

Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de hojas de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) peruana de extractos obtenidos por agitación magnética y ultrasonido

Bioactive compounds and antioxidant activity of Peruvian purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves from extracts obtained by magnetic stirring and ultrasound

Jairo Joel Purizaca-Lachira¹; Javier S. Cordova-Ramos^{2, 1*}; Luis Olivera-Montenegro¹

1 Facultad de Ingeniería, Universidad San Ignacio de Loyola, Av. La Fontana 550, La Molina, Lima, Perú.

2 Escuela Profesional de Ciencia de los Alimentos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Av. Universitaria, Calle Germán Amézaga 375, Lima, Perú.

* Autor correspondiente: jcordovar1@unmsm.edu.pe (J. S. Cordova-Ramos).

ORCID de los autores:

J. J. Purizaca-Lachira: <https://orcid.org/0009-0001-9582-5915>

J. S. Cordova-Ramos: <https://orcid.org/0000-0002-9292-6585>

L. Olivera-Montenegro: <https://orcid.org/0000-0002-0151-7031>

RESUMEN

Verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una planta silvestre poco valorada en el Perú. El objetivo de esta investigación es evaluar el contenido de compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides totales) y la actividad antioxidante en hojas de Verdolaga. Se evaluaron tres técnicas de extracción: EA (extracción por agitación magnética), ES1 (extracción por ultrasonido por 30 minutos + agitación magnética por 8 horas) y ES2 (extracción por ultrasonido por 60 minutos + agitación magnética por 1 hora). El contenido de fenoles totales varía de 12,94 a 15,99 mg AGE/g m.s, flavonoides totales varían de 6,21 a 7,18 mg QE/g m.s, actividad antioxidante expresada en IC50 varía de 9,24 a 11,08 mg/ml. A pesar de no existir diferencias significativas entre las tres técnicas de extracción, la técnica EA presentó mayor contenido en fenoles totales (15,99 mg AGE/g m.s), flavonoides totales (7,18 mg QE/g m.s) y mejor actividad antioxidante (9,24 mg/ml). Orientando nuestra investigación en el ámbito industrial, se evaluó el contenido de compuestos bioactivos de las hojas de Verdolaga en el tiempo (Día 0 - Día 90), cuyos resultados no presentaron diferencias significativas. Asimismo, se obtuvo un extracto acuoso para un prototipo de bebida y se determinó su contenido de fenoles totales.

Palabras clave: Verdolaga; fenoles totales; flavonoides totales; actividad antioxidante.

ABSTRACT

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is a wild plant little valued in Peru. The objective of this research is to evaluate the content of bioactive compounds (total phenols, total flavonoids) and antioxidant activity in Purslane leaves. Three extraction techniques were evaluated: EA (magnetic stirring extraction), ES1 (ultrasonic extraction for 30 minutes + magnetic stirring for 8 hours) and ES2 (ultrasonic extraction for 60 minutes + magnetic stirring for 1 hour). The content of total phenols varies from 12.94 to 15.99 mg AGE/g m.s, total flavonoids vary from 6.21 to 7.18 mg QE/g m.s, antioxidant activity expressed in IC50 varies from 9.24 to 11.08 mg/ml. Although there were no significant differences between the three extraction techniques, the EA technique presented a higher content of total phenols (15.99 mg AGE/g d.m.), total flavonoids (7.18 mg QE/g d.m.) and better antioxidant activity (9.24 mg/ml). Focusing our research on the industrial field, the content of bioactive compounds in the leaves of Verdolaga was evaluated over time (Day 0 - Day 90), whose results did not present significant differences. Likewise, an aqueous extract was obtained for a prototype drink and its total phenol content was determined.

Keywords: Purslane; total phenols; total flavonoids; antioxidant activity.

Recibido: 08-05-2024.

Aceptado: 19-11-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país megadiverso en flora y muchas plantas aún se desconocen las propiedades nutricionales y compuestos bioactivos que éstas poseen. *Portulaca oleracea* L., conocido comúnmente como Verdolaga, crece en diferentes regiones tropicales en el mundo y es considerada como una mala hierba o maleza (Hernández et al., 2023). Se puede comer ya sea crudo o cocido, o como algún ingrediente de alimentos con tradición cultural. El consumo de Verdolaga puede ser tanto para humanos y animales (Melilli et al., 2020).

En el Perú puede crecer en diferentes departamentos de forma silvestre, se puede encontrar de forma natural en el interior de cultivos, y al menos en la costa peruana es dado como alimento para animales como cerdos y aves.

La Verdolaga ha demostrado tener el potencial para complementar la alimentación con valores altos en cuanto a compuestos bioactivos (compuestos fenólicos) con propiedades antioxidantes y capacidad colectora de radicales libres (Martínez et al., 2021). Desde hace muchos años, diversos estudios han demostrado que la Verdolaga, en medicina natural, es usada por sus propiedades diuréticas, digestivo, analgésico por su efecto antiinflamatorio, reduce los niveles de glucosa, laxantes, vermífugas, desinflamantes y estimulantes. Posee propiedades antioxidantes (contiene compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, taninos, antocianinas y terpenoides, entre otros) que podrían ayudar a prevenir o reducir enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas, enfermedades gastrointestinales, enfermedades hepáticas y renales, infecciones de las encías, los oídos y los ojos, enfermedades de la piel, enfermedades pediátricas (Hernández et al., 2023). Estudios recientes como el realizado en Nigeria, se demostró que el extracto de hojas de verdolaga mejoró la función renal al aumentar el aclaramiento de urea

y creatinina en ratas Wistar. (Obidike et al., 2024).

