

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE EXTRACTOS DE LA CÁSCARA DE MAQUEÑO (*MUSA BALBISIANA*)

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF ACTIVE PROPERTIES: ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF MAQUEÑO PEEL (*MUSA BALBISIANA*).

Juan Serrano-León¹, Luis Pillajo A.¹, David Salgado-Cepeda¹, Carlos Mayorga A.¹, Gabriela Chacón M.¹, & Christian Alcívar-León^{1*}

Recibido: 29 de agosto 2024 / Aceptado: 02 de julio 2025

DOI 10.26807/ia.v13i2.291

RESUMEN

Los residuos orgánicos más comunes en Ecuador incluyen cáscaras de diversas frutas, entre las cuales destaca la cáscara de las distintas variedades de plátano, que contienen una gran cantidad de nutrientes esenciales con potencial para ser aprovechados en diferentes campos científicos. El objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímicamente y evaluar las actividades microbiológicas, antioxidante y antimicrobiana, de cáscaras de maqueños (*Musa balbisiana*) cultivados en tres localidades del Ecuador: Napo, Quevedo y Zamora. Los análisis fisicoquímicos revelaron valores promedio de humedad ($7,74 \pm 0,41$ %), ceniza ($13,00 \pm 0,42$ %), grasa ($5,57 \pm 0,81$ %), proteína ($5,99 \pm 1,05$ %), fibra ($9,81 \pm 1,26$ %) y carbohidratos ($65,90 \pm 2,78$ %). La evaluación de la capacidad antioxidante, los polifenoles totales y la actividad antimicrobiana se realizó en extractos etanólicos al 60 y 80 %. El contenido de polifenoles totales, determinado mediante el método de Folin-Ciocalteu, mostró el valor más alto en la muestra de Zamora extraída con etanol al 60 %, con $72,63 \pm 0,98$ mg equivalentes de ácido gálico/100 g de muestra seca. La capacidad antioxidante, evaluada mediante el método DPPH, registró su máximo valor en la muestra de Zamora extraída con etanol al 80 %, con $255,92 \pm 1,04$ μ mol equivalentes de trolox/100 g de peso seco. En cuanto a la actividad antimicrobiana, para *Staphylococcus aureus* se observaron halos de inhibición de 10 mm en Napo, 7 mm en Quevedo y 12 mm en Zamora con etanol al 80 %, mientras que con etanol al 60 % los halos fueron de 8 mm en las tres localidades. Para *Bacillus cereus*, la concentración del 80 % mostró halos de 8 mm en Napo, 6 mm en Quevedo y 9 mm en Zamora, mientras que con etanol al 60 % solo se detectó actividad inhibitoria en Quevedo (8 mm). No se observó inhibición para *Escherichia coli* en ninguno de los extractos evaluados. Estos resultados indican que la eficacia antimicrobiana varía según la concentración del solvente y el tipo de microorganismo, siendo *S. aureus* el más susceptible bajo las condiciones evaluadas. La caracterización realizada sugiere que los residuos de maqueño podrían ser utilizados como materiales base, abriendo posibilidades para optimizar el aprovechamiento de estos subproductos agroindustriales en diversas aplicaciones.

Palabras clave: actividad antimicrobiana, capacidad antioxidante, maqueño, *Musa balbisiana*, polifenoles.

ABSTRACT

The most common organic residues in Ecuador include peels from various fruits, with those from

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Quito-Ecuador (*correspondencia: cacevallosm@uce.edu.ec)

