

Uso de Fertilizantes Orgánicos para Conservar la Calidad de *Lactuca sativa* L. Durante el Almacenamiento Postcosecha Use of Organic Fertilizers to Preserve the Quality of *Lactuca sativa* L. During Post-Harvest Storage

Elia Nora Aquino-Bolaños¹ , Siunelly Irait Salazar-Benito¹ ,
Manuel Alberto Santos-Basurto⁴ , Liliana Lara-Capistrán⁵ ,
María Luisa Moreno-Cortés² y Jimena Esther Alba-Jiménez³

¹ Universidad Veracruzana, Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos; (E.N.A.B.), (S.I.S.B.), ² Instituto de Investigaciones Biológicas; (M.L.M.C.),

³ SECIHTI-Universidad Veracruzana; (J.E.A.J.). Dr. Luis Castelazo Ayala s/n, Colonia Ánimas. 91190 Xalapa, Veracruz, México.

⁴ Autora para correspondencia: jalba@conahcyt.mx

⁴ Arkansas State University, Campus Querétaro. km 17.5 Estatal 100, Colonia Colinas del Colón. 76270 Colón Querétaro, México; (M.A.S.B.).

⁵ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México; (L.L.C.).

RESUMEN

Una de las hortalizas ampliamente cultivada en el mundo es la lechuga (*Lactuca sativa* L.) por su valor nutricional y características organolépticas. Sin embargo, tiene corta vida de anaquel; además, el uso excesivo de fertilizantes químicos provoca la degradación, contaminación y erosión de los suelos y mantos acuíferos. Es por ello que el objetivo del estudio fue evaluar el efecto del uso de dos fertilizantes orgánicos sobre la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) durante su almacenamiento postcosecha a 5 °C. Para ello, se cultivaron lechugas (*Lactuca sativa* L.) de la variedad romana (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) y se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos: fertilizante químico (FQ), lombricomposta con base de pulpa de café (LC), y lombricomposta con base de heces de borrego (LHB), con 10 repeticiones cada uno. Las lechugas cultivadas fueron almacenadas a 5±1 °C y se analizaron después de 0, 5 y 10 días de almacenamiento, los parámetros de sólidos solubles totales (SST), pH, color, polifenoles y flavonoides totales, actividad antioxidante por el método DPPH y FRAP, y actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO). Los resultados muestran que al final del almacenamiento, las lechugas del LC presentaron los mayores valores de luminosidad y cromaticidad, así como en el contenido de polifenoles totales (0.9 mg EAG g⁻¹), flavonoides totales (0.8 mg CE g⁻¹), actividad antioxidante por el método de DPPH (4.1 uET g⁻¹), y FRAP (6.9 uET g⁻¹), mientras que en la actividad de PPO, las lechugas de LHB, presentaron la menor actividad. Por lo anterior, el uso de fertilizantes orgánicos, como LC, mejora la calidad poscosecha del cultivo de lechuga y mantiene su vida de anaquel hasta por 10 días a 5 ± 1 °C, lo cual podría ayudar a alargar la vida poscosecha del cultivo, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos.

Palabras clave: actividad antioxidante, enzima polifenol oxidasa (PPO), flavonoides, longifolia, lombricomposta, polifenoles.

SUMMARY

One of the most important and widely produced crops in the world is lettuce (*Lactuca sativa* L.), due to its high nutritional value and organoleptic properties. However, the abuse of chemical fertilizers for its production results in soil erosion and aquifers pollution. The purpose of our study was to evaluate the effect of organic fertilizers on the post-harvest quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) at 5 °C. A completely randomized experimental design was developed, involving romaine



Cita recomendada:

Aquino-Bolaños, E. N., Salazar-Benito, S. I., Santos-Basurto, M. A., Lara-Capistrán, L., Moreno-Cortés, M. L., & Alba-Jiménez, J. E. (2025). Uso de Fertilizantes Orgánicos para Conservar la Calidad de *Lactuca sativa* L. Durante el Almacenamiento Postcosecha. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-9. e2050. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2050>

Recibido: 13 de agosto de 2024.

Aceptado: 28 de enero de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Junio de 2025.

Editor de Sección:

Dra. Elizabeth Urbina-Sánchez

Editor Técnico:

Dr. Marco Antonio Camacho Escobar



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

lettuces (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) grown under 3 different treatments: Chemical fertilizer (FQ); coffee pulp vermicompost (LC); and sheep manure vermicompost (LHB), with 10 replicates of each treatment. After harvest, the lettuces were stored at 5 ± 1 °C. Selected quality parameters of total soluble solids (TSS), pH, color, total phenolic compounds, total flavonoids, *in vitro* antioxidant activity, and polyphenol oxidase (PPO) activity were assessed on days 0, 5 and 10 of storage. The results showed that by the end of storage, LC lettuces had the highest luminosity and chromaticity values, as well as total phenolic compounds ($0.9 \text{ mg EAG g}^{-1}$), total flavonoids (0.8 mg CE g^{-1}), DPPH antioxidant activity (4.1 uET g^{-1}) and FRAP antioxidant activity ($6.9 \text{ uET g}^{-1} \mu\text{TE g}^{-1}$). LHB lettuces showed the lowest PPO activity. These results show evidence that the use of organic fertilizers, especially coffee pulp vermicompost, improves the postharvest quality of lettuce and maintains its shelf-life for up to 10 days of storage at 5 ± 1 °C, which can contribute to prevent spoilage and wastes, as well as to substitute the use of inorganic fertilizers, with their detrimental environmental effects.

