuestos fenólicos en *Ocimum basilicum* L. (Nguyen y Niemeyer, 2008). En condiciones de suelo deteriorado por exceso de sales solubles se ha detectado que el contenido de flavonoides aumenta principalmente los derivados de quercetina en *Chenopodium album* (Chludil *et al.*, 2008).

Lycium berlandieri es una planta que florece en el Desierto Chihuahuense y Sonorense, que posee bayas rojas, jugosas, sabor agridulce y ligeramente amargas, consumidas por los nativos americanos (Matthews, 1994). En la actualidad se utiliza en la medicina tradicional del estado de Sonora, ya que posee actividad antifúngica contra *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus*, así como actividad antibacterial contra *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus phyogenes* (Moran *et al.*, 2014). Está filogenéticamente relacionada con la especie *Lycium barbarum*, una planta de la medicina tradicional china, que, por su amplio uso para inhibir la proliferación de células cancerígenas, incrementar la respuesta del sistema inmunológico y prevenir la degeneración macular asociada a la edad (Inbaraj *et al.*, 2010), en los últimos años ha tenido importancia comercial.

Para fines de aprovechamiento sustentable de la especie *L. berlandieri*, el objetivo de esta investigación fue evaluar la composición proximal, concentración de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en los frutos de *L. berlandieri* colectados en las localidades de Riveras del Bravo, San Isidro y San Agustín, dentro del municipio de Juárez, Chihuahua y comparar los resultados con los frutos de *L. barbarum* obtenidos comercialmente. Analizar la composición del suelo de los sitios de colecta de los frutos de *L. berlandieri* así como correlacionar los resultados de las muestras de *L. berlandieri* con la composición del suelo de cada zona, con la finalidad de determinar el efecto de salinidad y contenido de nitratos sobre el contenido de compuestos fenólicos en *L. berlandieri*.

MATERIALES Y MÉTODO

Obtención y Preparación de la Muestra

Las muestras de *Lycium barbarum* de la marca “Green Organic®” fueron adquiridas en una tienda local de Ciudad Juárez, en presentación de frascos de 45 g de fruto seco. Se colectaron de 400 a 1000 frutos de *L. berlandieri* en tres localidades de Ciudad Juárez, Chihuahua (Riveras del Bravo, San Isidro y San Agustín), durante la primera semana de mayo del 2016. Los frutos se separaron para eliminar frutos no maduros, se lavaron, se congelaron a -80 °C durante 24 h (ultra-congelador Thermo® forma 900) y se liofilizaron (Labconco®, mod. Freezone 6) durante 48 h para eliminar la humedad. Finalmente se homogenizaron todas las muestras secas en licuadora comercial (Oster®) y almacenaron a vacío hasta su posterior análisis.

Composición Proximal

La composición proximal de los frutos de *Lycium berlandieri* y *Lycium barbarum* se determinó el porcentaje de humedad, cenizas, grasas, proteína y carbohidratos totales, siguiendo los procedimientos de la AOAC (2000). Cenizas (método AOAC 923.03) y humedad (método AOAC 925.10) se determinaron por métodos gravimétricos; grasa total por el método Soxhlet (método AOAC 963.15); proteína se determinó por el método Kjeldahl (método AOAC 920.152) empleando un factor de conversión de 6.25 y finalmente el contenido de carbohidratos totales se determinó por diferencia.

Compuestos Fitoquímicos

Extracción de los compuestos fenólicos. Los extractos crudos de compuestos fenólicos de los frutos se obtuvieron de acuerdo con la metodología propuesta por Alvarez-Parrilla *et al.* (2011), con ligeras modificaciones. Se mezclaron cuatro g de fruto liofilizado molido con 40 mL de metanol al 80%, y se sonicó (Brason®, mod. 5800) durante 30 min. Posteriormente, la muestra se centrifugó durante 15 min a 4 °C a 3500 rpm (Eppendorf®, mod. 5810R), y el sobrenadante se reservó. El procedimiento se repitió en tres ocasiones, mezclando los sobrenadantes. El exceso de metanol se eliminó por rotaevaporación (Buchi®,

mod. R-300) y las disoluciones acuosas se liofilizaron durante 48 h (Labconco®, mod. Freezone 6). El sólido resultante se pesó para determinar el rendimiento de extracción.

Cuantificación de fenoles totales. Los fenoles totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu (Alvarez-Parrilla *et al.*, 2011), con ligeras modificaciones. De cada extracto, se preparó una disolución de 1mg mL⁻¹ en metanol al 80%. En un tubo de ensaye, se mezclaron 250 µL de muestra con un mililitro de una solución de carbonato de sodio al 7.5% (p/v) y 1.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% (v/v), se incubó a 50 °C durante 15 min, se dejó a enfriar a temperatura ambiente. Se colocaron 250 µL en una microplaca y se leyó la absorbancia a 760 nm en un lector de microplaca (BioRad®, Benchemark plus). Se preparó una curva de calibración con ácido gálico (0.2-0.0 mg de ácido gálico mL⁻¹ en un metanol al 80%). Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG g⁻¹PS).