a significant number of herbaceous plants of the *Musa* genus being particularly notable. These peels, derived from different banana varieties, are rich in essential nutrients and hold significant potential for applications across various scientific fields. Therefore, the objective of this study was to physicochemically characterize and evaluate the microbiological activities (antioxidant and antimicrobial) of maqueño banana peels (*Musa balbisiana*) cultivated in three locations in Ecuador: Napo, Quevedo, and Zamora. Physicochemical analyses revealed average values for moisture ($7.74 \pm 0.41\%$), ash ($13.00 \pm 0.42\%$), fat ($5.57 \pm 0.82\%$), protein ($5.99 \pm 1.05\%$), fiber ($9.81 \pm 1.26\%$), and carbohydrates ($65.90 \pm 2.78\%$). The evaluation of antioxidant capacity, total polyphenols, and antimicrobial activity was performed using ethanolic extracts at 60% and 80% concentrations. The total polyphenol content, determined using the Folin-Ciocalteu method, showed the highest value in the Zamora sample extracted with 60% ethanol, with 72.63 ± 0.98 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g of dry sample. Antioxidant capacity, assessed using the DPPH method, recorded its highest value in the Zamora sample extracted with 80% ethanol, with 255.92 ± 1.04 μ mol trolox equivalents (TE)/100 g of dry weight. Regarding antimicrobial activity, for *Staphylococcus aureus*, inhibition zones of 10 mm in Napo, 7 mm in Quevedo, and 12 mm in Zamora were observed with 80% ethanol, whereas with 60% ethanol, inhibition zones of 8 mm were recorded in all three locations. For *Bacillus cereus*, the 80% ethanol extract produced inhibition zones of 8 mm in Napo, 6 mm in Quevedo, and 9 mm in Zamora, while with 60% ethanol, inhibitory activity was only detected in Quevedo (8 mm). No inhibition was observed for *Escherichia coli* in any of the evaluated extracts. These results show that antimicrobial efficacy varies depending on solvent concentration and microorganism type, with *S. aureus* being the most susceptible under the evaluated conditions. The conducted characterization suggests that maqueño banana residues could be utilized as base materials, opening possibilities for optimizing the valorization of these agro-industrial byproducts in various applications.

Keywords: antimicrobial activity, antioxidant capacity, maqueño, *Musa balbisiana*, polyphenols.

INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa* spp.) es una de las frutas más consumidas mundialmente, debido a su alto valor nutricional y a su versatilidad culinaria. Adicionalmente, representa uno de los productos agrícolas más comercializados a nivel global. El banano se consume principalmente en los grandes países productores, donde su consumo puede superar los 20 kg anuales por habitante (INFOCOMM, 2022).

En Latinoamérica, el consumo de musáceas, especialmente plátanos y bananos, es significativo y varía entre países. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2022 el consumo per cápita de banano en Ecuador fue de aproximadamente 50 kg por año, posicionando al país como uno

de los mayores consumidores de la región (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

En Ecuador, el banano se destaca como uno de los alimentos de primera necesidad más relevantes, cultivado principalmente en zonas tropicales y distribuido en mercados locales. Junto con la producción lechera y la horticultura, la industria bananera genera una cantidad considerable de residuos, posicionándose como una de las fuentes principales de desechos y subproductos a nivel nacional (Arias et al., 2004; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2022).

En la cosecha de musáceas se generan cerca del 95 % de residuos vegetales, ya que solo se utiliza el fruto para la comercialización y consumo, mientras que

el raquis, el pseudotallo y las cáscaras no son aprovechados (Velasguí et al., 2017).

En la actualidad, la generación de residuos agroindustriales ha experimentado un incremento significativo. Estos desechos, que carecen de valor económico, representan una grave amenaza para el medio ambiente y la salud de los ecosistemas, debido a su potencial contaminante y a la falta de estrategias adecuadas para su gestión sostenible (Toro et al., 2016; United Nations Environment Programme [UNEP], 2021).

La cáscara representa entre el 35-40 % del fruto (Melo-Sabogal et al., 2015; Yusufu et al., 2014) y es fuente de compuestos como pectina, celulosa y almidón (Ramos et al., 2016). Además, se usa para elaborar alimento para animales, harina para la elaboración de pastas alimenticias y productos de panificación (Meneses et al., 2010).

Según Aderolu et al. (2016), la cáscara de plátano presenta una composición proximal rica en nutrientes, misma que contiene aproximadamente 68,45 % de materia seca, 10,21 % de proteína cruda, 15,25 % de cenizas, 7,00 % de extracto etéreo, 9,00 % de fibra cruda y 58,54 % de extracto libre de nitrógeno en su estado maduro.