En Turquía se determinaron compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante (DPPH) a partir de extractos de agua, metanol y acetona a partir de muestras de verdolaga (Aoudeh et al., 2024). En China se realizaron diversos estudios donde se muestra a la *Portulaca oleracea* L. con propiedades antiinflamatorias (Liu et al., 2024) y efectos farmacológicos (Kun et al., 2024), con propiedades antiinflamatorias de la fracción hidrófila de *P. oleracea* L. fresca (Fu et al., 2021), como fármaco prometedor, un potencial terapéutico de la medicina tradicional china en la prevención y el tratamiento de la transformación inflamatoria del cáncer digestivo (Gaoxuan, et al., 2024). Otro estudio demostró presencia de flavonoides no descritos en *Portulaca oleracea* L., cinco pares de homoisoflavonoides (Jianbo et al., 2024).

En Irán se realizó un estudio al extracto de verdolaga, cuyos resultados fueron muy alentadores en el tratamiento de los síntomas del eczema crónico de manos (ECM), es decir, mejoraron significativamente las fisuras, el picor, la sequedad y los síntomas informados por los propios pacientes con ECM (Heydarirad et al., 2024).

En Egipto se exploró el potencial antimicrobiano, antioxidante y antiviral de nanopartículas de plata sintetizadas de forma ecológica utilizando extracto acuoso de hojas de *Portulaca oleracea* L., cuyos resultados demostraron que las nanopartículas de Ag biosintetizadas mostraron altas propiedades antivirales frente al virus de la hepatitis A. Además, las Ag-NP presentaron una actividad antioxidante optimista evaluada por el método de ensayo DPPH (Abdel et al., 2024).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el contenido de fenoles, flavonoides totales y actividad antioxidante a partir de hojas de verdolaga secadas en estufa y en un equipo industrial.

METODOLOGÍA

Material vegetal

La planta verdolaga (*Portulaca Oleracea* L.) se recolectó de terrenos agrícolas del distrito de La Unión, Piura, Perú. La planta fue deshojada, se seleccionaron hojas de color verde sin manchas marrones o signos de daño por insectos.

Secado de hojas de verdolaga

Se realizaron dos secados, secado a escala laboratorio en una estufa y secado a escala industrial en un secador de bandejas. Las hojas fueron lavadas y desinfectadas antes del secado. El secado en estufa (Selecta – A14747) a 55 °C. El secado en bandejas (AALINAT) fue a dos temperaturas diferentes (55 °C y 70 °C) hasta llegar a una humedad inferior al 12%. Las hojas secas se molieron con un mortero de porcelana para posteriormente ser tamizadas (106 µm) con la finalidad de obtener un tamaño de partículas fino y homogéneo. El polvo de hojas de verdolaga obtenido se almacenó a temperatura de refrigeración en tubos falcón envueltos con papel aluminio.

Obtención de los extractos

Los extractos se obtuvieron usando la técnica descrita por Ordoñez et al. (2018) con ciertas modificaciones: la dilución fue de 1/40 (m/v), se pesó 1,25 g de polvo de hojas de verdolaga y se mezcló con 50 mL de solución de metanol al 80%. Los extractos metanólicos secadas en estufa a 55°C se obtuvieron mediante tres métodos: EA (extracción por agitación magnética sucesiva en dos etapas de 4 h), ES1 (extracción por ultrasonido por 30 minutos seguido de agitación magnética por 8 h) y ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h). Los extractos metanólicos de hojas de verdolaga secadas en un secador de bandejas a 55 °C y 70 °C se obtuvieron mediante el método ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h).

Cada extracto se centrifugó a 4200 rpm por 20 minutos a 4 °C. Finalmente se filtró el sobrenadante por medio de papel filtro de paso lento y se almacenó a -20 °C.

Evaluación en el tiempo (Día 0, 30, 60 y 90) del contenido de compuestos bioactivos

Se evaluó la estabilidad en el tiempo de los compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de extractos metanólicos del polvo de hojas de verdolaga (secado en bandejas a 70 °C) mediante el método ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 hora). Los extractos se centrifugaron a 4200 rpm por 20 minutos a 4 °C. Finalmente se filtró el sobrenadante con papel filtro de paso lento y se almacenó a -20 °C.