Index words: *antioxidant activity, polyphenol oxidase enzyme (PPO), flavonoids, longifolia, vermicompost polyphenols.*

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las especies que más se cultiva y se consume a nivel mundial, existiendo diferentes tipos y variedades; además de que es una de las hortalizas más importantes que se consumen en forma fresca. Es fuente rica de minerales y agua, así como de compuestos antioxidantes como fenoles, vitaminas, carotenos, clorofilas y fibra (Hohl, Neubert, Pforte, Schonhof y Böhm, 2001).

Las hortalizas frescas, al ser fuente de antioxidantes, cada vez son más demandadas por los beneficios que pueden aportar a la salud (Sanzón-Gómez, D., Mireles, Aguirre, Montero y Ruiz, 2018). Sin embargo, tienen corta vida poscosecha, debido a su alta velocidad de respiración, lo que provoca pérdida de agua, oscurecimiento, así como, disminución de sus nutrientes, sabor y apariencia, afectando su valor comercial. Para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas, se han empleado tecnologías poscosecha, incluyendo disminución de la temperatura, envasado en atmósferas modificadas, irradiación y revestimientos comestibles, siendo la refrigeración la de mayor importancia (Jianglian y Shaoying, 2012).

Por otro lado, el uso de fertilizantes químicos contribuye a mejorar el rendimiento de producción de los cultivos y su calidad; sin embargo, el uso de estos fertilizantes ocasiona problemas de erosión de suelo, contaminación de aguas subterráneas, además de problemas a la salud (Namdev, Bajpai y Malik, 2011). En este sentido, se ha demostrado que el uso de fertilizantes orgánicos como la lombricomposta, mejoran la calidad de los cultivos, puesto que es fuente rica en nutrientes que aporta al cultivo los requerimientos necesarios para su desarrollo y crecimiento (Villarreal-Romero *et al.*, 2010). Asimismo, el uso de inóculos de HMA tienen efecto positivo en el crecimiento y contenido de N y P de plantas de lechuga, por lo que son potenciales fuentes de biofertilizantes nativos multi-específicos que conforman consorcios y favorecen la producción de esta hortaliza (Jiménez-Martínez, Montaña, Montaña y Chimal, 2025). Es una estrategia de desarrollo sustentable que se fundamenta, no solamente en mejor manejo del suelo, sino también en mayor valor agregado basado en principios ecológicos que permiten un sistema integrado basado en recursos locales (Alba *et al.*, 2020). Además de los efectos benéficos en las plantas y productos hortícolas (Lim, Wu, Lim y Shak, 2015), también se logra reducir el impacto ambiental de los desechos generados en diversas industrias, como la agricultura y la ganadería, con el consecuente impacto económico que conlleva la utilización de dichos residuos (Guo *et al.*, 2015; Blouin *et al.*, 2019).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar la calidad, durante el almacenamiento poscosecha a 5 °C, de lechuga *Lactuca sativa* L. cultivada en lombricomposta de pulpa de café y de estiércol de borrego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El presente trabajo se realizó durante los meses de septiembre a noviembre de 2021 en cama con dimensiones de 1 m × 18 m dentro de un invernadero del seminario Mayor de Xalapa, ubicado en la Unidad Habitacional FOVISSSTE, en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, cuyas coordenadas geográficas son 19° 33' 50.37" N, 96° 56' 40.64" O y 1418 metros de altitud.

Diseño Experimental

Se utilizó diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos: T1= fertilizante químico (FQ), T2 = lombricomposta con base de pulpa de café (LC) y T3 = lombricomposta de heces de borrego (LHB). Cada uno con 60 repeticiones teniendo en total 180 unidades experimentales. El trasplante se realizó 2 días después de la germinación, cuando las plantas de lechuga orejona (*Lactuca sativa* L.) de la marca comercial "Hortaflo" (Alba et al., 2020), tenían de 3 hojas a 4 hojas verdaderas, en bolsas negras de 4 kg con una mezcla de suelo y tepezil (mineral inerte de origen volcánico) triturado en proporción 2:1 (v/v) (Composición = materia orgánica 9.65%, 0.50% N, 49.92 mg kg⁻¹ P, 0.73 Me 100 g⁻¹ K, 5.93% C, 11.64 cd C/N, 1.97 mg kg⁻¹ Ca, 2.42 mg kg⁻¹ Mg, 9.12 mg kg⁻¹ Zn), el cual se desinfectó con formol en dosis de 12. 5 mL L⁻¹ de agua. La dosis, tanto para la lombricomposta con base de pulpa de café y de estiércol de borrego, fue de 363 g de acuerdo con la ficha técnica de SAGARPA (López, Magaña y Vázquez, 2014), las cuales se incorporaron a las bolsas antes del trasplante como única aplicación. Para el fertilizante químico se aplicaron 5 g de complejo azul (Nitrophoska), 7 días después del trasplante (Cuadro 1).

Después de la cosecha las plantas fueron almacenadas a 5±1 °C para su análisis a 0, 5 días y 10 días de almacenamiento; las pruebas se realizaron por cuadruplicado.