Cuantificación de flavonoides. El contenido de flavonoides solubles totales se determinó de acuerdo al método descrito por Alvarez-Parrilla *et al.* (2011). Se mezclaron en una microplaca 31 µL de la muestra (de 1 mg mL⁻¹ en metanol al 80%) con 125 µL de agua destilada, 9.3 µL de NaNO₂ al 5% y 125 µL de NaOH. Se dejó reposar durante 5 min y se añadieron 9.3 µL de AlCl₃ al 10% y se incubó a temperatura ambiente por 30 min. La absorbancia se leyó a 510 nm en un lector de microplaca (BioRad®, Benchemark plus). Se preparó una curva de calibración con catequina (0-0.2 mg mL⁻¹). Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de catequina por gramo de peso seco (mg EC g⁻¹PS).

Actividad antioxidante por el radical DPPH. Para la evaluación de la actividad antioxidante por el método DPPH (Alvarez-Parrilla *et al.*, 2011), se mezclaron 25 µL de muestra (1 mg mL⁻¹ en metanol al 80%) con 200 µL del reactivo DPPH (190 µM en metanol). Las absorbancias se leyeron en un lector de microplaca (BioRad® Benchemark plus) a 517 nm, por 30 min cada 30 s a temperatura ambiente. Se calculó el porcentaje de inhibición, mediante la Ecuación 1:

$$\% \text{Inhibición} = \frac{(A_b - A_m)}{A_b} \times 100 \quad (1)$$

donde: A_b es la absorbancia del blanco reactivo de DPPH (o ABTS) a los 30 min y A_m es la absorbancia

de la muestra con el radical al tiempo indicado. El % Inhibición calculado para cada muestra se comparó con una recta estándar construida con concentraciones conocidas de Trolox. Los resultados son expresados en moles equivalentes de Trolox por cada gramo de peso seco (mET g⁻¹PS).

Actividad antioxidante por el radical ABTS^{•+}. Para determinar la capacidad antioxidante por el método ABTS^{•+} (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico), se preparó una disolución 7 mM de este reactivo el cual se dejó incubó con persulfato de potasio (concentración final 2.45 mM) durante 16 h a oscuridad y a temperatura ambiente; después se ajustó el radical a una absorbancia de 0.7 (Alvarez-Parrilla *et al.*, 2011). Para el ensayo mezclaron en una microplaca 12 µL de la muestra (1 mg mL⁻¹ en metanol al 80%) con 285 µL del reactivo ABTS^{•+} ajustado, y se leyó la absorbancia en un lector de microplaca (BioRad®, Benchmark plus) a 734 nm, durante 30 min a temperatura ambiente. Los resultados de porcentaje de inhibición se determinaron con la ecuación 1 y los resultados se expresaron como moles equivalentes de trolox por cada gramo de peso seco (mET g⁻¹PS).

Actividad antioxidante por el método del poder antioxidante reductor del hierro (FRAP).

La capacidad de los extractos para transferir electrones se midió usando la técnica de reducción de hierro (FRAP), utilizando la metodología propuesta por Alvarez-Parrilla *et al.* (2007). Para ello se mezclaron 24 mL de muestra (1 mg mL⁻¹ en metanol al 80%) con 180 mL de del reactivo de FRAP (tampón de acetato 0.3 M (pH 3.6), 10 mM TPTZ-HCl (2,4,6-tripiridil-s-triazina; 40 mM HCl), y 20 mM de cloruro férrico 10:1:1, v/v/v, calentados a 37 °C durante 30 min). La absorbancia de la mezcla se leyó a 595 nm durante una hora a 37 °C, en un lector de microplaca (BioRad®, Benchmark plus) a 595 nm. Los resultados son expresados en moles equivalentes de trolox por cada gramo de peso seco (mET g⁻¹PS).

Análisis de Suelo

Colecta y preparación de las muestras de suelo. Se realizó un muestreo de suelo, en la que se asignaron 10 puntos de colecta, cercanos a la planta dónde se colectaron los frutos de *L. berlandieri*, en un área aproximada de una hectárea. Las submuestras se obtuvieron desde la superficie hasta 15 cm de

profundidad, enseguida se homogenizaron, obteniendo un kilogramo de muestra por cada zona. Las muestras se empacaron en bolsas de plástico y se llevaron al invernadero de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, donde se extendieron sobre una mesa para su secado durante 48 h, luego fueron molidas y tamizadas mediante un tamiz con malla de 2 mm de diámetro.