Obtención de un extracto acuoso para prototipo de bebida

Para la obtención de los extractos acuosos a nivel laboratorio se usó una dilución 1/40 (m/v), se pesó 0,625 g de polvo de hojas de verdolaga (secado en bandejas a 70 °C) y se mezcló con 25 mL de agua. Se realizaron pruebas a nivel laboratorio para determinar la mejor temperatura de extracción (100 °C o 80 °C), y el mejor tiempo de extracción (5, 20 o 40 minutos). El extracto acuoso para el prototipo de bebida se obtuvo a partir de una dilución 1/400 (m/v), se pesó 1 g de polvo de hojas de verdolaga y se mezcló con 400 mL de agua a 100 °C. La mezcla obtenida se agitó durante un mínimo de 5 min. A continuación, se dejó reposar hasta observar la separación de dos fases. Después, el sobrenadante se filtró usando tela de Nylon. El extracto acuoso obtenido se almacenó en refrigeración, en frasco de vidrio envueltos con papel aluminio.

Análisis de los compuestos bioactivos

Determinación del contenido de fenoles totales

La determinación de Fenoles totales se midió a través del método Folin-Ciocalteu (Resende et al., 2018) con modificaciones. Se mezcló 1 mL de extracto con 5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu al 10% (v/v) y 4 mL de solución de carbonato de sodio 7,5% (p/v). Luego se agitó y se dejó en incubación por 2 h, en oscuridad. La absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro (Spectronic Instrumens - 4011/4). La curva de calibración se elaboró usando ácido gálico como estándar, a concentraciones entre 1 a 9 µg/mL. Los resulta-

dos fueron expresados en mg de ácido gálico equivalente/g de materia seca (mg AGE/g m.s.).

Determinación del contenido de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se midió de acuerdo con el método de Pereira-Freire et al. (2018) con modificaciones. A 1 mL de extracto, se agregó 1 mL de cloruro de aluminio al 20% (p/v) y 100 µL de ácido acético al 50% (v/v). La mezcla obtenida se incubó durante 30 min en oscuridad a temperatura ambiente, y luego se centrifugó a 4000 rpm por 4 min. La absorbancia se midió a 420 nm en un espectrofotómetro (Spectronic Instrumens - 4011/4). La curva de calibración se elaboró usando quercetina como estándar, a concentraciones entre 3,10 a 11,90 µg/mL. Los resultados fueron expresados como mg de quercetina equivalente/g de materia seca (mg QE/ g m.s.).

Determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH (2,2-difenil-1 picrilhidrazilo)

La actividad antioxidante se determinó usando el método descrito por Escudero, Muñoz, Ortiz, Alvarado y Yañez (2012) con modificaciones: se preparó una solución stock disolviendo el reactivo DPPH en una solución de metanol al 80%. Se mezcló 50 µL de muestra y 950 µL de DPPH 0.1 mM (Guija, Inocente, Ponce & Zarzosa, 2015). Se prepararon diferentes concentraciones de muestra registrando los valores de absorbancias a 515nm cada 30 segundos durante 30 minutos. Las lecturas de absorbancias se midieron por triplicado para cada concentración de muestra. La actividad antioxidante se expresó en IC₅₀, como el valor de concentración de muestra necesaria para inhibir del 50% del radical DPPH.

Análisis estadístico

Los análisis fueron realizados por triplicado. MS Excel 2016 fue usado para calcular la media, desviación estándar y regresiones lineales. Los datos fueron presentados como la media ± desviación estándar y comparados por un test Tukey y t-student (p < 0,05). Se usó el software Minitab versión 21 para los análisis estadísticos.

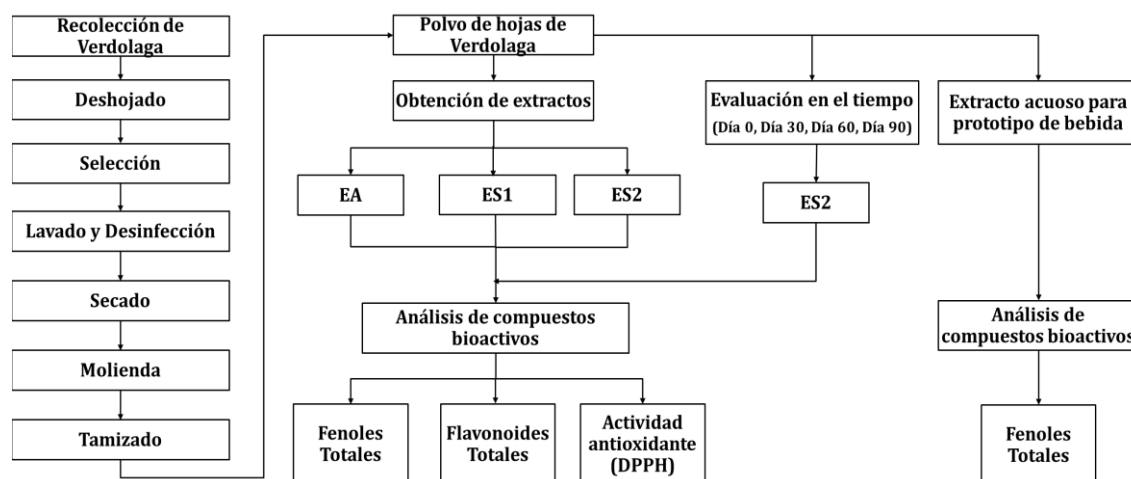


Figura 1. Diseño experimental. EA (extracción por agitación magnética sucesiva en dos etapas de 4 h), ES1(extracción por ultrasonido por 30 min seguido de agitación magnética por 8 h), ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del tipo de extracción en los compuestos bioactivos

En la Tabla 1 se presentan los contenidos de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de los extractos metanólicos obtenidos de las tres técnicas utilizadas: EA* (extracción por agitación magnética sucesiva en dos etapas de 4 h), ES1** (extracción por ultrasonido por 30 min seguido de agitación magnética por 8 h), ES2*** (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h).