Para los análisis se realizaron cuatro extractos: acuoso (4 g de tejido fresco con 8 mL del solvente) para la determinación de parámetros fisicoquímicos; etanólico (2 g de tejido fresco con 10 mL del solvente) para contenido de polifenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante; enzimático (2 g de tejido fresco en 20 mL de amortiguador de fosfato de sodio 50 mM (pH 7)) para actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO) y con acetona (1 g de tejido fresco en 10 mL del solvente) para determinación de clorofila y carotenoides (Alba et al., 2020).

Variables Evaluadas

Los sólidos solubles totales (SST) y pH se midieron de acuerdo con el método descrito por AOAC (2005); color fue medido en términos del sistema CIEL*a*b* y se realizaron los cálculos de ángulo de matiz y cromaticidad (Alba et al., 2020); clorofila A, B, total y carotenoides mediante técnicas espectrofotométricas (Song et al., 2020); polifenoles totales se determinaron de acuerdo al método de Singleton y Rossi (1965); flavonoides totales se utilizó la metodología descrita por Zhishen, Mengcheng y Jianming (1999); actividad antioxidante se realizó por el método 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) descrito por Brand-Williams, Cuvelier y Berset (1995), y el método de FRAP descrito por Benzie y Strain (1999); y la actividad enzimática de PPO se determinó por el método descrito por Zhou, Li, Wu, Fan y Ouyang (2015), con algunas modificaciones.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo con fertilización química y orgánica (lombricomposta de pulpa de café y heces de borrego) al inicio del experimento.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil with chemical and organic fertilization (coffee and sheep feces vermicompost) at the beginning of the experiment.

	FQ	LC	LHB
Materia orgánica (%)	8.43±1.35	13.92±1.35	17.75±1.35
Carbono orgánico (%)	6.37±0.85	8.98±0.85	11.98±0.85
Carbono total (%)	6.50±1.08	8.04±1.08	13.62±1.08
H total (%)	1.95±0.16	2.05±0.16	2.97±0.16
N total (%)	2.05±0.16	0.80±0.43	3.23±0.43
Ca inter	17.22±3.81	1.98±3.81	28.25±3.81
Mg inter (%)	2.82±0.47	5.14±0.47	5.97±0.47
K inter (%)	1.66±0.36	3.86±0.36	3.79±0.36
P (%)	0.23±0.24	1.55±0.24	1.80±0.24

FQ = fertilizante químico; LC = lombricomposta a base de pulpa de café; LHB = lombricomposta de heces de borrego.
FQ = chemical fertilizer, LC = coffee pulp-based vermicompost; LHB = sheep feces vermicompost.

Análisis Estadístico

Una vez integrados los valores obtenidos en los estudios físico-químicos, compuestos con actividad antioxidante y la actividad enzimática de cada muestra, se realizaron análisis de varianza bifactorial mediante modelo lineal completamente aleatorio para evaluar el efecto de sustrato y días de almacenamiento. Posteriormente, se realizaron comparaciones de medias por el método de Tukey ($P < 0.05$), todo mediante el programa estadístico JMP 6 (SAS Institute, 2004; Alba *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el almacenamiento, las lechugas bajo FQ mantuvieron pH estable de 5.4 hasta el día 10, mientras que aquellas tratadas con LC o LHB mostraron una ligera tendencia a disminuir, desde 5.6 y 5.8, respectivamente, en el día 0 hasta 5.4 y 5.5 en el día 10 (Cuadro 2). Polat, Demir y Onus (2008), reportaron en lechuga tipo iceberg, fertilizada bajo sistema orgánico, valores de 6.08 a 6.61, similar a lo reportado en este estudio.

El comportamiento observado en el pH se asocia con el contenido de diversos ácidos orgánicos, que son sustrato de la actividad metabólica, y considerando la temperatura en la que fueron almacenadas las lechugas, se pudo mantener la tasa de respiración suficientemente elevada como para disminuir la cantidad de ácidos orgánicos, pero considerando el efecto de la pérdida de agua, la concentración de ácidos parece mantenerse al final del almacenamiento, lo que explicaría la falta de cambios en el valor de pH (Cuadro 2) (Vargas-Arcila *et al.*, 2017).

Respecto al contenido de sólidos solubles totales, las lechugas bajo FQ y con LC mostraron reducción significativa al día cinco, con incremento para el día 10, no mostrando diferencias significativas al final del almacenamiento en comparación al día cero. Por su parte, las lechugas bajo tratamiento con LHB mostraron tendencia a disminuir, siendo significativamente menor al final del almacenamiento y en comparación a los otros tratamientos. De acuerdo con Vargas-Arcila *et al.* (2017) reportan en diferentes variedades de lechuga (romana, lollo rosa, alfa o cabeza de mantequilla, graziela) durante el almacenamiento a 5.5 °C, valores de 3.2 a 4.6 de sólidos solubles totales, similares a los obtenidos en este estudio. Por otra parte, Polat *et al.* (2008) reportaron en lechuga tipo iceberg, fertilizada bajo sistema orgánico, valores de 3.40 a 4.07, menores a los reportados en este estudio.

El aumento de SST durante el almacenamiento puede deberse a la degradación de los polisacáridos en azúcares simples, lo que ocasiona aumento en SST. Este atributo de calidad contribuyó a conservar su sabor (Esparza-Rivera *et al.*, 2013). Mientras que la disminución en los SST podría estar asociada al incremento en la actividad metabólica, lo que provoca mayor tasa de respiración y mayor consumo de sustratos, lo cual explicaría el comportamiento observado (Wahid *et al.*, 2021).

