

Red de Investigación Estudiantil de la Universidad del Zulia
Revista Venezolana de Investigación Estudiantil

REDIELUZ

Sembrando la Investigación Estudiantil

Vol. 15 N° 1

Enero - Junio 2025



ISSN: 2244-7334
Depósito Legal: pp201102ZU3769



VAC

Universidad del Zulia
Vicerrectorado Académico

ANÁLISIS MULTIELEMENTAL DE ARSÉNICO Y PLOMO EN INFUSIONES FITOTERAPÉUTICAS de *Amaranthus hybridus* y *Lavándula angustifolia* MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Multielemental Analysis of Arsenic and Lead in Phytotherapeutic Infusions of *Amaranthus hybridus* and *Lavandula angustifolia* Using Atomic Absorption Spectrophotometry

Joshua Bravo-Neira, Karen Rodas-Pazmiño, Andreina Torres-Rodríguez,

*Fabián Ortiz-Becerra, Steward Alvarado-Marquez, Dayana Basurto-Minaya

Universidad Estatal de Milagro (UNEMI) - Ecuador

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1946-6568>, <https://orcid.org/0000-0002-6461-1068>

jbravon@unemi.edu.ec, krodasp2@unemi.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la presencia de arsénico (As) y plomo (Pb) en infusiones formuladas a partir de *Amaranthus hybridus* y *Lavándula angustifolia*, cultivadas en la región Sierra del Ecuador, a fin de verificar su inocuidad conforme a los límites establecidos por el Codex Alimentarius. Las formulaciones fueron elaboradas siguiendo los parámetros de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2392:2007. La cuantificación de los metales se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS), bajo protocolos validados con controles de calidad internos y estándares de referencia certificados. Adicionalmente, se efectuó un análisis sensorial para evaluar las características organolépticas del producto, observándose un perfil agradable y armónico en términos de aroma, sabor y aceptación general por parte de los panelistas. Los resultados analíticos indicaron concentraciones de arsénico inferiores al límite de detección (ND), mientras que las concentraciones de plomo presentaron un valor medio de 0.279 mg/kg, dentro del rango de 0.01 a 0.35 mg/kg. Estos valores se encuentran dentro de los límites máximos permitidos (0.6 mg/kg para infusiones herbales). El análisis estadístico (ANOVA) no mostró diferencias significativas entre las distintas muestras ($p > 0.05$), sugiriendo uniformidad en la calidad de las materias primas y en el proceso

de elaboración. Los hallazgos enfatizan la importancia de establecer sistemas de monitoreo permanente y el cumplimiento estricto de normativas para garantizar la seguridad y calidad de productos fitoterapéuticos destinados al consumo humano.

Palabras clave: *Amaranthus hybridus*, *Lavándula angustifolia*, Metales pesados, Espectrofotometría de absorción atómica, Inocuidad alimentaria.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the presence of arsenic (As) and lead (Pb) in infusions formulated from *Amaranthus hybridus* and *Lavandula angustifolia*, cultivated in the Sierra region of Ecuador, to verify their safety in accordance with the limits established by the Codex Alimentarius. The formulations were prepared following the guidelines of the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 2392:2007. Metal quantification was performed using atomic absorption spectrophotometry (AAS), applying validated protocols with internal quality controls and certified reference standards. Additionally, a sensory analysis was conducted to assess the organoleptic characteristics of the product, revealing a pleasant and harmonious profile in terms of aroma, flavor, and overall consumer acceptability. Analytical results indicated arsenic concentrations below the detection limit (ND), while lead concentrations showed a mean value of 0.279 mg/kg,

ranging from 0.01 to 0.35 mg/kg. These values fall within the maximum permissible limits (0.6 mg/kg for herbal infusions). Statistical analysis (ANOVA) revealed no significant differences among the different samples ($p > 0.05$), suggesting uniformity in raw material quality and production processes. The findings underscore the importance of implementing continuous monitoring systems and strict regulatory compliance to ensure the safety and quality of phytotherapeutic products intended for human consumption.

Keywords: *Amaranthus hybridus*, *Lavandula angustifolia*, Heavy metals, Atomic absorption spectrophotometry, Food safety.

Recibido: 04-03-2025 Aceptado: 18-03-2025

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria y la inocuidad de productos naturales constituyen actualmente ejes prioritarios dentro de la investigación en salud pública, particularmente frente al incremento global en el consumo de productos fitoterapéuticos y nutracéuticos (Poswal et al., 2020; OMS, 2022). Las infusiones herbales, ampliamente valoradas por sus propiedades terapéuticas, antioxidantes y ortomoleculares, son consumidas bajo la percepción de ser alternativas naturales inocuas (Singh y Kumar, 2017). No obstante, su cultivo, recolección y procesamiento pueden exponerlas a contaminantes inorgánicos, como los metales pesados arsénico (As) y plomo (Pb), cuya toxicidad acumulativa representa un riesgo sustancial para la salud humana (Carocci et al., 2016; Gaviláñez et al., 2021).