La técnica EA (extracción por agitación magnética) es una técnica de extracción tradicional mientras que las técnicas ES1 y ES2 son la combinación de dos técnicas: una no tradicional (extracción por ultrasonido) seguido de una tradicional (agitación magnética).

Para que un método de extracción sea óptimo y eficiente, es importante analizar las variables como el solvente, la relación del disolvente-soluto, la temperatura y tiempo de extracción.

La extracción por agitación (técnica tradicional) tiene como principales ventajas: diversidad de uso de solventes como metanol, agua, etanol, hexano, etc. o la mezcla de algunos; no se necesitan equipos sofisticados; la instalación y adquisición es fácil; la instalación es de bajo costo. Y como principales desventajas: tiempo de extracción largos; podría ocasionar algún efecto negativo al ser humano y medio ambiente por la exposición prolongada a ciertos solventes orgánicos como el metanol; altos los costos de extracción debido a extensos tiempos de extracción; el consumo de energía es alto.

La extracción por ultrasonido (técnica no tradicional) tiene como principales ventajas: tiempo de extracción corto a comparación de otros métodos; es más eficiente, seguro, económico y amigable con el medio ambiente debido al consumo moderado de energía, por ende, se podría deducir que es viable a nivel industrial. Y como principales desventajas: la obtención del equipo podría conllevar a un costo mayor comparado con equipos de técnicas tradicionales.

Con la técnica EA (extracción por agitación magnética), el contenido de fenoles y flavonoides totales fue ligeramente mayor comparado con las técnicas ES1 y ES2 (Tabla 1). Investigación realizada en hojas de *Moringa oleifera* Lam, también reportó mayores concentraciones de compuestos fenólicos con el método de extracción de agitación magnética comparado con 4 métodos (agitación magnética, extracción estática, extracción por Soxhlet y extracción asistida por ultrasonido).

Para determinar si existe o no diferencias en los contenidos de fenoles totales, flavonoides totales y

actividad antioxidante entre las tres técnicas de extracción se hizo una prueba de t-Tukey, obteniendo como resultado que los promedios de los contenidos de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante no presentan diferencias significativas entre las tres técnicas de extracción, por ende, se puede inferir que es viable el uso de cualquiera de las tres técnicas.

Sin embargo, orientado desde un enfoque industrial, es conveniente usar la técnica de extracción ES2 (extracción por ultrasonido x 60 min seguido de agitación magnética por 1 h) dado que se obtienen contenidos de compuestos bioactivos (fenoles y flavonoides totales) en un menor tiempo de extracción (2 h) comparado con las otras técnicas de extracción (8 y 8,5 h).

Contenido de fenoles totales

El contenido de Fenoles totales obtenidos para las hojas de Verdolaga secadas en estufa a 55 °C mediante los tres métodos: EA (extracción por agitación magnética sucesiva en dos etapas de 4 horas), ES1 (extracción por ultrasonido por 30 min seguido de agitación magnética por 8 h), ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h) fueron de 15,99±0,06 mg AGE/g m.s., 12,94±0,08 mg AGE/g m.s. y 13,82±0,08 mg AGE/g m.s., respectivamente.

El contenido de Fenoles totales obtenidos para las hojas de Verdolaga secadas en bandejas a 55 °C y 70°C fueron de 24,34±0,19 mg AGE/g m.s. y 33,74±0,27 mg AGE/g m.s., respectivamente.

Respecto a la evaluación de estabilidad de los compuestos bioactivos del polvo de hojas de verdolaga (secadas a 70°C), el contenido de fenoles totales en el tiempo (Día 0, Día 30, Día 60, Día 90) fueron de 33,74±0,27 mg AGE/g m.s., 32,24±0,21 mg AGE/g m.s., 32,23±0,06 mg AGE/g m.s. y 32,34±0,10 mg AGE/g m.s., respectivamente. Los contenidos de fenoles totales muestran que con la técnica EA (15,99±0,06 mg AGE/g m.s.) se obtuvo un contenido ligeramente mayor respecto a las técnicas ES1 (12,94±0,08 mg AGE/g m.s.) y ES2 (13,82±0,08 mg AGE/g m.s.). Los resultados son mayores comparados con los valores de 4,75 mg AGE/g peso seco (Gruszycki et al., 2019), 5,89 mg AGE/g peso seco (Martínez et al., 2021), 9,32 mg AGE/g peso seco (Binici et al., 2021), pero inferior a los 45,90 mg AGE/g m.s. (Aoudeh et al., 2024).

Las diferencias de nuestros resultados comparados con otras investigaciones en Verdolaga podrían ser debido a dos grandes conjuntos de factores: el método de extracción y las condiciones externas a las que fue expuesta el material vegetal hasta el momento del secado.