Cuadro 2. Cambios en SST y pH de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en diferentes sustratos y almacenada a 5 °C±1.

Table 2. Changes in TSS and pH of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in different substrates and stored at 5 °C±1.

Días de almacenamiento	Tratamiento	pH	SST
0	FQ	5.4±0.01 de	3.7±0.05 ab
	LC	5.6±0.01 c	4.1±0.05 a
	LHB	5.8±0.01 a	3.8±0.05 a
5	FQ	5.4±0.01 d	3.2±0.05 c
	LC	5.7±0.01 b	3.3±0.05 bc
	LHB	5.4±0.01 de	3.2±0.05 c
10	FQ	5.4±0.01 e	3.9±0.05 a
	LC	5.4±0.01 e	3.8±0.05 a
	LHB	5.5±0.01 d	3.0±0.05 c

FQ = fertilizante químico; LC = lombricomposta a base de pulpa de café; LHB = lombricomposta de heces de borrego; SST = sólidos solubles totales (°Brix). Valores promedio ± error estándar con la misma letra indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos y días de almacenamiento. Tukey ($P < 0.05$).

FQ = chemical fertilizer; LC = coffee pulp-based vermicompost; LHB = sheep feces vermicompost; TSS = total soluble solids (°Brix). Mean values ± standard error with the same letter indicate no significant differences between treatments and storage days. Tukey ($P < 0.05$).

Los resultados de los parámetros de color, de acuerdo con el sistema CIELab, se presentan en el Cuadro 3. Las lechugas bajo FQ mostraron valor de luminosidad (L) significativamente menor a los otros tratamientos a 10 días de almacenamiento, al igual que valor menor de cromaticidad (C*), sugiriendo tonalidad más opaca en comparación a los tratamientos con lombricomposta. No se observaron diferencias significativas en el valor de ángulo matiz (h°), lo que sugiere colores iguales independientemente del tratamiento, que se ubica en tonalidad verde. Respecto a los parámetros de a* y b*, las lechugas bajo FQ presentaron el valor más alto para a* y más bajo para b*, al final del almacenamiento. Resultados similares fueron reportados por Vargas-Arcila et al. (2017), en los que se observaron diferencias entre las diversas variedades de lechuga evaluadas, pero no entre los días de almacenamiento.

En el contenido de clorofila A, al inicio del almacenamiento no se observaron diferencias significativas entre las lechugas cultivadas en los sustratos orgánicos y el FQ. Al día 10, se reportaron los mayores valores en el FQ y el tratamiento de LC con valores de 96.4 µg g⁻¹ y 113.0 µg g⁻¹, respectivamente. En el contenido de clorofila B se observó tendencia similar, no presentando diferencias significativas en los primeros cinco días de almacenamiento y llegando a ser significativamente mayores a 10 días de almacenamiento, en el que las lechugas tratadas con LC y de LHB presentaron los valores más altos, de 63.3 y 69.3 µg g⁻¹, respectivamente. En cuanto a clorofila total, la tendencia fue la misma, mostrando incrementos con el paso del tiempo. Al final del almacenamiento, las lechugas tratadas con LC presentaron el valor más alto, de 179.8 µg g⁻¹, seguido por las lechugas tratadas con LHB, 132.8 µg g⁻¹ y finalmente las lechugas bajo FQ, con 151.6 µg g⁻¹ (Cuadro 4).

Tendencia similar al contenido de clorofila se observó para el contenido de carotenoides. Al inicio del almacenamiento, el valor más alto se observó en las lechugas bajo FQ, con valor de 10.8 µg g⁻¹. Al pasar el tiempo, los valores incrementaron significativamente en todos los tratamientos, observándose al final los más altos en las lechugas tratadas con LC y LHB, 51.8 y 51.2 µg g⁻¹ respectivamente, en comparación al FQ, 44.0 µg g⁻¹ (Cuadro 4). Estos resultados coinciden con lo reportado por Coria-Cayupán, Sánchez de Pinto y Nazareno (2009), quienes observaron que los cultivos de lechuga adicionados con composta y lombricomposta mostraron concentraciones totales de clorofila y carotenoides significativamente superiores a los del grupo control, sin tratamiento químico u orgánico. Similarmente, Hamed, Ismail, El-Maati y Desoky (2022) observaron que la adición de lombricomposta a cultivos de lechuga incrementó significativamente la concentración de clorofila a, b y contenido de carotenoides, siendo mayor el efecto al incrementar la cantidad de lombricomposta añadida a la tierra.

En el Cuadro 5 se muestra el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante por el método de DPPH y FRAP. Durante el almacenamiento, se observa. Al final del almacenamiento, las lechugas cultivadas en el tratamiento LC y LHB fueron las que presentaron el mayor contenido de polifenoles totales (0.9 mgEAG g⁻¹), flavonoides totales (0.8 mgECat g⁻¹) y actividad antioxidante por DPPH (4.1 µETrolox g⁻¹), y FRAP (6.9 µETrolox g⁻¹), respecto a FQ.

Cuadro 3. Cambios en los parámetros de color en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en diferentes fertilizantes y almacenada a 5 °C±1. Table 3. Changes during storage in color parameters in lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in different fertilizers and stored at 5 °C±1.