Diversos estudios han documentado los efectos adversos de la exposición crónica a estos metales, los cuales incluyen alteraciones gastrointestinales, neurotoxicidad, disfunción renal, daño hematológico e incremento del riesgo carcinogénico, incluso a bajas concentraciones de exposición prolongada (Lodoño et al., 2016; Escolar, 2018). La presencia de estos contaminantes en productos destinados a la promoción de la salud contradice su propósito terapéutico y plantea serios desafíos regulatorios. El presente estudio se enfoca en la evaluación toxicológica de infusiones elaboradas a partir de *Amaranthus hybridus* y *Lavandula angustifolia*, dos especies ampliamente utilizadas en la medicina tradicional y cultivadas en la región Sierra del Ecuador, región caracterizada por variabilidad edáfica y potencial exposición ambiental a contaminantes (Gallegos y Gallegos, 2017). La necesidad de esta-

blecer controles analíticos robustos es fundamental para verificar que los niveles de As y Pb cumplan con los estándares internacionales establecidos por el Codex Alimentarius, el cual define límites máximos de 0.6 mg/kg para Pb en infusiones herbales (CODEX STAN 193; OMS, 2022).

Para tal fin, se aplicó la espectrofotometría de absorción atómica (AAS), reconocida por su alta sensibilidad, precisión y reproducibilidad en la cuantificación de metales pesados en matrices alimentarias (Poswal et al., 2020; Noman et al., 2019). Esta investigación, desarrollada en colaboración con el Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI) del Ecuador, genera evidencia científica rigurosa que respalda el fortalecimiento de normativas de control, fomenta la vigilancia sanitaria permanente y promueve la responsabilidad compartida de productores, autoridades regulatorias y consumidores en la protección de la salud pública (INEN, 2021).

DESARROLLO DE ARTÍCULO

El empleo de especies vegetales con fines terapéuticos constituye una práctica milenaria ampliamente extendida, respaldada por la presencia de metabolitos secundarios con propiedades farmacológicas específicas. Las infusiones herbales, como forma de administración tradicional, combinan efectos bioactivos nutracéuticos con un perfil de seguridad generalmente favorable (Ravanbakhsh et al., 2017; Schulzki et al., 2017). Sin embargo, el escalamiento industrial de su producción ha intensificado la preocupación respecto a la incorporación inadvertida de contaminantes inorgánicos, particularmente elementos traza tóxicos como el arsénico (As) y el plomo (Pb), con alto potencial toxicológico (Carocci et al., 2016; OMS, 2022). *Amaranthus hybridus* (Amaranthaceae) y *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae) se han consolidado como modelos fitoquímicos relevantes por su capacidad de sintetizar una diversidad de compuestos bioactivos, entre los que destacan polifenoles, flavonoides, ácidos fenólicos, aceites y oligoelementos esenciales (Bayón, 2015; Gallegos y Gallegos, 2017). Estas especies exhiben efectos antioxidantes, antiinflamatorios, hipolipemiantes, ansiolíticos y neuroprotectores documentados (Ordoñez et al., 2021; Pandur et al., 2021). No obstante, su interacción con el medio edáfico las convierte también en eficientes bioacumuladores de elementos potencialmente tóxicos, razón por la cual resulta crítica su vigilancia sanitaria.

Las normativas internacionales, como las establecidas por el Codex Alimentarius y la normativa ecuatoriana INEN 2392:2007, definen los límites máximos permisibles para metales pesados en matrices fitoterapéuticas de uso humano (CODEX STAN 193; OMS, 2022), estableciendo umbrales de 0.6 mg/kg para plomo en infusiones y límites más estrictos para arsénico.

Perfil botánico, bioquímico y capacidad bioacumuladora

Amaranthus hybridus es una especie herbácea anual ampliamente distribuida en regiones subtropicales, caracterizada por tallos erectos, hojas alternas de morfología oval-lanceolada e inflorescencias en panículas densas (Costa et al., 2015). Su perfil nutricional destaca por un contenido elevado de proteínas (13.5 g/100 g), fibra dietética (6.7 g/100 g), lípidos (7 g/100 g) y minerales trazas esenciales (Soriano y Aguirre, 2019). Los metabolitos secundarios, fundamentalmente compuestos fenólicos, carotenoides y flavonoides, le confieren capacidad antioxidante, hepatoprotectora y antiinflamatoria (Baraniak y Dobrowolska, 2022).

Lavándula angustifolia, conocida por ser una planta leñosa perenne, con hojas opuestas lanceoladas y flores azuladas agrupadas en espigas terminales. Su perfil fitoquímico es dominado por monoterpenos oxigenados (linalool, acetato de linalilo) y cumarinas con actividad farmacológica comprobada (Zagała et al., 2016; López et al., 2017). Sus aplicaciones terapéuticas abarcan efectos ansiolíticos, sedantes, antimicrobianos, antiinflamatorios y neuroprotectores (Pandur et al., 2021).

Ambas especies constituyen bioindicadores idóneos para estudios de bioacumulación metálica dada su elevada superficie foliar expuesta y sus características fisiológicas de absorción radicular.

Toxicología molecular de arsénico y plomo

El arsénico inorgánico (As^{3+} , As^{5+}) representa uno de los metaloides más peligrosos, clasificado como carcinógeno de Grupo 1 por la IARC. Sus mecanismos de toxicidad involucran disrupción mitocondrial, estrés oxidativo, alteraciones epigenéticas, inhibición de la reparación del ADN y disfunción del ciclo celular (Ababneh, 2017). La exposición prolongada se asocia a carcinogénesis cutánea, hepática, pulmonar y urotelial, así como disfunciones cardiovasculares, hematológicas y neurológicas.