Tabla 1

Contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de hojas de Verdolaga secadas en una estufa (55 °C)

Extracción	Tiempo de extracción	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)	Flavonoides totales (mg QE/g m.s.)	DPPH (IC50 mg/ml)
EA*	8 h	15,99 ± 0,06 ^a	7,18 ± 0,04 ^a	9,24 ± 0,19 ^a
ES1**	8,5 h	12,94 ± 0,08 ^a	6,92 ± 0,01 ^a	11,08 ± 0,33 ^a
ES2***	2 h	13,82 ± 0,08 ^a	6,21 ± 0,03 ^a	10,60 ± 0,20 ^a

Nota: Los datos se expresaron como el promedio ± S.D. (n = 3). Promedios en la misma columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes, p < 0,05 (t-Tukey).

En el primer conjunto de factores, se tiene principalmente al método de extracción (los convencionales como, por ejemplo, la agitación, maceración, infusión, soxhlet; y, los no convencionales como, por ejemplo, el ultrasonido, microondas, fluidos supercríticos, etc.), tipo de solvente de extracción, tiempo de extracción, relación sólido/solvente. En el segundo conjunto de factores, se tienen principalmente a la ubicación geográfica, condiciones agronómicas, condiciones ambientales, estado de madurez, tiempo de la cosecha, condiciones de almacenamiento, entre otros. Por ende, la diferencia de nuestros resultados de fenoles totales con las otras investigaciones podría inferirse que se debe al primer conjunto de factores (fundamentalmente por el método de extracción y solvente usado).

Respecto a las técnicas de extracción, Gruszycki et al. (2019) quien reportó 4,75 mg AGE/ g peso seco, fue en un baño de agua con agitación a 100 rpm. Martínez et al. (2021) quien reportó 5,89 mg AGE/ g peso seco, usó la técnica de extracción por agitación por 20 min y centrifugado por 10 min. Binici et al. (2021), quien reportó 9,32 mg AGE/ g peso seco usó una técnica de extracción utilizando un agitador orbital (Stuart-SSL1). Aoudeh et al. (2024) quien reportó 45,90 mg AGE/ g m.s. usó la técnica de extracción por maceración.

Respecto al factor solvente de extracción, Martínez et al. (2021) usaron agua, Binici et al. (2021) y Aoudeh et al. (2024) usaron metanol, mientras que Gruszycki et al. (2019) usó metanol al 80% (solvente similar a nuestra investigación). Se podría inferir que para extraer compuestos bioactivos (fenoles totales) en hojas de verdolaga el solvente metanol al 80% es el más eficiente.

El contenido de fenoles totales también es afectado por el segundo conjunto de factores de condiciones externas a las que fue sometida el material vegetal hasta el momento del secado, entre los factores más destacados son la ubicación geográfica, condiciones agronómicas, condiciones ambientales y estado de madurez. Comparado con esta investigación, la ubicación geográfica es el principal factor.

No hay investigaciones publicadas de la verdolaga peruana, por lo que se comparó con verdolaga de otros países. La verdolaga que usaron Martínez et al. (2021), Gruszycki et al. (2019) fueron de México y Argentina, respectivamente. Mientras que Binici et al. (2021) y Aoudeh et al. (2024) usaron verdolaga de Turquía. Condiciones agronómicas es otro de los factores que podríamos destacar, la verdolaga que utilizó Gruszycki et al. (2019) fue cultivada, mientras que la verdolaga peruana crece de manera silvestre, por tal razón, las condiciones agronómicas son diferentes. Otros factores que podríamos mencionar son la condición ambiental (particular de cada país) y la etapa de madurez en el que se cosechó la Verdolaga ya que en la presente investigación dichos factores fueron diferentes con las investigaciones realizados por Martínez et al. (2021), Gruszycki et al. (2019), Binici et al. (2021) y Aoudeh et al. (2024).

Contenido de flavonoides totales

El contenido de Flavonoides totales obtenidos para las hojas de verdolaga secadas en estufa a 55 °C

mediante los tres métodos: EA (extracción por agitación magnética sucesiva en dos etapas de 4 h), ES1 (extracción por ultrasonido por 30 min seguido de agitación magnética por 8 h), ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h) fueron de 7,18±0,04 mg QE/g m.s., 6,92±0,01 mg QE/g m.s. y 6,21±0,03 mg QE/g m.s., respectivamente.

El contenido de flavonoides totales obtenidos para las hojas de verdolaga secadas en bandejas a 55 °C y 70 °C fueron de 4,66±0,05 mg QE/g m.s. y 4,17±0,02 mg QE/ g m.s., respectivamente.

Respecto a la evaluación de estabilidad de los compuestos bioactivos del polvo de hojas de Verdolaga (secadas a 70 °C), el contenido de Flavonoides totales en el tiempo (Día 0, Día 30, Día 60, Día 90) fueron de 4,17±0,02 mg QE/g m.s., 4,31±0,02 mg QE/g m.s., 4,13±0,03 mg QE/g m.s. y 4,14±0,05 mg QE/g m.s., respectivamente.