Días de almacenamiento	Tratamiento	L	a*	b*	h°	C*
0	FQ	45.5±0.58 ab	-17.3±0.20 b	26.2±0.48 ab	123.6±0.28 a	31.4±0.49 abc
	LC	46.3±0.58 ab	-16.6±0.20 b	26.3±0.48 ab	122.4±0.28 abc	31.1±0.49 abc
	LHB	45.4±0.58 ab	-16.1±0.20 ab	24.7±0.48 b	123.1±0.28 ab	29.5±0.49 bc
5	FQ	45.0±0.58 ab	-16.1±0.20 ab	24.6±0.48 b	123.3±0.28 a	29.5±0.49 bc
	LC	44.8±0.58 ab	-16.8±0.20 b	25.7±0.48 ab	123.4±0.28 a	30.7±0.49 abc
	LHB	44.7±0.58 ab	-17.3±0.20 b	27.2±0.48 ab	122.7±0.28 abc	32.2±0.49 ab
10	FQ	42.3±0.58 b	-15.1±0.20 a	24.1±0.48 b	122.2±0.28 abc	28.5±0.49 c
	LC	47.4±0.58 a	-16.9±0.20 b	28.3±0.48 a	121.0±0.28 c	33.0±0.49 a
	LHB	46.8±0.58 a	-17.1±0.20 b	28.3±0.48 a	121.3±0.28b c	33.1±0.49 a

FQ = fertilizante químico; LC = lombricomposta con base de pulpa de café; LHB = lombricomposta de heces de borrego; L* = luminosidad; a* = valores ubicados en el eje que va de verde a rojo; b* = valores ubicados en el eje que van del azul al amarillo. Valores promedio ± error estándar con la misma letra indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos y días de almacenamiento. Tukey (P < 0.05).

FQ = chemical fertilizer; LC = coffee pulp-based vermicompost; LHB = sheep feces vermicompost; L* = luminosity; a* = values located on the axis ranging from green to red; b* = values located on the axis ranging from blue to yellow. Mean values ± standard error with the same letter indicate no significant differences between treatments and storage days. Tukey (P < 0.05).

Cuadro 4: Cambios en el contenido de clorofila y carotenoides en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en diferentes sustratos y almacenada a 5 °C±1.**Table 4: Changes in the content of chlorophyll and carotenoids in lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on different fertilizers and stored at 5 °C±1.**

Días de almacenamiento	Tratamiento	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila total	Carotenoides
		$\mu\text{g g}^{-1}$ tf		$\mu\text{g g}^{-1}$	
0	FQ	28.6±2.67 d	29.2±1.80cd	58.7±1.90ef	10.8±0.45ef
	LC	26.4±2.67 d	26.7±1.80 cd	53.9±1.90 f	7.9±0.45f g
	LHB	25.7±2.67 d	25.2±1.80 d	51.7±1.90 f	6.7±0.45 g
5	FQ	53.8±2.67 bc	38.5±1.80 c	94.1±1.90 d	16.9±0.45 c
	LC	38.2±2.67 cd	31.9±1.80 cd	71.3±1.90 e	11.8±0.45 de
	LHB	57.1±2.67 b	35.6±1.80 cd	94.5±1.90 d	14.1±0.45 cd
10	FQ	96.4±2.67 a	52.2±1.80 b	151.6±1.90 b	44.0±0.45 b
	LC	113.0±2.67 a	63.3±1.80 ab	179.8±1.90 a	51.8±0.45 a
	LHB	61.2±2.67 b	69.6±1.80 a	132.8±1.90 c	51.2±0.45 a

FQ = fertilizante químico; LC = lombricomposta con base de pulpa de café; LHB = lombricomposta de heces de borrego. Valores promedio ± error estándar con la misma letra indica que no existen diferencias entre tratamientos y días de almacenamiento. Tukey ($P < 0.05$).

FQ = chemical fertilizer; LC = coffee pulp-based vermicompost; LHB = sheep feces vermicompost. Mean values ± standard error with the same letter indicate no differences between treatments and storage days. Tukey ($P < 0.05$).

El decremento observado en el contenido de polifenoles y flavonoides totales, podría estar relacionado con mayor actividad de la enzima PPO, ya que estos compuestos constituyen los principales sustratos para la acción de dicha enzima (Cabiddu *et al.*, 2014). Un comportamiento similar fue observado por Vargas-Arcila *et al.* (2017) y Pace, Cardinali, D'Antuono, Serio y Cefola (2014), en lechuga de diferentes variedades (Parris Island, lollo rosa, alfa o cabeza de mantequilla, graziela, y Iceberg), donde el contenido de polifenoles totales disminuyó durante el almacenamiento en refrigeración. Así mismo, Salazar (2021¹) reportó en lechuga orejona cultivada en dos sustratos orgánicos (lombricomposta de café y estiércol de borrego), decremento en el contenido de polifenoles y flavonoides totales cuando se almacenó a 5 °C durante 10 días, presentando mayor contenido el sustrato de lombricomposta de café, con valores de 0.94 a 1.3 mg EAG g⁻¹ pf para polifenoles y 0.15 a 0.89 mg Ecat g⁻¹ para flavonoides, similares a los reportados en la presente investigación.