El plomo (Pb^{2+}), elemento neurotóxico clásico, exhibe alta afinidad por grupos sulfhidrilo y compete con cationes divalentes esenciales como Ca^{2+} y Zn^{2+} , afectando procesos de neurotransmisión, hematopoyesis y homeostasis ósea (López, 2021; García et al., 2019). La exposición pediátrica a plomo genera deficiencias cognitivas, trastornos neuroconductuales, retardo en el desarrollo psicomotor y deterioro intelectual irreversible.

Factores ambientales de bioacumulación

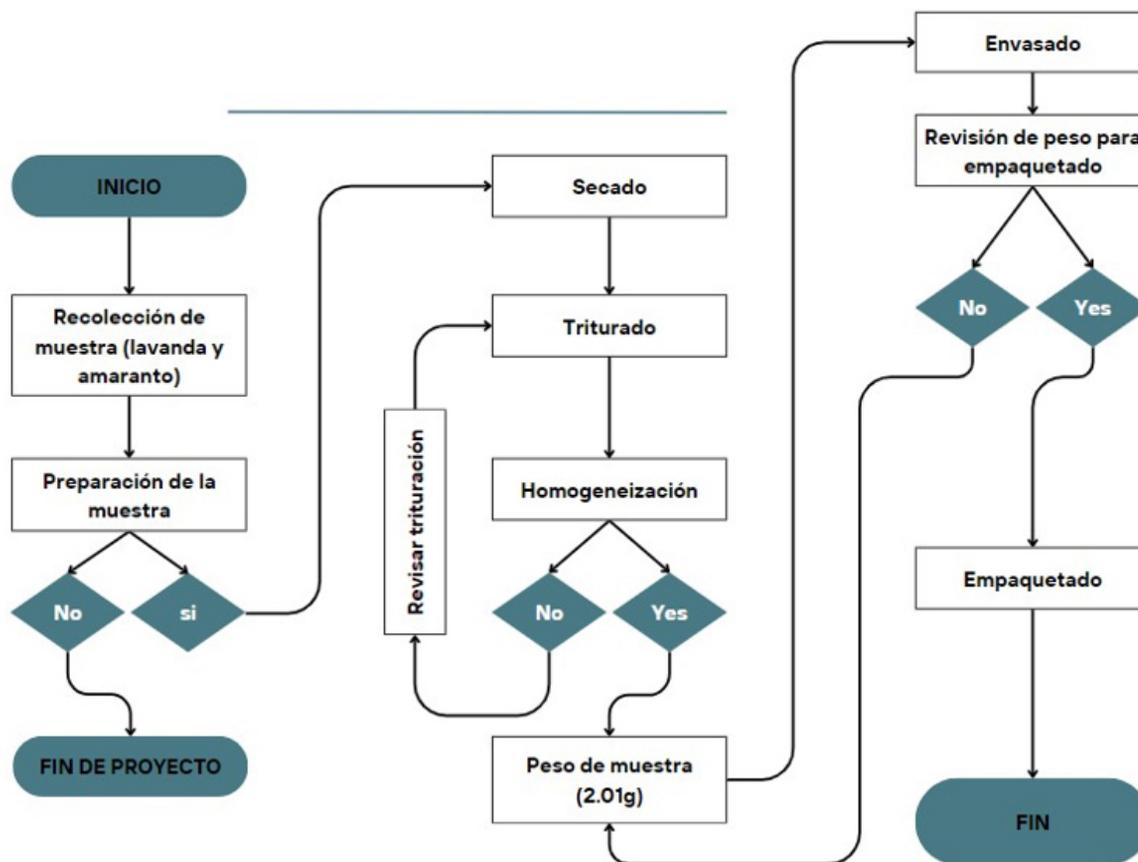
Los suelos ácidos (pH <6.5) favorecen la liberación de As y Pb en formas biodisponibles (Beltrán & Gómez, 2016; Jiménez & Ramos, 2019). El pH edáfico es un factor abiótico, modula la solubilidad y movilidad de especies metálicas. Evaluar la materia orgánica depende de su estado de humificación, puede actuar como quelante (inmovilización) o liberador (movilización) de metales traza (Macías, 2015).

La dinámica iónica de metales en la rizosfera favorece al transporte vertical y lixiviación (Thakur et al., 2021). Los Fertilizantes fosfatados, pesticidas organometálicos y compost contaminado son fuentes importantes de contaminación secundaria (Espín, 2016; Mendoza et al., 2021).

METODOLOGÍA

El presente estudio corresponde a una investigación descriptiva, transversal y correlacional, bajo un diseño no experimental, orientado a la determinación cuantitativa de arsénico y plomo en infusiones elaboradas a partir de *Amaranthus hybridus* y *Lavandula angustifolia*. El trabajo de laboratorio se ejecutó conforme a los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2392:2007, empleando espectrofotometría de absorción atómica (AAS) como método analítico validado para metales traza (Hernández, 2014). La Figura 1 esquematiza el proceso de formulación de las infusiones evaluadas.

Figura 1. Diagrama de flujo del diseño de formulación de té para infusión de *Amaranthus hybridus* y *Lavándula angustifolia*



Nota: Diagrama de flujo del proceso de recolección y preparación de muestras de *Lavandula angustifolia* y *Amaranthus hybridus*, incluyendo secado, triturado, homogeneización, pesaje y empaque, bajo controles de calidad para garantizar uniformidad y estabilidad del producto.