Los resultados de flavonoides totales en hojas de Verdolaga muestran que con la técnica EA (7,18±0,04 mg QE/g m.s.) se obtuvo un contenido ligeramente mayor respecto a las técnicas ES1 (6,92±0,01 mg QE/g m.s.) y ES2 (6,21±0,03 mg QE/ g m.s.). Comparados con otros estudios, nuestros resultados son ligeramente mayor comparados con los resultados de 1,64 mg QE/g peso seco reportados por Gruszycki et al., (2019).

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante es expresada en IC50, valor que expresa la concentración de muestra necesaria para inhibir el 50% del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). Los resultados obtenidos para las hojas de verdolaga secadas en estufa a 55 °C mediante los tres métodos: EA (extracción por agitación magnética sucesiva en dos etapas de 4 h), ES1 (extracción por ultrasonido por 30 min seguido de agitación magnética por 8 h), ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h) fueron de 9,24±0,19 mg/ml, 11,08±0,33 mg/ml y 10,60±0,20 mg/ml, respectivamente.

Los resultados obtenidos para las hojas de verdolaga secadas en un secador de bandejas a 55 °C y 70 °C fueron de 3,74±0,02 mg/ml y 2,19±0,03 mg AGE/g m.s., respectivamente.

Respecto a la evaluación de estabilidad de los compuestos bioactivos del polvo de hojas de verdolaga (secadas a 70 °C) en el tiempo (Día 0, Día 30, Día 60, Día 90), los resultados de actividad antioxidante expresada en IC50 fueron de 2,19±0,03 mg/ml, 2,24±0,04 mg/ml, 2,35±0,03 mg/ml y 2,26±0,02 mg/ml, respectivamente

Estos resultados (valores IC50) se compararon con el estudio realizado por Gruszycki et al. (2019), quien reportó un IC50 de 2,32 mg/mL, valor muy cercano a nuestros resultados. En ambos estudios se usó metanol 80% como solvente de extracción. A menor valor IC50, mayor actividad antioxidante, por lo que, la verdolaga peruana posee mayor actividad antioxidante respecto a las hojas de verdolaga de Italia. Dicha diferencia de mayor actividad antioxidante podría deberse al alto contenido de compuestos de fenoles totales.

Diversos estudios reportan que los compuestos bioactivos (fenoles y flavonoides) está relacionado

con la actividad antioxidante en diversas plantas y su capacidad para eliminar los radicales libres como el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). Así, las hojas de verdolaga de Perú contienen un alto contenido de fenoles totales, flavonoides totales y alta actividad antioxidante comparados con otras materias primas, siendo una fuente vegetal para continuar analizando toda la planta y/u otras partes como los tallos.

Efecto de la temperatura de secado en bandejas sobre los compuestos bioactivos

Siguiendo el enfoque industrial, con muestras de hojas de verdolaga deshidratadas en un secador de bandejas a dos temperaturas (55 y 70 °C). La extracción de compuestos bioactivos se realizó con el método ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h). En la Tabla 2 se muestran los resultados.

Para evaluar si existe o no diferencias en los contenidos de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante entre las dos temperaturas de secado se hizo una prueba de t-Student, resultando que los promedios de los contenidos de fenoles totales presentan diferencias significativas, mientras que los contenidos de flavonoides totales y actividad antioxidante no presentan diferencias significativas entre las dos temperaturas de secado, por lo tanto, con la temperatura de secado a 70 °C se obtiene un mayor contenido de fenoles totales respecto de 55 °C.

Binici et al. (2021) estudiaron el efecto de cuatro métodos de secado (sol, vacío, aire caliente y liofilización) sobre el contenido nutricional y la actividad antioxidante de la verdolaga. Los resultados obtenidos por secado con aire caliente fueron cercanos a los obtenidos con el secado al vacío. En base a las variaciones en los efectos de los métodos de secado sobre los parámetros que se necesitan examinar y los altos costos que implican los procesos de secado por congelación y secado al vacío, el tipo de secado por aire caliente podría recomendarse como una operación de secado

eficiente para la verdolaga. De esa forma, la verdolaga podría agregarse a la dieta diaria humana como un producto seco.

Estabilidad de compuestos bioactivos de polvo de hojas de verdolaga durante almacenamiento

Continuando con el enfoque industrial, se determinó en el tiempo (Día 0, Día 30, Día 60, Día 90) el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de hojas de verdolaga secadas a 70 °C. La extracción de compuestos bioactivos se realizó con el método ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h). En la Tabla 3 se muestran los resultados.

Para evaluar si existe o no diferencias en los contenidos de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante en el Día 0, Día 30, Día 60, Día 90; se hizo una prueba de t-Tukey, obteniendo como resultado que los promedios de los contenidos de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante no presentan diferencias significativas, por consiguiente, se puede inferir que en el tiempo evaluado el polvo de hojas de verdolaga es estable en cuanto a sus contenidos de compuestos bioactivos (fenoles totales y flavonoides totales) y actividad antioxidante.