Cuadro 5. Cambios en el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides totales, actividad antioxidante por método DPPH y FRAP, en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en diferentes sustratos y almacenada a 5 °C±1.**Table 5. Changes in the content of phenolic compounds, total flavonoids, antioxidant activity by DPPH and FRAP methods, in lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in different substrates and stored at 5 °C±1.**

Días de almacenamiento	Tratamiento	Polifenoles	Flavonoides	DPPH	FRAP
		mgEAG g ⁻¹	mgEcat g ⁻¹	$\mu\text{Etrolox g}^{-1}$	
0	FQ	1.5±0.04 a	1.4±0.02 ab	7.4±0.09 ab	9.6±0.10 ab
	LC	1.2±0.04 a	1.1±0.02 bc	6.1±0.09 abc	9.2±0.10 abc
	LHB	1.4±0.04 a	1.5±0.02 a	9.1±0.09 a	12.7±0.10 a
5	FQ	0.7±0.04b c	0.7±0.02 de	3.2±0.09 de	4.9±0.10 de
	LC	0.9±0.04 b	0.7±0.02 de	4.8±0.09 bcd	7.2±0.10 bcd
	LHB	0.6±0.04b c	1.0±0.02 bc	2.8±0.09 de	5.1±0.10 cde
10	FQ	0.5±0.04 c	0.5±0.02 e	2.5±0.09 e	2.5±0.10 e
	LC	0.9±0.04 b	0.8±0.02 cd	4.1±0.09 cde	6.9±0.10 bcd
	LHB	0.6±0.04b c	0.7±0.02 de	3.0±0.09 de	4.9±0.10 cde

FQ = fertilizante químico; LC = lombricomposta con base de pulpa de café; LHB = lombricomposta de heces de borrego. Valores promedio ± error estándar con la misma letra indica que no existen diferencias entre tratamientos y días de almacenamiento. Tukey ($P < 0.05$).

FQ = chemical fertilizer; LC = coffee pulp-based vermicompost; LHB = sheep feces vermicompost. Mean values ± standard error with the same letter indicate no differences between treatments and storage days. Tukey ($P < 0.05$).

¹ Salazar, B. S. I. (2021). *Cambios en el contenido de compuestos antioxidantes y actividad enzimática en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en diferentes sustratos orgánicos durante el almacenamiento poscosecha*. Tesis para obtener el grado de licenciatura. Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.

En cuanto a la actividad antioxidante, la disminución observada en todos los tratamientos podría estar relacionada a la disminución en el contenido de polifenoles y flavonoides totales, ya que se ha reportado que una de las propiedades principales de dichos compuestos es la actividad antioxidante por su capacidad de atrapar radicales libres (Cuadro 5) (Dangles *et al.*, 2012). Disminución en la actividad antioxidante también fue observada por Salazar (2021) en lechugas cultivadas en lombricomposta de café y estiércol de borrego almacenadas a 5 °C durante 10 días, reportando valores de actividad antioxidante por el método de DPPH y FRAP de 2 a 4.6 $\mu\text{mol Eq Trolox g}^{-1}$, y 2.6 a 5 $\mu\text{mol Eq Trolox g}^{-1}$, respectivamente; resultados similares a lo reportado en este estudio. Por su parte, Avilés-Colmenero *et al.* (2019) reportaron valores de 0.201 mg Eq Trolox g^{-1} en lechuga de cultivo tradicional y 0.199 $\mu\text{mol Eq Trolox g}^{-1}$ en lechuga de cultivo orgánico, inferiores a los reportados en este estudio.

El mayor contenido de compuestos con actividad antioxidante en las lechugas cultivadas en lombricomposta de café, podría estar relacionado al estrés de la planta por deficiencia en el contenido de nitrógeno (Cuadro 5), conduciendo a la desaminación de fenilalanina por la actividad catalítica de PAL, y así producir mayor cantidad de compuestos fenólicos (Gershenzon, 1984).

En cuanto a la actividad de la enzima PPO, se observa desde el inicio del almacenamiento mayor actividad en FQ (0.0145 g^{-1}), comparado con LC (0.0097 g^{-1}) y LHB (0.076 g^{-1}) (Figura 1). Durante todo el almacenamiento, se presenta aumento de la actividad de PPO en todos los tratamientos, siendo el tratamiento de FQ el que presenta el mayor incremento al día 10 de almacenamiento (0.0331 g^{-1}), seguido del tratamiento LC (0.0174 g^{-1}), mientras que LHB presentó la menor actividad (0.0134 g^{-1}).

En cuanto a la actividad de PPO, el incremento observado podría deberse al estrés de las lechugas derivado del manejo y almacenamiento poscosecha, lo cual provoca reacciones de oxidación de los compuestos fenólicos en presencia de oxígeno molecular, así como la formación de compuestos oxidados por la acción enzimática, lo que desencadena reacciones de pardeamiento (Figura 1) (Suárez, Andreu, Colman, Clausen y Feingold, 2009). Salazar (2021) reporta en lechuga orejona cultivada en lombricomposta de café y estiércol de borrego almacenadas a 5 °C durante 10 días, incremento en la actividad de la enzima PPO, con valores de 0.045 a 0.26 UA PPO $\text{g}^{-1} \text{min}^{-1}$, mayores a lo registrado en este estudio. Por su parte, Mohammed, Saleh y Mandour (2019) evaluaron el efecto de diferentes fuentes de fertilización orgánica, encontrando que el fertilizante con base de estiércol de pollo, mejora el almacenamiento de plantas de lechuga al reducir la actividad del polifenol oxidasa PPO. Esto es muy similar a lo encontrado en este estudio ya que los tratamientos de LHB y LC obtuvieron la menor actividad de PPO comparados con FQ.