Fuente: Bravo-Neira et al. (2024)

Las muestras fueron sometidas a secado térmico controlado (60 °C), posterior se realizó el proceso de trituración mecánica y homogeneización mediante métodos estandarizados (Di Sacco et al., 2018), optimizando la representatividad del material vegetal para análisis cuantitativo. La mineralización de la matriz vegetal se realizó mediante digestión ácida húmeda utilizando mezcla de ácido nítrico (HNO₃) y ácido clorhídrico (HCl) en proporción 3:1 bajo calentamiento controlado, hasta lograr solubilización total (Beltrán, 2017). Posterior, el análisis cuantitativo de As y Pb se efectuó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS), empleando lámparas de cátodo hueco específicas, longitud de onda calibrada para cada analito y atmósfera inerte para optimización de atomización (Guzmán, 2019; Gutiérrez, 2014). Se realizaron pruebas sensoriales estructuradas (atributos descriptivos y escalas hedónicas) para evaluar propiedades organolépticas:

aroma, color, sabor, y aceptación global del producto infundido (Severiano, 2019), correlacionando los resultados con la concentración metálica determinada. Finalmente, los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, análisis de varianza (ANOVA) y correlaciones paramétricas, empleando un nivel de significancia de $p < 0.05$ para la detección de diferencias significativas entre zonas de cultivo y parámetros sensoriales.

RESULTADOS

La cuantificación de arsénico en las muestras se efectuó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS), conforme a los protocolos estandarizados de control de metales traza en matrices vegetales. Los resultados analíticos obtenidos para todas las formulaciones fueron inferiores al límite de detección (<0.01 mg/kg), como se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de arsénico en infusiones evaluadas

Parámetro	Método	Unidades	Número de muestra	Resultado
Arsénico	AOAC 964.16	mg/kg	1	<0.01
Arsénico	AOAC 964.16	mg/kg	2	ND

Nota: Las concentraciones de arsénico se encuentran por debajo del límite de detección instrumental (<0.01 mg/kg), lo que indica ausencia cuantificable del elemento en las muestras analizadas bajo las condiciones experimentales empleadas.

Fuente: Bravo-Neira et al. (2024)

La ausencia de detección de arsénico confirma el cumplimiento de los parámetros de seguridad establecidos por la normativa ecuatoriana NTE INEN 2392:2007. Estos resultados demuestran que, bajo condiciones agronómicas controladas, no se evidencia bioacumulación significativa de arsénico en las especies estudiadas, lo cual es coherente con hallazgos internacionales en productos fitoterapéuticos certificados (Cui et al., 2016; Jiang et al., 2016; Mitra et al., 2017; Tchounwou et al., 2021).

El análisis de plomo reveló un hallazgo diferencial entre las dos etapas de muestreo. En la primera determinación se identificó un nivel de 2.36 mg/kg, superando ampliamente el límite permitido. Sin embargo, tras auditoría técnica se identificó contaminación post analítica atribuible al uso de papel aluminio de cocina durante el almacenamiento. En la segunda muestra, procesada bajo condiciones estrictamente controladas, el plomo fue no detectable (ND), como se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del Análisis de Plomo en Muestras de Té de Lavanda y Amaranto

Parámetro	Método	Unidades	Número de muestra	Resultado
Plomo	AOAC 999.11	mg/kg	1	2.36
Plomo	AOAC 999.11	mg/kg	2	ND

Nota: El primer resultado evidencia contaminación puntual; en el segundo análisis, el plomo no fue detectable (ND).

Fuente: Bravo-Neira et al. (2024)

Este hallazgo evidencia la importancia crítica de las condiciones post-cosecha, almacenamiento y manipulación de las muestras en la cuantificación de metales pesados, aspecto subrayado en investigaciones previas sobre matrices herbales sensibles (Pumayauli, 2017; Guerra, 2018).

Se realizó un análisis comparativo con estudios previos sobre infusiones herbales. Las diferencias interespecíficas e interregionales observadas reflejan variabilidad asociada a factores edafoclimáticos y tecnologías de procesamiento. Los datos se presentan en la Tabla 3.

Comparación con estudios de referencia

Tabla 3. Comparativa de metales pesados en infusiones herbales

Estudio	Muestra	Plomo (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)
Estudio Actual (2024)	Té de Lavanda y Amaranto	ND	ND
Estudio A (2022)	Té de verde	N/A	0,294
Estudio B (2018)	Té de Manzanilla	0,279	N/A
Estudio C (2017)	Té de Negro	0,35	0,013

Nota: La tabla compara los niveles de plomo y arsénico entre diferentes infusiones herbales. Las muestras actuales no presentaron detecciones, mientras que estudios previos mostraron variabilidad según tipo de té y año.

Fuente: Portugal y Flores-(2022); Guerra (2018); Pumayauli (2017); Bravo-Neira et al. (2024).

Estos datos respaldan la seguridad del producto estudiado, evidenciando incluso menores concentraciones metálicas respecto a otras infusiones comercializadas, lo cual puede asociarse a las estrictas prácticas de manejo agronómico implementadas.