Determinación de la alcalinidad y salinidad del suelo.

La alcalinidad y salinidad del suelo se determinaron con el procedimiento establecido por el Colegio de Postgraduados (2008). La alcalinidad se determinó mediante el método basado en una relación 1:2 (suelo/agua). En frascos de plástico de 50 mL se homogeneizaron 10 g de suelo con 20 mL de agua destilada por un min y se dejaron reposar durante 10 min. Cada determinación se hizo por duplicado. Posteriormente por triplicado, se realizaron mediciones de pH de las muestras con un potenciómetro (Hanna®, mod. HI207) previamente calibrado (NOM-021-REC-2000). La salinidad se determinó mediante conductividad eléctrica con el método basado en relación 1:5, a la solución anterior se agregó 30 mL de agua destilada, se agito y se dejaron reposar durante 24 h, por triplicado se obtuvieron las lecturas con conductímetro (Thermo®, mod. Orion 3 star) calibrado con solución de cloruro de potasio (KCl) a 0.1 N.

Determinación del nitrógeno inorgánico. Por duplicado se colocaron 5 g de suelo en matraces Erlenmeyer® de plástico, luego se agregaron 50 mL de KCl 2 N y se puso en agitación durante una hora. Se decantó la solución por aproximadamente una hora y después se filtró. El ión amonio (NH₄⁺) se determinó en presencia de MgO y iones nitrato (NO₃⁻) agregando aleación de Devarda, el destilado se recuperó en un vaso de precipitados de 10 mL de ácido bórico hasta completar 40 mL del total y se tituló con H₂SO₄ 0.004516 N. El nitrógeno inorgánico total se determinó sumando el contenido de iones de nitrato (NO₃⁻) y de iones de amonio (NH₄⁺) (Flores *et al.*, 2010).

Análisis Estadístico de los Resultados

Para cada análisis, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y para probar las diferencias entre las medias de cada tratamiento se usó una prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) con un intervalo de confianza del 95%, mediante el programa estadístico SPSS versión 24. El análisis de correlación

entre los resultados de los compuestos fenólicos y la composición del suelo de cada zona de colecta se realizó mediante el programa estadístico SigmaPlot versión 12.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Proximal

Las muestras de fruto de *Lycium berlandieri* en estado fresco registraron una humedad promedio del $84.1 \pm 0.3\%$. Particularmente la muestra procedente de San Agustín tuvo la mayor humedad ($93.34 \pm 0.2\%$), seguida por la muestra de Riveras del Bravo ($80.7 \pm 0.3\%$) y finalmente la de San Isidro ($78.2 \pm 0.3\%$); mientras que la muestra comercial de *L. barbarum* mostró un contenido de humedad de $21.8 \pm 0.2\%$ ($P < 0.01$). Debido a la diferencia de humedad entre las muestras, y con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos, los resultados de composición proximal en peso seco se muestran en el Cuadro 1.

Las diferencias en humedad entre las muestras de las tres regiones pueden atribuirse a la textura del suelo y a la fertilización orgánica con estiércol de bovino. Mientras que la región de Riveras del Bravo pertenece a una zona urbana, las regiones de San Agustín y San Isidro pertenecen a zonas rurales. A partir de San Isidro hasta San Agustín, el suelo es de textura franco y es fertilizado con estiércol de bovino, lo cual favorece la retención de humedad por más tiempo (Flores *et al.*, 2013), lo cual permite a las plantas absorber agua y nutrientes del suelo y mantener hidratados a los frutos. Por su parte, el suelo de Riveras del Bravo es de textura franco arenoso y no es fertilizado, la humedad es

retenida por menor tiempo, por lo que los frutos son más pequeños y menos hidratados (Nuruddin *et al.*, 2003). Además, esta característica del suelo de Riveras del Bravo, permite atribuir un mayor contenido mineral en las muestras de esta localidad, ya que al haber poca humedad en el suelo, los minerales transportados hacia los diferentes órganos de la planta, a través del xilema, están poco diluidos en comparación con el suelo de San Isidro y San Agustín (Tromp y Vuure, 1993, Florido y Bao, 2014).