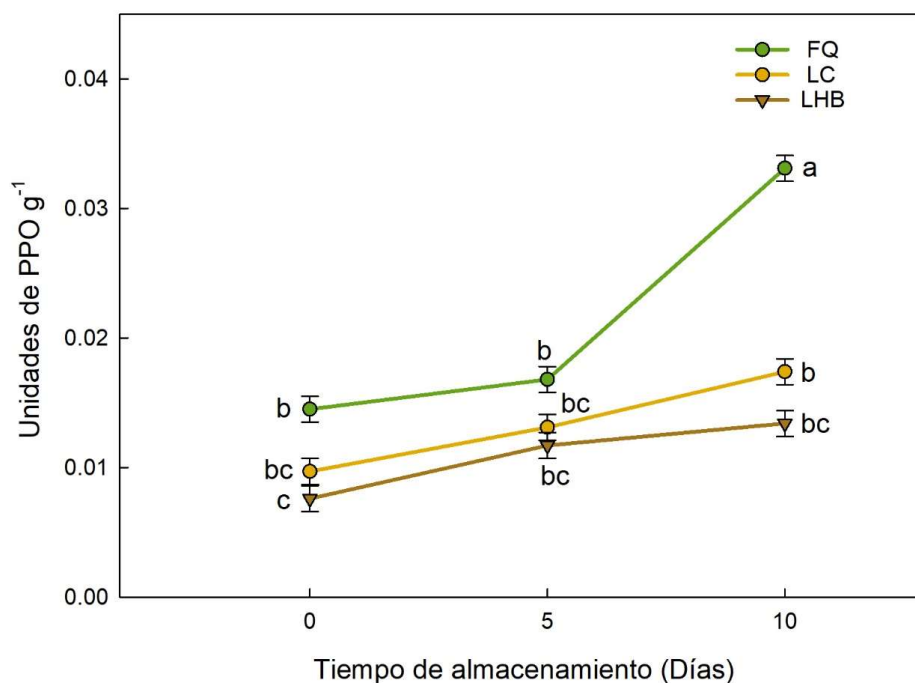


Figura 1. Cambios en la actividad de PPO en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en diferentes sustratos y almacenada a 5 °C±1.

Figure 1. Changes in PPO activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in different substrates and stored at 5 °C±1.