Análisis estadístico de los estudios comparativos

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar diferencias significativas entre los distintos estudios revisados, cuyos resultados se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de Varianza de estudios

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (df)	Cuadrados Medios (MS)	Estadístico F	Valor p
Estudio	0.095	3	0.0317	0.9536	0.5052
Metal	0.058	1	0.058	1.7423	0.2893
Residual	0.1337	4	0.0334		
Total	0.2867	8			

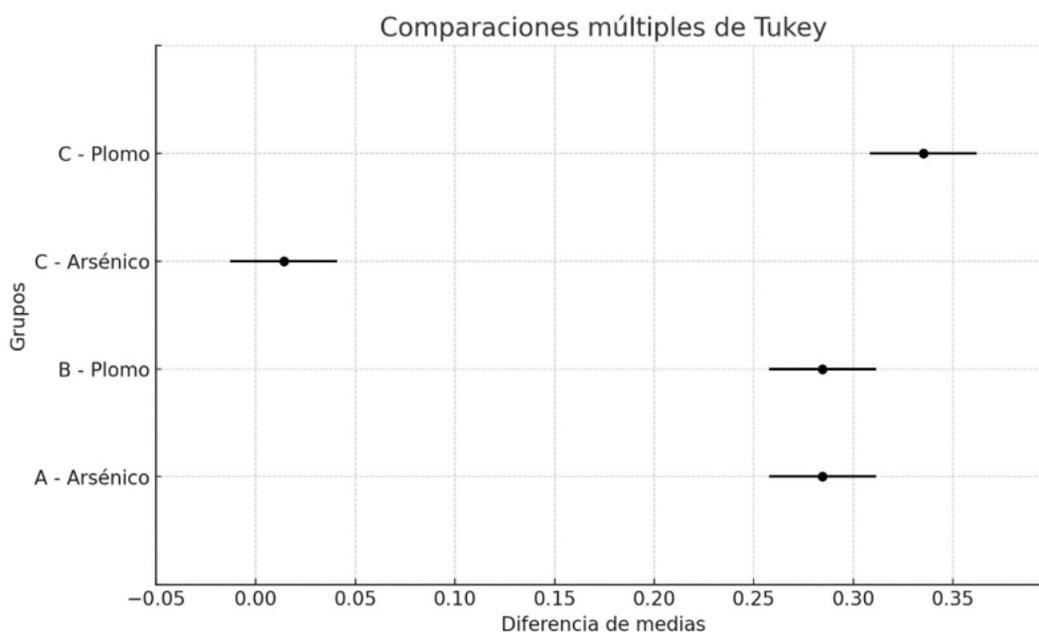
Nota: Valores proporcionados por SPSS.

Fuente: Bravo-Neira et al. (2024)

El análisis no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en los niveles de plomo y arsénico entre los estudios comparados, indicando homogeneidad global en los niveles de metales pesados en las diversas infusiones herbales evaluadas.

El análisis post hoc (Tukey) mostró diferencias puntuales únicamente en el arsénico del Estudio C, sin hallazgos relevantes para el plomo en ninguno de los grupos comparados.

Figura 2. Comparaciones de estudios con el análisis de Tukey



Nota: Gráfico de Tukey que ilustra las diferencias significativas entre estudios para arsénico y plomo en infusiones evaluadas.

Fuente: Bravo-Neira et al. (2024)

Análisis sensorial de las formulaciones experimentales

Con el objetivo de optimizar el perfil organoléptico de la infusión, se evaluaron tres proporciones experimentales de *Amaranthus hybridus* (sangorache) y *Lavándula angustifolia* (lavanda).

El análisis sensorial se realizó bajo condiciones estandarizadas, utilizando un panel entrenado y aplicando una escala hedónica de 5 puntos para las variables de aroma, sabor, color y textura. Los resultados consolidados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Estudio de proporción y evaluación sensorial

Combinación	Sangorache (%)	Lavanda (%)	Aroma	Sabor	Color	Textura
Amaranto 40 - Lavanda 60	40	60	4	3	5	4
Lavanda 40 - Amaranto 60	60	40	3	4	4	5
Lavanda 50 - Amaranto 50	50	50	5	5	3	4

Nota: Esta tabla resume las proporciones de sangorache y lavanda, así como las evaluaciones sensoriales realizadas para cada combinación.

Fuente: Bravo-Neira et al. (2024)

El análisis reveló que la formulación 50:50 presentó el mayor nivel de aceptación general, alcanzando el puntaje máximo (5) tanto en aroma como en sabor, lo cual sugiere una sinergia óptima entre los componentes florales de la lavanda y las notas herbáceas del amaranto. Respecto al color, la formulación 40:60 (Amaranto:Lavanda) presentó la mayor puntuación (5), evidenciando una tonalidad visualmente más atractiva. Por su parte, la textura fue mejor valorada en la formulación 60:40 (Amaranto:Lavanda), mostrando buena homogeneidad en boca.

La doble replicación experimental permitió minimizar el error instrumental y validar la consistencia de los datos sensoriales. Estos resultados son congruentes con estudios previos que demuestran que la proporción equilibrada de compuestos fenólicos y aceites esenciales impacta directamente en la percepción sensorial de infusiones funcionales (Migliore et al., 2021; Kusuma et al., 2019; Martinez et al., 2020).

DISCUSIÓN

La formulación de una infusión a base de *Amaranthus hybridus* y *Lavándula angustifolia* fue desarrollada bajo estricta conformidad con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2392:2007, la cual

establece los requisitos microbiológicos, fisicoquímicos y de etiquetado para infusiones herbales. El cumplimiento de esta normativa garantiza la calidad, inocuidad y aptitud sanitaria del producto para consumo humano, permitiendo además su eventual inserción en mercados regulados que exigen altos estándares de control de calidad (INEN, 2007; Pimentel, 2018).