Por otra parte, los frutos de Riveras de Bravo se caracterizaron por presentar el mayor contenido de grasa, lo cual está relacionado con el bajo contenido agua del suelo y a la respuesta del fruto ante el estrés hídrico. Particularmente la cutícula, una membrana protectora constituida por ácidos grasos, actúa como una barrera para reducir la pérdida de agua en las frutas, por lo que el fruto incrementa la producción de ácidos grasos ante un déficit de humedad (Bi *et al.*, 2017). El contenido proteico varió entre los frutos, lo cual puede ser atribuido en una parte al estado de maduración de los frutos cuando fueron colectados (Dilley y Klein, 1969; Lara *et al.*, 2007) y por otra a su etapa de desarrollo, ya que la mayoría de los frutos procedentes de San Isidro y Riveras del Bravo se encontraban en el periodo de climaterio, en el cual hay un incremento de proteína como resultado de la síntesis de enzimas relacionadas con la maduración (Frenkel *et al.*, 1968; Lara *et al.*, 2007). Finalmente, en relación con el contenido de carbohidratos, éstos son sintetizados mediante el proceso de fotosíntesis, proceso que requiere la disponibilidad de agua para el intercambio gaseoso (Martim *et al.*, 2009), lo que permite estimar que la textura y fertilización del suelo

**Cuadro 1. Composición proximal de diferentes muestras de fruto de *Lycium berlandieri* y una muestra comercial de *Lycium barbarum*.
Table 1. Proximal composition of different samples of *Lycium berlandieri* fruit and a commercial sample of *Lycium barbarum*.**

Procedencia de la muestra	Cenizas	Grasas	Proteína	Carbohidratos totales
	----- % -----			
Riveras del Bravo	5.3 ± 0.2 a	6.7 ± 0.2 a	12.8 ± 0.9 b	75.2 ± 0.9 c
San Isidro	4.1 ± 0.1 b	0.9 ± 0.0 d	15.4 ± 0.6 a	79.6 ± 0.6 b
San Agustín	3.6 ± 0.1 c	1.7 ± 0.0 c	9.0 ± 0.4 c	85.6 ± 0.4 a
Comercial (<i>Lycium barbarum</i>)	4.3 ± 0.1 b	2.2 ± 0.0 b	14.4 ± 0.2 a	79.2 ± 0.3 b

Datos en base seca. Valores promedio \pm DE. DE = 0.0 significa DE < 0.0. Letras diferentes indican diferencias significativas entre datos de la misma columna ($P < 0.05$, prueba DMS).

Data on dry basis. Average values \pm DE. DE = 0.0 means DE < 0.0. Different letters correspond to significant differences between data in the same column (DMS test, $P < 0.05$).

favoreció un mayor contenido de carbohidratos en los frutos procedentes de San Agustín y San Isidro en comparación con los de Riveras del Bravo.

Fenoles Totales y Flavonoides

Las muestras de *Lycium berlandieri* mostraron tener una concentración de 9.17 ± 3.53 mg EAG g⁻¹ PS en fenoles totales y de 6.39 ± 2.50 mg EC g⁻¹ PS en flavonoides, mientras que los frutos de *L. barbarum*, mostraron 5.25 ± 0.28 mg EAG g⁻¹ PS y 0.89 ± 0.13 mg EC g⁻¹ PS respectivamente, siendo más bajos en la muestra comercial. La muestra de *L. berlandieri*, procedente de San Agustín tuvo mayor contenido de estos compuestos, mientras que la muestra de Riveras del Bravo mostró el contenido más bajo (Figura 1), siendo este valor similar al de *L. barbarum*.

Actividad Antioxidante

La capacidad antioxidante (mmoles ET), determinada por los métodos DPPH, ABTS y FRAP, mostraron diferencias significativas ($P < 0.01$)

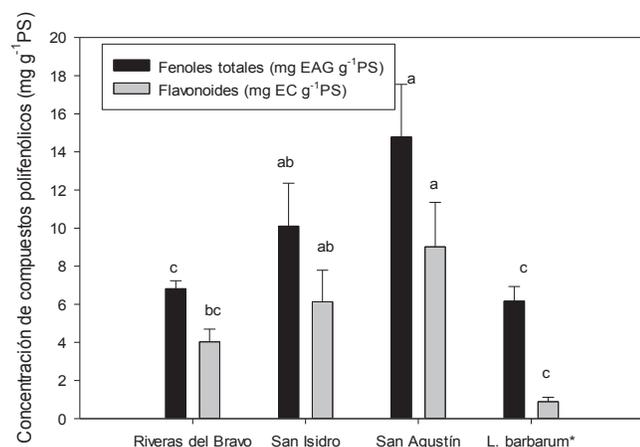


Figura 1. Contenido de compuestos fenólicos de frutos de *Lycium berlandieri* provenientes de tres zonas de Ciudad Juárez, Chihuahua y de una muestra comercial de *L. barbarum*. Los resultados son expresados como la media \pm DE de tres repeticiones, peso seco (PS), EAG -equivalentes a ácido gálico, EC -equivalentes de catequina. Las letras diferentes en las barras indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