Adicionalmente, los resultados de fenoles totales y flavonoides totales de extracto acuoso a dos temperaturas de extracción (80 y 100 °C) a nivel laboratorio se muestran en la Tabla 4. Luego del proceso de extracción a 100 °C, en la Tabla 5 se muestran los resultados de fenoles totales de extracto acuoso a diferentes tiempos de extracción a nivel laboratorio. Por lo tanto, los resultados de fenoles totales de extracto acuoso para el prototipo de la bebida a nivel industrial a diferentes tiempos se indican en la Tabla 6. En adición, se comparó el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de Verdolaga de Perú con Verdolaga de otros países y otros tipos de material vegetal (Tabla 7).

Tabla 2

Contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de hojas de verdolaga secadas en un secador de bandejas (55 °C y 70 °C)

Temperatura de secado	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)	Flavonoides totales (mg QE/g m.s.)	DPPH (IC50 mg/ml)
55 °C	24,34 ± 0,19 ^a	4,66 ± 0,05 ^a	3,74 ± 0,02 ^a
70 °C	33,74 ± 0,27 ^b	4,17 ± 0,02 ^a	2,19 ± 0,03 ^a

Nota: Los datos se expresaron como el promedio ± S.D. (n = 3). Los extractos metanólicos se obtuvieron mediante el método ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h). Promedios en la misma columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes, p < 0,05 (t-Student).

Tabla 3

Evaluación en el tiempo del contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de hojas de verdolaga secadas en un secador de bandejas (70 °C)

Día	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)	Flavonoides totales (mg QE/g m.s.)	DPPH (IC50 mg/ml)
0	33,74 ± 0,27 ^a	4,17 ± 0,02 ^a	2,19 ± 0,03 ^a
30	32,24 ± 0,21 ^a	4,31 ± 0,02 ^a	2,24 ± 0,04 ^a
60	32,23 ± 0,06 ^a	4,13 ± 0,03 ^a	2,35 ± 0,03 ^a
90	32,34 ± 0,10 ^a	4,14 ± 0,05 ^a	2,26 ± 0,02 ^a

Nota: Los datos se expresaron como el promedio ± S.D. (n = 3). Los extractos metanólicos se obtuvieron mediante el método ES2 (extracción por ultrasonido por 60 min seguido de agitación magnética por 1 h). Promedios en la misma columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes, p < 0,05 (t-Tukey).

Tabla 4
Resultados de fenoles totales y flavonoides totales de extracto acuoso a dos temperaturas de extracción a nivel laboratorio

Temperatura de Extracción (°C)	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)	Flavonoides totales (mg QE/g m.s.)
100 °C	26,19 ± 0, 50 ^a	2,71 ± 0,03 ^a
80 °C	18,63 ± 0, 23 ^b	2,28 ± 0,03 ^a

Nota: Los datos se expresaron como el promedio ± S.D. (n = 3). Los extractos acuosos se obtuvieron mediante agitación magnética durante 5 minutos. Promedios en la misma columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes, p < 0,05 (t-Student).

Tabla 5
Resultados de fenoles totales de extracto acuoso a diferentes tiempos de extracción a nivel laboratorio.

Temperatura de Extracción (°C)	Tiempo de Extracción (min)	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)
100 °C	t-5	26,19 ± 0, 50 ^a
	t-20	24,20 ± 0, 60 ^a
	t-40	27,71 ± 0, 06 ^a

Nota: Los datos se expresaron como el promedio ± S.D. (n = 3). Los extractos acuosos se obtuvieron mediante agitación a 100° C. Promedios en la misma columna seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes, p < 0,05 (t-Tukey).

Tabla 6
Resultados de fenoles totales de extracto acuoso para prototipo de bebida a nivel industrial

Temperatura de Extracción (°C)	Tiempo de Extracción (min)	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)
100 °C	t-5	21,83 ± 0,19

Nota: Los datos se expresaron como el promedio ± S.D. (n = 3). El extracto se obtuvo mediante agitación.

Tabla 7
Comparación de contenido de fenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante de Verdolaga de Perú con Verdolaga de otros países y otros tipos de material vegetal

Material	País	Fenoles totales (mg AGE/g m.s.)	Flavonoides totales (mg QE/g m.s.)	DPPH (IC50 mg/ml)
Verdolaga Peruana	Perú	15,99	7,18	9,24
Verdolaga (Gruszycki et al., 2019)	Argentina	4,75	1,64	2,32
Verdolaga (Martínez et al., 2021)	México	5,89	-	-
Verdolaga (Binici et al., 2021)	Turquía	9,32	-	-
Verdolaga (Aoudeh et al., 2024)	Turquía	45,90	-	-

CONCLUSIONES

Las hojas de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) peruana presentaron importantes contenidos en fenoles totales (15,99 mg AGE/g m.s.), flavonoides totales (7,18 mg QE/g m.s) y actividad antioxidante expresada en IC50 (9,24 mg/ml). Asimismo, el contenido de compuestos bioactivos se mantiene en el tiempo evaluado (Día 0 - Día 90).