Estudios recientes han demostrado que los extractos de cáscara de plátano, particularmente de la especie *Musa balbisiana*, contienen una alta concentración de compuestos bioactivos como fenólicos, flavonoides y carotenoides, los cuales están directamente relacionados con su capacidad antioxidante (Almeida

et al. (2022)). Estos compuestos bioactivos han sido asociados con propiedades antimicrobianas efectivas frente a bacterias de las familias, *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcaceae* y *Rhizobiaceae* (Kumar et al., 2021; Rita et al., 2022; Behiry et al., 2019).

Ecuador tiene una gran diversidad climática donde crecen diferentes variedades de Musáceas, entre ellas el maqueño (*Musa balbisiana*) (Chevez Véliz et al., 2023). Sin embargo, no se cuenta con suficiente información sobre la composición de la cáscara de esta especie cultivada en el país. Por lo que, en este estudio se caracterizó físicoquímica y microbiológicamente a residuos de cáscaras de maqueño, con el fin de determinar su potencial de aprovechamiento en diversas aplicaciones, promoviendo así una gestión más sostenible de los desechos generados por la industria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Se utilizaron maqueños (*Musa balbisiana*) de tres diferentes zonas de las localidades de Quevedo, Napo y Zamora, y se ejecutaron los análisis por triplicado para cada parámetro. Se procedió de acuerdo con lo establecidos en la Norma INEN 1750, específica para el muestreo de “Hortalizas y frutas frescas” (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 1994).

Preparación de muestras

Se lavaron las muestras, posteriormente se separaron las cáscaras y se secaron a 65 °C durante 12 h. Por último, se molieron y almacenaron en frascos plásticos hasta su caracterización físicoquímica.

Caracterización fisicoquímica

Se realizó una caracterización proximal de las muestras de residuos de las distintas localidades.

Para humedad se pesaron aproximadamente 2 g de muestras y se secaron a $130 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 1 h según el método AOAC 925.10 (AOAC INTERNATIONAL, 2023). Para el contenido cenizas se pesaron entre 3 y 5 g de muestra y se calcinan a 550°C de acuerdo con el método AOAC 923.03 (AOAC INTERNATIONAL, 2023).

La determinación de grasa se realizó mediante extracción directa Randall, siguiendo el método AOAC 2003.06 (AOAC INTERNATIONAL, 2023). Para el contenido proteico se pesaron 0,5 g de la muestra y se procedió conforme al método AOAC 2001.11 (AOAC INTERNATIONAL, 2023). Para la determinación de fibra se pesaron entre 1 a 2 g de muestra conforme lo descrito en el método AOAC 978.10 (AOAC INTERNATIONAL, 2023). Finalmente, los carbohidratos se determinaron por diferencia:

$$\% \text{ Carbohidratos Totales} = 100 \% - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Cenizas} - \% \text{ Grasa} - \% \text{ Proteína}.$$

Preparación de los extractos etanólicos de cáscara de maqueño

Las cáscaras se lavaron con agua destilada y se secaron a 35°C durante 24 h.

Se pesaron 200 g de muestra seca y se adicionaron 400 mL de etanol al 80 % y 60 % respectivamente. Todos los extractos se almacenaron en refrigeración (0°C) hasta su uso.

Contenido total de polifenoles

El análisis se realizó según el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu,

descrito por Singleton, (1999). El ácido gálico fue el estándar comparativo. Los extractos de cáscara de maqueño se diluyeron 500 veces, recolectando una alícuota de 0,5 mL de la muestra diluida y transfiriéndola a un tubo donde se adicionaron 2,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, diluido en agua 1:10 (1:9 v/v). La mezcla se dejó reposar durante 3 a 5 min. Luego se añadieron 2 mL de la solución de carbonato de sodio y agua (4 % m/v) y se dejó reposar durante dos horas en un lugar oscuro. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro a $\lambda = 740 \text{ nm}$. Se realizó una muestra en blanco bajo las mismas condiciones y los resultados de los compuestos fenólicos totales se expresaron en equivalente de ácido gálico (mg GA/g residuo vegetal).