Figure 1. Content of phenolic compounds of *Lycium berlandieri* fruits from three zones of Ciudad Juárez, Chihuahua and a commercial sample of *L. barbarum*. The results are expressed as the mean \pm DE of three repetitions, dry weight (PS), EAG -gallic acid equivalents, EC -catechin equivalents. The different letters on the bars indicate significant difference ($P < 0.05$).

entre las muestras de fruto de *Lycium berlandieri* y *Lycium barbarum*. Los resultados de los tres métodos indicaron que la muestra de *L. berlandieri* procedente de San Agustín fue la que presentó mayor actividad antioxidante, mientras que la procedente de Riveras del Bravo mostró una menor actividad. Las muestras de *L. barbarum*, mostraron una menor actividad (Figura 2). Se observó que los tres métodos tuvieron comportamientos similares, aun cuando se observó mayor actividad antioxidante por el método de FRAP, seguido por el método de DPPH y finalmente por el método de ABTS.

Análisis de Correlación entre los Compuestos Fenólicos y Capacidad Antioxidante

Se observó una alta correlación entre fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS⁺ y FRAP (Cuadro 2), están de acuerdo con la teoría que sostiene a los compuestos fenólicos como los responsables de la actividad antioxidante (Sellappan *et al.*, 2002). La correlación más significativa se observó entre el método DPPH y

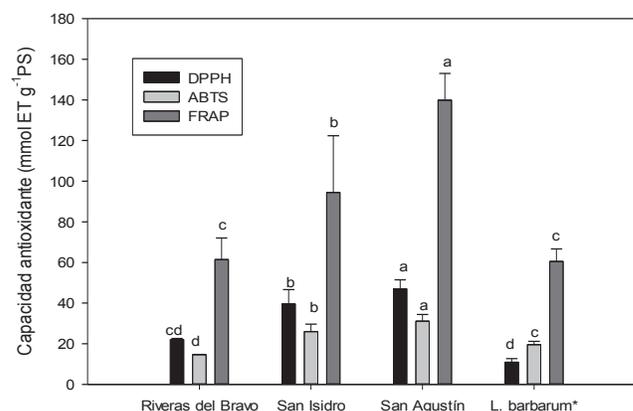


Figura 2. Capacidad antioxidante de los frutos de *Lycium berlandieri* provenientes de tres zonas de Ciudad Juárez, Chihuahua y de una muestra comercial de *L. barbarum*. Los resultados están reportados como la media \pm DE de tres repeticiones en milimoles equivalentes de Trolox por gramo de peso seco (mmoles ET g⁻¹ PS). Letras diferentes indican diferencia significativa ($P = 0.01$).

Figure 2. Antioxidant capacity of *Lycium berlandieri* fruits from three zones of Ciudad Juárez, Chihuahua and a commercial sample of *L. barbarum*. The results are reported as the mean \pm DE of three replications in millimoles of Trolox equivalents per gram of dry weight (mmoles ET g⁻¹ PS). Different letters indicate significant difference ($P = 0.01$).

Cuadro 2. Correlación entre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.
Table 2. Correlation between phenolic compounds and antioxidant capacity.

	Fenoles totales	Flavonoides	DPPH	ABTS	FRAP
Fenoles totales	1				
Flavonoides	0.9442**	1			
DPPH	0.9375**	0.9796*	1		
ABTS	0.9271**	0.7832***	0.838**	1	
FRAP	0.9975**	0.9205**	0.9112**	0.9361**	1

*Correlación positiva perfecta, ** correlación positiva fuerte, *** correlación positiva moderada.

* Perfect positive correlation, ** Strong positive correlation, *** Moderate positive correlation.

el contenido de flavonoides, debido a que este método se asocia a compuestos que se encuentran en forma de glicósidos, mientras que la fuerte asociación del método de FRAP con el contenido de fenoles es debida a que el método de FRAP y Folin-Ciocalteu se asocia a compuestos hidrofílicos.

Propiedades Químicas del Suelo

Los resultados indicaron diferencias significativas en la salinidad, alcalinidad y en la concentración de nitratos (NO_3^-) como nitrógeno disponible en los suelos de las zonas donde se colectaron los frutos de *Lycium berlandieri* (Cuadro 3). Las diferencias en la concentración de nitrógeno inorgánico total disponible entre el suelo de las tres regiones, se deben principalmente al contenido de nitrato (NO_3^-), en donde el suelo de San Agustín mostró tener una disponibilidad con 88.51 mg kg^{-1} , mientras que el suelo de Riveras

del Bravo fue de 6.32 mg kg^{-1} . También, la mayor concentración podría ser atribuida al aporte de agua residual que ocurre comúnmente en el riego de estos suelos.