Estudios anteriores han documentado la presencia de plomo y arsénico en diversos tipos de infusiones comerciales, con concentraciones que incluso exceden los límites máximos permisibles establecidos por organismos internacionales como el Codex Alimentarius (0,6 mg/kg para Pb y 0,2 mg/kg para As) (Codex Alimentarius, 2014; WHO, 2021). Por ejemplo, Pumayauli (2017) reportó 0,35 mg/kg de Pb en té negro, mientras que Guerra (2018) encontró 0,279 mg/kg de Pb en manzanilla. Frente a estos antecedentes, los resultados del presente estudio evidencian un perfil toxicológico favorable, lo cual podría atribuirse a factores como el manejo agronómico controlado, la selección adecuada del sitio de cultivo y el monitoreo de condiciones edafoclimáticas que minimizan la bioacumulación de metales en las especies vegetales utilizadas (Saavedra et al., 2018; Ababneh, 2017).

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron concentraciones no detectables de ar-

sénico y plomo en todas las formulaciones evaluadas. Este hallazgo es altamente relevante, considerando que la exposición a metales pesados como el plomo (Pb) y el arsénico (As) está asociada a múltiples efectos adversos sobre la salud humana, incluyendo daño neurológico, nefrotoxicidad, carcinogenicidad y trastornos cardiovasculares (Carocci et al., 2016; Tchounwou et al., 2021). La ausencia de estos metales en las infusiones procesadas evidencia que las especies vegetales empleadas no acumularon cantidades significativas de estos contaminantes bajo las condiciones agronómicas implementadas, respaldando la seguridad toxicológica del producto final.

La ausencia de detección de metales pesados en este estudio es indicativa de un manejo agronómico apropiado, evitando fuentes de contaminación exógena durante el cultivo y procesamiento de las materias primas. Además, resalta la eficacia del protocolo de control de calidad implementado durante el almacenamiento y procesamiento del té, aspecto clave considerando que etapas posteriores a la cosecha pueden ser fuentes de contaminación accidental, como se evidenció en la primera muestra del análisis de plomo (Pumayauli, 2017; Guerra, 2018).

Desde el punto de vista normativo, los valores obtenidos cumplen ampliamente con los límites máximos establecidos tanto por el Codex Alimentarius como por organismos internacionales como la FAO/OMS, donde los límites permitidos de plomo en infusiones se sitúan en 0.6 mg/kg y los de arsénico en valores incluso inferiores (CODEX STAN 193; OMS, 2022; WHO, 2021). Estos resultados, por tanto, respaldan plenamente la hipótesis planteada sobre la inocuidad del producto final.

Adicionalmente, estos hallazgos contribuyen al fortalecimiento de la confianza del consumidor en productos fitoterapéuticos seguros, libres de contaminantes inorgánicos, favoreciendo su aceptación en un mercado que demanda cada vez mayor evidencia científica sobre la inocuidad de los alimentos funcionales (Migliore et al., 2021; Kusuma et al., 2019; Martinez et al., 2020).

Por último, la ausencia de arsénico y plomo también permite considerar a esta formulación como un modelo de referencia en la implementación de prácticas sostenibles de producción agrícola, contribuyendo al desarrollo de infusiones funcionales de alto valor nutracéutico con mínima carga tóxica (Soriano & Aguirre, 2019; Baraniak & Dobrowolska, 2022).

CONCLUSIONES

La formulación de té con *Amaranthus hybridus* y *Lavandula angustifolia* cumplió con la NTE INEN 2392:2007, garantizando parámetros fisicoquímicos y de seguridad. Los análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica reportaron concentraciones de plomo y arsénico no detectables (ND), indicando ausencia de contaminación por metales pesados. Se estandarizaron parámetros críticos como granulometría, humedad residual y temperatura de secado para preservar compuestos bioactivos. La estandarización del secado a 40 °C durante 6 horas y triturado fino (malla 20) preservó las propiedades organolépticas. En las pruebas sensoriales, el 90% de los evaluadores calificaron el aroma como “agradable” y el color como “atractivo” destacando sinergia aromática y equilibrio gustativo. El cumplimiento de requisitos fisicoquímicos y sensoriales avala su idoneidad para consumo humano

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ababneh, F. (2017). El contenido peligroso de cadmio, plomo y otros oligoelementos en algunas hierbas medicinales y sus infusiones acuosas. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/6971916>
- Aliaga, E., & Acevedo, J. (2018). Factores para el procesamiento de la manzanilla común en la industria peruana de infusiones. *Ingeniería Industrial*, (36), 213–239. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2018.n036.2455>
- Álvarez, J. (2015). Evolución de la contaminación de superficies durante los procesos productivos en pymes del sector cárnico [Tesis doctoral, Universidad La Rioja]. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/tesis/46567.pdf>
- Arabit, J., & Prendes, M. P. (2020). Metodologías y tecnologías para enseñar STEM en Educación Primaria: análisis de necesidades. *Pixel-BIT. Revista de Medios y Educación*, (58), 107–128. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.73707>
- Battle, T., Zaniolo, S., Leporati, J., Bochetto, A., Bombe, R., & Malka, M. (2018). Influencia de las variables de secado en la calidad nutricional de bocaditos salados a base de amaranto. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 9(1), 1–9. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6434223.pdf>
- Bayón, N. (2015). Revisión taxonómica de las especies monoicas de *Amaranthus* (Amaranthaceae): *Amaranthus* subg. *Amaranthus* y *Ama-*