Análisis de la capacidad antioxidante por el método DPPH

La actividad eliminadora de radicales libres se determinó utilizando 2,2-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) como lo describieron Schmitz et al. (2021). Se disolvieron 2 mg de DPPH en 100 mL de metanol. Se empleó una curva con patrones de quercetina (25 - 100 $\mu\text{g/mL}$). Se colocó en la celda 1 mL de DPPH y 200 μL de cada extracto a evaluar, se incubó a durante 20 minutos y se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV/Vis. Los resultados se expresaron en $\mu\text{mo/L}$ equivalente de Trolox por gramo de muestra.

Activación de cepas patógenas evaluadas

Tres cepas de microorganismos patógenos (*Bacillus cereus*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*) obtenidas en el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas (UCE) fueron activadas para la evaluación

de la actividad antimicrobiana de los extractos de macheño obtenidos. Todos los microorganismos de prueba fueron inoculados en agar Tripton-Soja TSA e incubados a 35 °C durante 24-48 h.

Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos

Para evaluar la actividad antimicrobiana de cada extracto de cáscara de macheño contra las cepas patógenas, se utilizó la técnica de Kirby Bauer. El agar Mueller-Hinton solidificado fue inoculado con una suspensión bacteriana ajustada a la turbidez del estándar 0.5 de la escala de McFarland de cada cepa patógena. Se colocó un disco blanco como control, y en los discos restantes se colocaron las diluciones con concentraciones conocidas de los extractos etanólicos (% v/v) de 10, 30, 50 y 100 % (v/v), y se incubó a 37 °C durante 16 a 18 h. Posteriormente, se miden los halos de inhibición para cada concentración evaluada.

Diseño experimental

En el estudio de caracterización físicoquímica, se aplicó un análisis de varianza de dos factores (ANOVA), el cual

utiliza el valor F para determinar si existen diferencias significativas entre las distintas muestras y localidades de la cáscara de macheño.

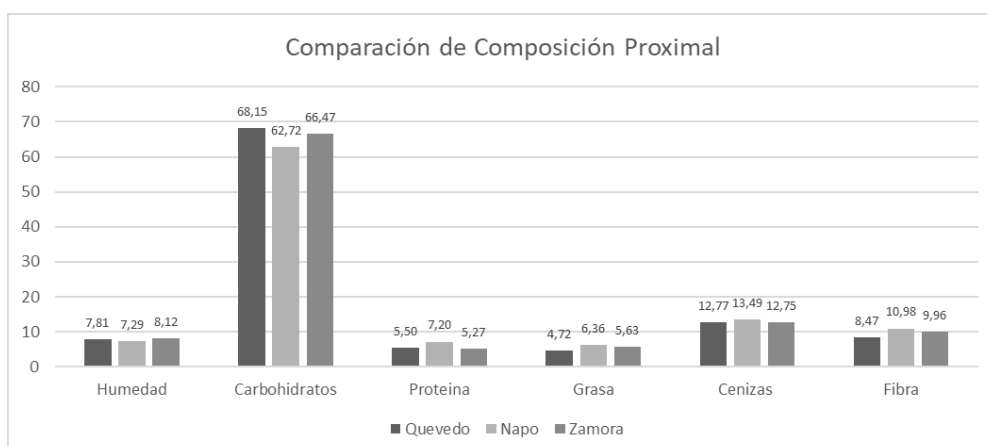
Para el análisis de polifenoles totales y capacidad antioxidante, se empleó un análisis estadístico mediante la prueba t de Student. Utilizando el valor p , se determinó si existían diferencias significativas entre los dos solventes empleados. Los datos fueron procesados a través del software STATISTICS.

RESULTADOS

Caracterización físicoquímica del residuo de cáscaras de macheño.

Posterior a la recolección de los residuos de macheño se procedió a la caracterización centesimal de los mismos. En la Figura 1 se presenta el resumen de los valores promedios expresados en porcentajes de la composición proximal de los residuos de macheño, separados por localidades. Los parámetros físicoquímicos evaluados fueron: humedad, fibra, grasa, cenizas y carbohidratos, para cada una de las tres zonas por cada localidad.