Correlación entre los Compuestos Fenólicos con la Salinidad y el Nitrógeno Inorgánico Disponible del Suelo

La Figura 3 muestra una correlación lineal de 0.9794 entre el nitrato (NO_3^-) disponible en el suelo con fenoles totales y de 0.982 con flavonoides, mientras que la Figura 4 muestra una correlación lineal de 0.955 entre la salinidad del suelo con fenoles totales y 0.959 con flavonoides, determinados en los frutos de *Lycium berlandieri*. Estas correlaciones indican que hay una relación entre NO_3^- y la salinidad con los compuestos fenólicos y de acuerdo con Flores *et al.* (2013), la relación entre el nitrato disponible y la salinidad del

Cuadro 3. Propiedades químicas del suelo de los sitios de colecta de *Lycium berlandieri*.
Table 3. Chemical properties of the soil at sites of *Lycium berlandieri* collection.

Zona de colecta	Textura	Humedad	Alcalinidad	Salinidad	Amonio (NH_4^+)	Nitrato (NO_3^-)	Nitrógeno inorgánico total (N)
		%	pH	dS m^{-1}	- - - - -	mg kg^{-1}	- - - - -
Riveras del Bravo	Franco arenoso	1.09±0.0 b	8.6±0.1 a	1.01±0.0 c	9.48±0.0 a	6.32±0.0 b	15.81±0.0 c
San Isidro	Franco	1.25±0.0 b	7.86±0.0 b	4.014±0.1 b	9.48±0.0 a	50.58± 8.9 c	60.06±8.9 b
San Agustín	Franco	5.74±0.9 a	7.95±0.1 b	6.04±0.6 a	9.48± 4.5 a	88.51±0.0 a	98.00±4.5 a

Datos dados en media ± DE de dos repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre datos de la misma columna ($P < 0.05$, prueba DMS).
 Data given in mean ± DE of two repetitions. Different letters indicate significant differences between data in the same column (DMS test, $P < 0.05$).

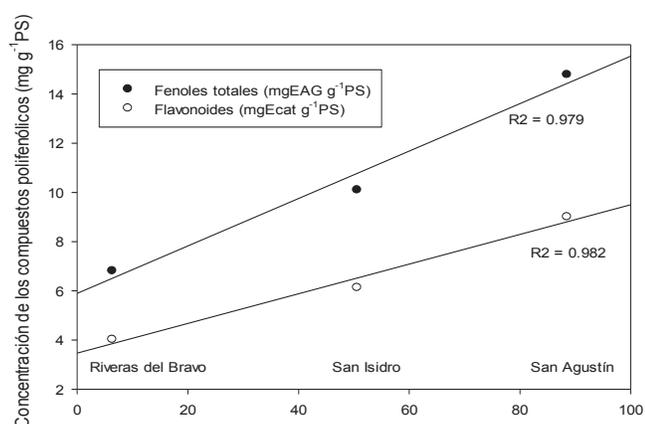


Figura 3. Correlación entre los compuestos fenólicos y nitrato (NO_3^-) disponible en el suelo. EAG -equivalentes a ácido gálico, EC-equivalentes de catequina por gramo (g^{-1}) de peso seco (PS).

Figure 3. Correlation between the phenolic compounds and available nitrate (NO_3^-) in the soil. EAG- gallic acid equivalents, EC- catechin equivalents per gram (g^{-1}) of dry weight (PS).

suelo, es atribuida al agua residual y al estiércol de bovino, siendo este último factor el que aporta sales provenientes de las dietas que se le dan al ganado, por lo que las diferencias de estos factores en el suelo de Riveras del Bravo, San Isidro y San Agustín está en relación con el uso que se da, ya que en el suelo de Riveras del Bravo es destinado al uso urbano, mientras que a partir de San Isidro el suelo tiene uso agrícola, donde es regado con agua residual y fertilizado con abono orgánico proveniente de la ganadería. Por lo tanto, en esta investigación se atribuye que la salinidad a consecuencia del nitrato disponible influye en las concentraciones de compuestos fenólicos en los frutos de *L. berlandieri*. Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por Mudau *et al.* (2007), en el que se determinó una correlación lineal de 0.87 entre la concentración de compuestos fenólicos en hojas de *Atrixia phylicoides* en relación con la cantidad de nitrato de amonio aplicado como fuente de nitrógeno en las parcelas y por Rezazadeh *et al.* (2012), en el que se observó una relación entre la concentración de los compuestos fenólicos *Cynara scolymus* (alcachofa) con la concentración aplicada de una solución de cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones de 1.5 a 6.9 dS m^{-1} . De acuerdo con este autor estos compuestos son producidos por las plantas para protegerse contra el estrés oxidativo a consecuencia de la salinidad en este caso.