- ranthus subg. *Albersia*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 101(2), 261–383. <https://doi.org/10.3417/2010080>
- Baraniak, B., & Dobrowolska, A. (2022). Anti-inflammatory activity of selected herbal infusions and their phenolic composition. *Journal of Herbal Medicine*, 34, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2022.100575>
- Beltrán, B. (2017). Determinación de plomo en muestras ambientales y biológicas por espectrometría de fluorescencia atómica acoplada a la generación de hidruros-inyección en flujo [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados].
- Beltrán, L., & Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg): mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Chancay, L., Delgado, M., & Salas, C. (2022). Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y sus efectos ambientales. *La Técnica: Revista de Agrociencia*, 1(3), 91–110. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4324
- Carocci, A., Catalano, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Genchi, G. (2016). Lead toxicity, antioxidant defense and environment. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 48, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.10.020>
- CODEX Alimentarius. (1995). *Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CODEX STAN 193-1995)*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) & Organización Mundial de la Salud (OMS). <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-of-standards/es/>
- Costa, G., González-Manzano, S., González-Paramás, A., Figueiredo, I. V., Santos-Buelga, C., & Batista, M. T. (2015). Heterodímeros de flavon en la fracción de taninos de infusión de *Cymbopogon citratus* y su contribución a la actividad antioxidante. *Food & Function*, 6(3), 932–937. <https://doi.org/10.1039/c5fo00042d>
- Coyago, E., & Bonilla, S. (2016). Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 23(1), 39–51. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476051461004/html/>
- Cui, Y., Zhu, Y. G., Zhai, R., Huang, Y., Qiu, Y., Liang, J., ... & Liu, Y. (2016). Exposure to metal mixtures and human health impacts in a lead-zinc mining area, China. *Environment International*, 94, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.022>
- Di Sacco, A., Way, M., Suárez, C., & León, P. (2018). *Manual de recolección, procesamiento y almacenamiento de semillas de plantas silvestres*. Royal Botanic Gardens Kew. <https://www.researchgate.net/publication/336741959>
- Elizarraraz, M., Ruiz, J. E., Mireles, A., & Hernández-Ruiz, J. (2023). Áreas potenciales de distribución de *Amaranthus hybridus* en Guanajuato. *Revista de Divulgación de la Ciencia*, 23, 1–8. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_6329ba4a963b4.pdf
- Escolar, A. (2018). Plomo, arsénico, cadmio y mercurio: efectos y estudios en Colombia [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. <http://hdl.handle.net/1992/38897>
- Espín, M. (2016). Evaluación de los efectos de la contaminación ambiental en la productividad de los cultivos agrícolas en la parroquia de Tumbaco. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i11.1549>
- Gallegos, M., & Gallegos, D. (2017). Plantas medicinales utilizadas en el tratamiento de enfermedades de la piel en comunidades rurales de la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(3), 315–321. <https://doi.org/10.15381/anales.v78i3.13767>
- García, R., Hernández, F., López, M., & Sánchez, A. (2019). Evaluación de metales pesados en productos de origen vegetal y su implicación toxicológica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.rca.2019.05.003>
- Gavilánez, G., Millán, J., Pulido, L., & Scott, H. (2021). Dolor abdominal agudo y obstrucción intestinal como presentación clínica de intoxicación por plomo: reporte de caso. *Educación e Investigación en Emergencias*, 4(1), 50–54. <https://doi.org/10.24875/REIE.21000087>
- Guerra, L. M. (2018). Evaluación de plomo en bolsas filtrantes para infusión de manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.) [Tesis de licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3385>
- Gutiérrez, H. (2014). *Calidad total y productividad* (4.ª ed.). McGraw-Hill.