CONCLUSIONES

La fertilización orgánica con base de pulpa de café podría ser alternativa para su aplicación en el cultivo de lechuga orejona (*Lactuca sativa* L.), ya que contribuye a mantener su calidad y contenido de compuestos antioxidantes durante un periodo de 10 días a 5 °C, ayudando a incrementar su vida de anaquel y prevenir los efectos negativos ambientales por la utilización de tratamientos químicos, y además aprovechar los subproductos de otras industrias, como la cafetalera, que pueden contribuir a la contaminación ambiental.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: J.E.A.J. Metodología: E.N.A.B., J.E.A.J. y L.L.C. Análisis formal, investigación: J.E.A.J. y E.N.A.B. Recursos: J.E.A.J. y E.N.A.B. Escritura: preparación del borrador original, J.E.A.J. y M.A.S.B. Escritura: revisión y edición, J.E.A.J. y M.A.S.B. Visualización: E.N.A.B., J.E.A.J. y M.A.S.B. Administración del proyecto: J.E.A.J., M.A.S.B., S.I.S.B. y M.L.M.C.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Alba-Jiménez, J. E., Lozano-Villalba, F. N., Armenta-Romero, E. L., Martínez-Chacón, A. J., Rodríguez-Olivarez, M., Polanco-Medina, I. P., ... & Aquino-Bolaños, E. N. (2020). Efecto de la aplicación de lombricomposta en la calidad y compuestos con actividad antioxidantes en lechuga (*Lactuca sativa* L.). En C. E. Solano Sosa, M. E. Sánchez Morales, G. V. Vázquez García, A. Martínez García & E. L. Ramos Guerrero (Eds.), *Miscelánea Científica en México. Tomo II: Biotecnología y Ciencias Agropecuarias* (pp. 90-101). Lagos de Moreno, Jalisco: Temacilli Editorial. ISBN 978-607-8358-88-5.
- AOAC (Association of Official Analytical Collaboration). (2005). *Official methods of analysis* (18^a ed.). In William Horwitz & George W. Latimer Jr. (Eds.). Washington, DC, USA: AOAC International. ISBN 0-935584-77-3.
- Avilés-Colmenero, A. G., Appel-Vázquez, C., Caballero-Robledo, C. F., Cruz-Bautista, J. G., Estrada-Morales, J. M., Macías-Curiel, M. G., ... & FA, B. M. (2019). En *XXI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Determinación de la capacidad de antioxidante en lechugas en diferentes sistemas de producción agrícola. in compendio científico en ciencias agrícolas y biotecnología* (pp. 15-18). Terrassa, Barcelona, España: OmniaScience.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299, 15-27. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99005-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99005-5)
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cabiddu, A., Lee, M. R. F., Decandia, M., Molle, G., Salis, L., Vargiu, M., & Winters, A. L. (2014). Characterization of polyphenol oxidase activity in a range of forage ecotypes with different phenol substrates. A new insight for PPO and protein-bound phenol evaluation. *Grass and Forage Science*, 69(4), 678-692.
- Coria-Cayupán, Y. S., Sánchez de Pinto, M. I., & Nazareno, M. A. (2009). Variations in bioactive substance contents and crop yields of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in soils with different fertilization treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10122-10129. <https://doi.org/10.1021/jf903019d>
- Dangles, O. (2012). Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance. *Current Organic Chemistry*, 16(6), 692-714. <https://doi.org/10.2174/138527212799957995>
- España-Rivera, J. R., Navarro-Bravo, A., Kendall, P., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., & Meza-Velázquez, J. A. (2013). Aceptabilidad de lechuga de hoja fresca troceada, tratada con ácido ascórbico mediante hidrogenfrío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 767-778.
- Gershenzon, J. (1984). Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: *Phytochemical adaptations to stress* (pp. 273-320). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1206-2_10
- Guo L., Wu, G., Li C., Liu W., Yu X., Cheng D. & Jiang, G. (2015). Vermicomposting with maize increases agricultural benefits by 304%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1149-1155. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0307-0>
- Hamed, F. R., Ismail, H. E. M., El-Maati, M. F. A., & Desoky, E. M. (2022). Effect of vermicompost-tea and plant extracts on growth, physiological, and biochemical traits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 54(5), 1202-1215. <https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.5.21>
- Hohl, U., Neubert, B., Pforte, H., Schonhof, I., & Böhm, H. (2001). Flavonoid concentrations in the inner leaves of head lettuce genotypes. *European Food Research and Technology*, 213, 205-211. <https://doi.org/10.1007/s002170100361>
- Jianglian, D., & Shaoying, Z. (2013). Application of chitosan based coating in fruit and vegetable preservation: A review. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(5), 227. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000227>
- Jiménez-Martínez, A., Montañón, N. M., Montañón-Arias, S. A., & Chimal-Sánchez, E. (2025). Hongos Micorrízicos Arbusculares de un Sistema Agroforestal Semiárido Promueven el Crecimiento y Nutrición de la Lechuga. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2088>
- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- López, G., Magaña, N., & Vázquez, C. (2014). *Carta tecnológica del cultivo de lechuga*. Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Mohammed, O. O., Saleh, M. A., & Mandour, M. A. (2019). Effect of different sources of organic fertilizers on vegetative growth, yield and storability of lettuce plants. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 97(4), 685-703. <https://doi.org/10.21608/ejar.2019.1111102>
- Namdev, G. R., Bajpai, A., & Malik, S. (2011). Effect of chemical fertilizers on water quality of an irrigation reservoir (Kaliasote Reservoir) of Bhopal (M.P.). *Current World Environment*, 6(1), 169-172. <https://doi.org/10.12944/CWE.6.1.25>
- Pace, B., Cardinali, A., D'Antuono, I., Serio, F., & Cefola, M. (2014). Relationship between quality parameters and the overall appearance in lettuce during storage. *International Journal of Food Processing Technology*, 1, 18-26.
- Polat, E., Demir, H., & Onus, A. N. (2008). Comparison of some yield and quality criteria in organically and conventionally-grown lettuce. *African Journal of Biotechnology*, 7(9), 1235-1239.
- SAS Institute (2004). *Statistical Analysis System. User's Guide. Release 9.0.3*. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc.
- Sanzón-Gómez, D., Mireles-Arriaga, A. I., Aguirre-Mancilla, C. L., Montero-Tavera, V., & Ruiz-Nieto, J. E. (2018). Kinetics of the physiological and antioxidant response to water stress in lettuce. *Interciencia*, 43(7), 521-525.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Song, J., Huang, H., Hao, Y., Song, S., Zhang, Y., Su, W., & Liu, H. (2020). Nutritional quality, mineral and antioxidant content in lettuce affected by interaction of light intensity and nutrient solution concentration. *Scientific Reports*, 10(1), 2796. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59574-3>
- Suárez, P. A., Andreu, A. B., Colman, S. L., Clausen, A. M., & Feingold, S. E. (2009). Pardeamiento enzimático: caracterización fenotípica, bioquímica y molecular en variedades de papa nativas de la Argentina. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15(1), 66-72. <https://doi.org/10.37066/ralap.v15i1.156>
- Vargas-Arcila, M., Cartagena-Valenzuela, J. R., Franco, G., Correa-Londoño, G. A., Quintero-Vásquez, L. M., & Gaviria-Montoya, C. A. (2017). Changes in the physico-chemical properties of four lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties during storage. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 257-273. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:632
- Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., Sánchez-Peña, P., Hernández-Verdugo, S., Osuna-Enciso, T., & Basilio Heredia, J. (2010). Cobertura vegetal, vermicompost y actividad microbiana del suelo en la producción de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 217-231.
- Wahid, F., Baig, S., Bhatti, M. F., Manzoor, M., Ahmed, I., & Arshad, M. (2021). Growth responses and rubisco activity influenced by antibiotics and organic amendments used for stress alleviation in *Lactuca sativa*. *Chemosphere*, 264, 128433. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128433>
- 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)
- Zhou, D., Li, L., Wu, Y., Fan, J., & Ouyang, J. (2015). Salicylic acid inhibits enzymatic browning of fresh-cut Chinese chestnut (*Castanea mollissima*) by competitively inhibiting polyphenol oxidase. *Food Chemistry*, 171, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.115>