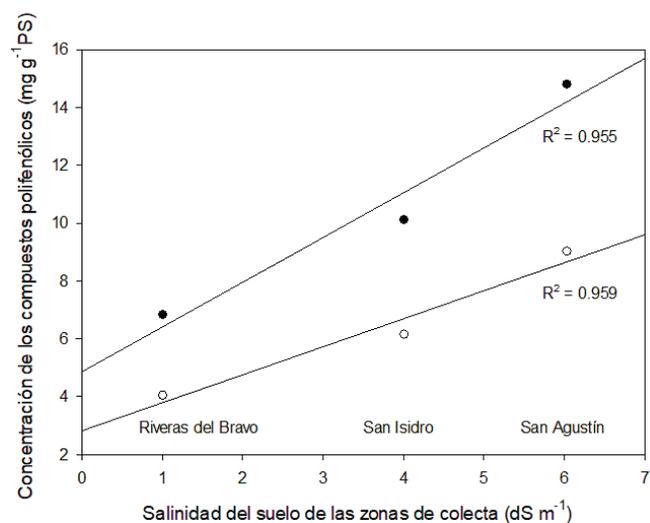


Figura 4. Correlación entre los compuestos fenólicos y salinidad (dS m^{-1}) disponible en el suelo. EAG -equivalentes a ácido gálico, EC-equivalentes de catequina por gramo (g^{-1}) de peso seco (PS).

Figure 4. Correlation between phenolic compounds and available salinity (dS m^{-1}) in the soil. EAG- gallic acid equivalents, EC- catechin equivalents per gram (g^{-1}) of dry weight (PS).

CONCLUSIONES

La textura franco y la fertilización orgánica del suelo mediante estiércol de bovino favorecen la retención de humedad en el suelo de San Isidro y San Agustín, permitiendo a la planta de *Lycium berlandieri* absorber el agua suficiente y mantener mejor hidratados los frutos. La textura franco arenoso y la falta de fertilización del suelo de Riveras del Bravo favorece el déficit hídrico e impacta en un mayor contenido de grasas y minerales y un decremento en los carbohidratos del fruto. Respecto a la concentración de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante, fue mayor en las muestras de *L. berlandieri* con respecto a *L. barbarum*, siendo mayor en las muestras que procedieron de San Agustín. La alta correlación entre la concentración de los compuestos fenólicos de los frutos de *L. berlandieri* con los iones de NO_3^- y la salinidad disponible en el suelo, permite atribuir a la salinidad debido a los iones de NO_3^- la que contribuye en la producción de los compuestos fenólicos. En consecuencia, el suelo de San Agustín fue el que mostró tener las condiciones mejores de nitrógeno para el cultivo de *Lycium berlandieri*.