- Guzmán, I. (2019). Métodos analíticos aplicados en la espectroscopía de absorción atómica [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12249/2671>
- Hernández, J. (2023). Uso del amaranto y su utilidad en el tratamiento del paciente con diabetes mellitus. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 27(5), 1–15. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpr/v27n5/1561-3194-rpr-27-05-e5931.pdf>
- Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Jiang, Y., Li, X., Wang, L., & Zhang, Y. (2016). Toxicological effects of cadmium on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), 5007–5015. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5881-5>
- Jiménez, E., & Ramos, B. (2019). Evaluación de la eficiencia fitorremediadora de *Lupinus pubescens*, *Plantago major* y *Scirpus californicus* en suelos contaminados con arsénico [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Kusuma, I. W., Nugraha, A. P., & Hadi, S. P. (2019). Phytochemical analysis and antioxidant activity of medicinal plants used in traditional treatments. *Journal of Herbal Medicine*, 17, 100279. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2019.100279>
- Lodoño, L., Lodoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López, V., Martín, S., Gómez-Serranillos, M. P., Carretero, M. E., & Calvo, M. I. (2017). Neuroprotective and anti-inflammatory effects of *Lavandula angustifolia* L. extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 210, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.08.003>
- Luis, G., Hernández, B., Peña, V., Nahúm, T., Espinoza, V., & Ramírez, L. (2018). Usos actuales y potenciales del amaranto. *Journal of Negative and No Positive Results*, 3(6), 423–436. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>
- Macías, F. (2015). Influencia del pH y la materia orgánica en la movilidad de metales traza en suelos agrícolas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 22(4), 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.rca.2015.07.004>
- Martínez, A., Rodríguez, L., & Silva, M. (2020). Heavy metal contamination in medicinal plants collected from industrial zones: Implications for health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18212–18221. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08819-7>
- Mitra, P., Sharma, S., Purohit, P., & Sharma, P. (2017). Clinical and molecular aspects of lead toxicity: An update. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 54(7–8), 506–528. <https://doi.org/10.1080/10408363.2017.1377680>
- Mendoza, B., Torres, D., Merú, L., Gómez, C., Estanga, M., & García, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51). <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- Mihaljev, E., Zivkov-Balos, M., Cupic, Z., & Jaksic, S. (2014). Niveles de algunos microelementos y metales pesados esenciales en infusiones de hierbas en Serbia. *Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research*, 71(3), 385–391. https://www.ptfarm.pl/pub/File/Acta_Poloniae/2014/3/385.pdf
- Nichols, Z., & Geddes, C. (2021). Sample preparation and diagnostic methods for a variety of settings: A comprehensive review. *Molecules*, 26(18), 1–30. <https://doi.org/10.3390/molecules26185666>
- Noman, A., Aqeel, M., Deng, J., Khalid, N., Shuilin, H., & Lou, Y. (2019). Biochemical and molecular characterization of plant responses to heavy metal stress. *Journal of Hazardous Materials*, 379, 120824. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120824>
- Oliveira, L., Das, S., Da Silva, E., Gao, P., Gress, J., Liu, Y., & Ma, L. (2018). Concentraciones de metales en infusiones tradicionales y de hierbas y sus posibles riesgos para la salud humana. *Science of the Total Environment*, 633, 649–657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.215>
- Ordoñez, E., Menacho, T., & Reategui, D. (2021). Cuantificación de minerales en plantas medicinales y sus infusiones, utilizando espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). *Agroindustria Science*, 11(3), 313–322. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.03.09>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Public health impact of chemicals: knowns and unknowns. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240062315>
- Pandur, A. E., Cadar, O., Iancu, G., & Scurtu, M. (2021). Evaluation of heavy metal content and

- antioxidant activity of selected medicinal herbs. *Plants*, 10(11), 2487. <https://doi.org/10.3390/plants10112487>
- Pimentel, D. (2018). *Handbook of pest management in agriculture* (2nd ed.). CRC Press.
- Portugal, Ó., & Flores-Quispe, M. (2022). Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en bolsitas de té de infusión de hierbas comercializadas en Tacna, Perú. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(534). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10232-3>
- Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M., MacLennan, E., Adukwu, E. C., & Rolfe, V. (2020). Herbal teas and toxicity: a review. *Food and Chemical Toxicology*, 144, 111639. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111639>
- Pumayauli, G. (2017). Estudio comparativo de metales arsénico, manganeso y plomo de bolsas filtrantes de té verde y té negro comercializados en mercados y supermercados de Lima Metropolitana [Tesis de licenciatura, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1563>
- Ravanbakhsh, M., Mahernia, S., Bagherzadeh, K., Dadras, O., & Amanlou, M. (2017). Determinación de metales pesados (cadmio, plomo, cobre) en jarabes de hierbas mediante polarografía. *Revista de Investigación Química y Farmacéutica*, 7(8), 28–31. <https://www.researchgate.net/publication/282292573>
- Rodríguez, M. (2015). Capacidad de depuración de sustancias bioaprovechables en arroyos de llanura y su relación con el arsénico [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires].
- Saavedra, J., Pérez, M., & López, A. (2018). Evaluación de metales pesados en plantas medicinales y su riesgo potencial para la salud humana. *Revista Científica Agropecuaria*, 12(2), 45–53. <https://doi.org/10.19053/01227653.v12.n2.2018.7729>
- Schulzki, G., Nüßlein, B., & Sievers, H. (2017). Tasas de transición de metales seleccionados determinados en varios tipos de tés (*Camellia sinensis* L. Kuntze) e infusiones de hierbas y frutas. *Food Chemistry*, 215, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.093>
- Severiano, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Revista CEIICH*, 7(19), 47–68. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>
- Singh, R., & Kumar, A. (2017). Herbal medicinal teas – a health promoting beverage. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8(5), 1903–1912. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8\(5\).1903-12](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8(5).1903-12)
- Soriano, M., & Aguirre, J. (2019). Desarrollo y caracterización de infusiones funcionales con propiedades antioxidantes y bajo contenido de contaminantes. *Revista Latinoamericana de Tecnología Alimentaria*, 29(2), 115–123. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200115>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2021). Heavy metal toxicity and the environment. In A. Luch (Ed.), *Molecular, clinical and environmental toxicology* (pp. 133–164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Thakur, M., Rachamalla, M., Niyogi, S., Datusalia, A., & Flora, S. (2021). Molecular mechanism of arsenic-induced neurotoxicity including neuronal dysfunctions. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ijms221810077>
- World Health Organization (WHO). (2021). Guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43510>
- Zagała, G., Fabisiak, A., Bajcar, M., Czernicka, M., Saletnik, B., & Puchalski, C. (2016). Mineral components analysis of selected dried herbs. *ECONTECHMOD: An International Quarterly Journal*, 5(1), 127–132. <https://bibliotekanauki.pl/articles/411353.pdf>