Los resultados obtenidos en el presente estudio son prometedoras para las hojas de verdolaga que lo inclinan a ser una excelente fuente de componentes bioactivos y actividad antioxidante para su uso en la industria alimentaria y/o farmacéutica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente estudio agradecen al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad San Ignacio de Loyola por el apoyo de financia-

miento a través de su programa de fondos concursables para proyectos de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel, M., Alshallash, K., Eid A., Hassan, S., Salih, M., Hamza, M., & Fouda, A. (2024). Exploring the Antimicrobial, Antioxidant, and Antiviral Potential of Eco-Friendly Synthesized Silver Nanoparticles Using Leaf Aqueous Extract of *Portulaca oleracea* L. *Pharmaceuticals*, 17(3), 317. <https://doi.org/10.3390/ph17030317>

Aoudeh, E., Şat, İ. G., & Binici, H. İ. (2024). Propiedades químicas y actividad antioxidante de diferentes extractos de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(1), 81-93. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1239088>

Binici, H., Şat, İ., & Aoudeh, E. (2021). The effect of different drying methods on nutritional composition and antioxidant activity of purslane (*Portulaca oleracea*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(5), 680-689. <https://doi.org/10.3906/tar-2012-60>

Escudero, F., Muñoz, A., Ortiz, C., Alvarado, A., & Yañez, J. (2012). purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds profile and its assessment as an agent against oxidative stress in isolated mouse organs. *Journal of Medicinal Food*, 15(2), 206-215. <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.0342>

Fu, J., Wang, H., Dong, C., Xi, C., Xie, J., Lai, S., Chen, R., & Kang, J. (2021). Water-soluble alkaloids isolated from *Portulaca oleracea* L. *Bioorganic Chemistry*, 113, 105023. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.105023>

Gaoxuan, S., Ying, L., Lu, L., Lei, W., Guang, J., & Hanchen, X. (2024). Therapeutic potential of traditional Chinese medicine in the prevention and treatment of digestive inflammatory cancer transformation: *Portulaca oleracea* L. as a promising drug, *Journal of Ethnopharmacology*, 327, 117999. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117999>

- Gruszycki, M. R., Valenzuela, G. M., Báez, M., Leguiza, P. D., Gruszycki, A. E., & Alba, D. A. (2019). Evaluación de la actividad antioxidante en extractos hidroalcohólicos de *Portulaca oleracea* L. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 48(2), 425–435. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n2.82720>
- Guija, E., Inocente, M., Ponce, J., & Zarzosa, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15, 57-60.
- Hernández, V., Bustos, M., Del Angel, J., Acosta, R., & Rojo, P. (2023). Obtención de una infusión de la hoja de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y su caracterización fisicoquímica y análisis sensorial. *Mexican journal of technology and engineering*, 1, 37-46. 10.61767/mjte.001.3.3746
- Heydarirad, G., Rastegar, S., Haji-Abdolvahab, H., Fuzimoto, A., Hunter, J., Zare, R., & Pasalar, M. (2024). Efficacy and safety of purslane (*Portulaca oleracea*) for mild to moderate chronic hand eczema; A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Explore*, 20(3), 401-410. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2023.10.005>
- Jianbo, L., Hongqing, W., Hongjie, S., Junhua, S., Chaoxuan, D., Ruoyun, C., & Jie, K. (2024). Isolation and characterization of dihydrohomoisoflavonoids from *Portulaca oleracea* L. *Phytochemistry*, 222, 114071. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2024.114071>
- Kun, L., Tianshuang, X., Yiping, J., Nani, W., Liyong, L., Shengyan, X., Xiaoqiang, Y., & Hailiang, X. (2024). A review on ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology and potential uses of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 319(2), 117211. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117211>
- Liu, J., Jiu, J., Zhang, X., Sun, J. y Ying, X. (2024). Cuatro alcaloides de *Portulaca oleracea* L. y sus propiedades antiinflamatorias. *Natural Product Research*, 1–7.
- Martínez, J., Torres, J., Rodríguez, G., Martínez, J., Ortíz, E., & Marroquín, A. (2021). Compuestos fenólicos y capacidad antirradicalaria de cinco accesiones silvestres de *Portulaca oleracea* L. obtenidas con tres solventes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1020-1030. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2729>
- Melilli, M., Pagliaro, A., Scandurra, S., Gentile, C., & Di Stefano, V. (2020). Omega-3 rich foods: Durum wheat spaghetti fortified with *Portulaca oleracea*. *Food Bioscience*, 37, 100730. 10.1016/j.fbio.2020.100730.
- Obidike, N., Emojevwe V., Obukohwo, O., Ejoro, O., & Blessing, O., (2024). *Portulaca oleracea* leave extract enhanced renal function via enhancing urea and creatinine clearance in wistar rats. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 11, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100144>
- Ordoñez-Gómez, E., Reátegui-Díaz, D., & Villanueva-Tiburcio, J. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9, 113-121. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.12>
- Pereira-Freire, J., Da Silva, G., Farias, L., Silva, C., Arcanjo-Medeiros, S., et al. (2018). *In Vitro* and *Ex Vivo* Chemopreventive Action of *Mauritia flexuosa* Products. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/2051279>
- Resende, L., Franca, A., & Oliveira, L. (2018). Burity (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chemistry*, 270, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>