LITERATURA CITADA

- Alvarez-Parrilla, E., L. A. de la Rosa, N. R. Martínez y G. A. Aguilar. 2007. Total phenols and antioxidant activity of commercial and wild mushrooms from Chihuahua, México. *Cienc. Tecnol. Alim.* 5: 329-334. doi: 10.1080/11358120709487708.
- Alvarez-Parrilla, E., A. L. de la Rosa, R. Amarowicz, and F. Shahidi. 2011. Antioxidant Activity of fresh and processed jalapeño and serrano peppers. *J. Agric. Food Chem.* 59: 163-173. doi: 10.1021/jf103434u.
- Ames, B. N., M. K. Shigenaga, and T. M. Hagen. 1993. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90: 7915-7922.
- AOAC (Association of Official Analytic Chemists). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Edition. AOAC International. Rockville, MD, USA.
- Bi, H., N. Kovalchuk, P. Langridge, P. Ticker, S. Lopato, and N. Borisjuk. 2017. The impact of drought on wheat leaf cuticle properties. *BMC Plant Biol.* 85: 1-13.
- Chludil, H. D., G. B. Corbino, and S. R. Leicach. 2008. Soil quality effects on *Chenopodium album* flavonoid content and antioxidant potential. *J. Agric. Food Chem.* 56: 5050-5056.
- Colegio de Postgraduados. 2008. Manual de procedimientos de análisis de suelos y plantas. Documento de laboratorio del Centro de Edafología. Montecillos, Edo. de México, México.
- Criado D., C. y M. S. Moya M. 2009. Vitaminas y antioxidantes. Departamento de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid. Saned. Madrid, España.
- Dilley, D. and S. Klein. 1969. Protein synthesis in relation to fruit ripening. *Plant Food Hum. Nutr.* 19: 55-65. doi:10.1007/BF01101145.
- Flores-Margez, J. P., M. A. Poncio, E. Salas, F. Pérez, A. Y. Corral, E. Salazar y H. J. Trejo. 2010. Mineralización de nitrógeno en biosólidos estabilizados con cal. *Terra Latinoamericana* 28: 307-317.
- Flores-Margez, J. P., M. J. García, E. Olivas, P. Osuna, B. Corral y E. Salazar. 2013. Disponibilidad de nitrógeno y fósforo en suelos tratados con estiércol y agua residual en el cultivo de rábano. *Ciencia en la Frontera: Rev. Cienc. Tecnol. UACJ.* 11: 37-51. ISSN:2007-042X.
- Florido B., C. M. y L. Bao, F. 2014. Tolerancia al estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cult. Trop.* 35: 70-88.
- Frenkel, Ch., I. Klein, and D. R. Diller. 1968. Protein synthesis in relation to ripening of pome fruit. *Plant Physiol.* 43: 1146-1153. doi: 10.1104/pp.43.7.1146.
- Gao, Y., R. Long, J. Kang, Z. Wang, T. Zhang, H. Sun, X. Li, and Q. Yang. 2019. Comparative proteomic analysis reveals that antioxidant system and soluble sugar metabolism contribute to salt tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) leaves. *J. Proteome. Res.* 18: 191-203. doi: 10.1021/acs.jproteome.8b00521.
- Inbaraj, B. S., H. Lu, T. H. Kao, and B. H. Chen. 2010. Simultaneous determination of phenolic acids and flavonoids in *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-ESI-MS. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 51: 549-556. doi: 10.1016/j.jpba.2009.09.006.
- Lara M., C., L. Nerio, L. E. Ovideo Z. 2007. Evaluación fisicoquímica y bromatológica de la guayaba agria (*Psidium araca*) en dos estados de maduración. *Temas Agrar.* 12: 13-21. doi: 10.21897/rta.v12i1.647.
- Lattanzio, V. 2013. Phenolic compounds: Introduction. pp. 1543-1580. In: K. G. Ramawat and J. M. Me'rillon (eds.). *Natural products*, Chapter: 50. Springer-Verlag. Berlin.
- Martim, S., M. Pupo Santos, A. L. Peçanha, C. Valdevino Pommer, E. Campostrini, A. P. Viana, A. Rocha Façanha, and R. Bressan-Smith. 2009. Photosynthesis and cell respiration modulated by water deficit in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon. *Braz. Soc. Plant Physiol.* 21: 95-102. doi: 10.1590/S1677-04202009000200002.
- Matthews, Robin F. 1994. *Lycium berlandieri*. In: *Fire Effects Information System*, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Available: <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/lycber/all.html>.
- Moran, E. F., L. A. Zamora-Álvarez, N. A. Stephens-Camacho, G. A. Yáñez- Fariás, A. Virgen-Ortiz, O. Martínez-Cruz, and J. A. Rosas-Rodríguez. 2014. Antioxidant capacity, radical scavenging kinetics and phenolic profile of methanol extracts of wild plants of southern Sonora, México. *Trop. J. Pharm. Res.* 13: 1487-1493. doi: /10.4314/tjpr.v13i9.15.
- Mudau, F. N., P. Soundy, and E. du Toit. 2007. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium nutrition on total polyphenol content of bush tea (*Athrixia phylicoides* L.) leaves in shaded nursery environment. *HortScience* 42: 334-338.
- Negrão, S., S. M. Schmöckel, and M. Tester. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Ann. Bot.* 119: 1-11. doi: 10.1093/aob/mcw191.
- Nguyen, P. M. and E. D. Niemeyer. 2008. Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56: 8685-8691.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F.
- Nuruddin, M., Ch. A. Madramootoo, and G. T. Dodds. 2003. Effect of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *HortScience* 37: 1389-1393.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) 2015. Las diez principales causas de defunción. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/es/> (Consulta: mayo 14, 2018).
- Pandey, K. B. and S. I. Rizvi. 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2: 270-278. doi: 10.4161/oxim.2.5.9498.
- Parr, A. J. and G. P. Bolwell. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content and profile. *J. Sci. Food Agric.* 80: 985-1012.
- Quiñones, M., M. Miguel y A. Aleixandre. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr. Hosp.* 27: 76-89.

- Rezazadeh, A., A. Ghasemnezhad, M. Barani, and T. Telmadarrehei. 2012. Effect of Salinity on Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) Leaves. Res. J. Med. Plants 6: 245-252. doi: 10.3923/rjmp.2012.245.252.
- Sellappan, S., C. C. Akoh, and G. Krewer. 2002. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-Grown blueberries and blackberries. J. Agric. Food Chem. 50: 2432-2438. doi: 10.1021/jf011097r.
- Tromp, J. and J. van Vuure. 1993. Accumulation of calcium, potassium and magnesium in apple fruits under various conditions of humidity. Physiol. Plant. 89: 149-156. doi: 10.1111/j.1399-3054.1993.tb01798.x.