Figura 1
Comparación de la composición proximales de los residuos de macheño de acuerdo con la localidad



La localidad que presenta un mayor porcentaje de humedad fue Zamora con una media de $8,12 \pm 0,44$ %. La localidad de Napo se destacó por presentar valores más elevados para los parámetros de cenizas, fibra, grasa y proteína, siendo que para cenizas se obtuvo un valor promedio de $13,49 \pm 0,26$ %, para fibra bruta valores promedios de $10,98 \pm 1$ %, para grasa valores promedio de $6,36 \pm 0,08$ % y para proteína valor promedio $7,20 \pm 0,4$ %. Finalmente el

maqueño que presentó mayor porcentaje de carbohidratos fue el de la localidad de Quevedo, con una media de $68,15 \pm 1$ %.

Se realizó un análisis de varianza de factores para determinar las significancias mencionadas anteriormente para todos los parámetros proximales presentados.

En la Tabla 1, se presenta el ANOVA realizado a cada parámetro.

Tabla 1

Análisis estadístico (ANOVA)-análisis proximal

<i>F</i>	Humedad	Cenizas	Fibra bruta	Grasa	Proteína	Carbohidratos
Muestra	3,8726	0,3595	41,069	0,615	27,512	36,914
Columnas	5,2943	15,201	98,621	97,681	168,02	290,39
Interacción	1,5357	3,4851	1,8659	2,2327	0,1402	1,377

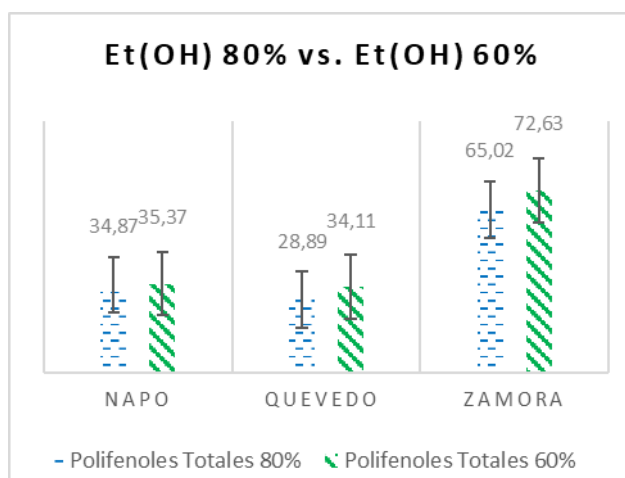
Los valores de *F* elevados indican que la variabilidad entre los grupos es mayor que la variabilidad dentro de los mismos. Esto sugiere que al menos un grupo es significativamente diferente de los demás, como se mencionó anteriormente.

Cuantificación de compuestos fenólicos totales

Una vez realizadas las extracciones etanólicas de las cáscaras de maqueño, con los dos diferentes solventes extractantes: etanol al 80 y 60 %, se cuantificó las cantidades de polifenoles totales. La Figura 2 recopila las distintas cantidades de polifenoles por cada localidad estudiada.

Figura 2

Cantidad de polifenoles totales para residuo de cáscara de maqueño de distintas localidades de Ecuador (mg eq de ácido gálico/100g de muestra seca)



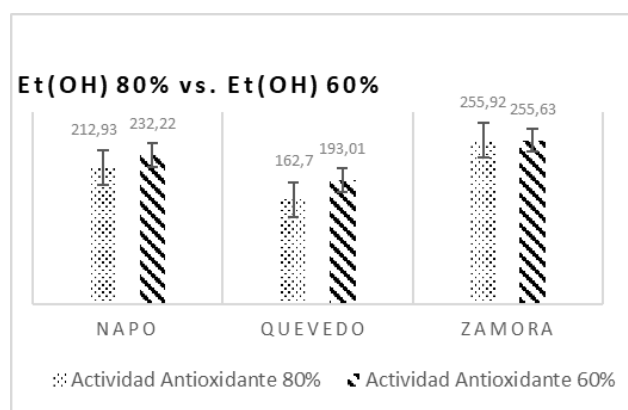
La concentración más alta registrada fue de $72,63 \pm 0,98$ mg equivalente de ácido gálico (EAG)/100g para la muestra seca de Zamora con etanol al 60 %. Solo existió diferencia significativa entre los 2 solventes empleados para extracción en la localidad de Quevedo.

Evaluación de la actividad antioxidante

Una vez obtenidos los valores de compuestos fenólicos totales, se busca

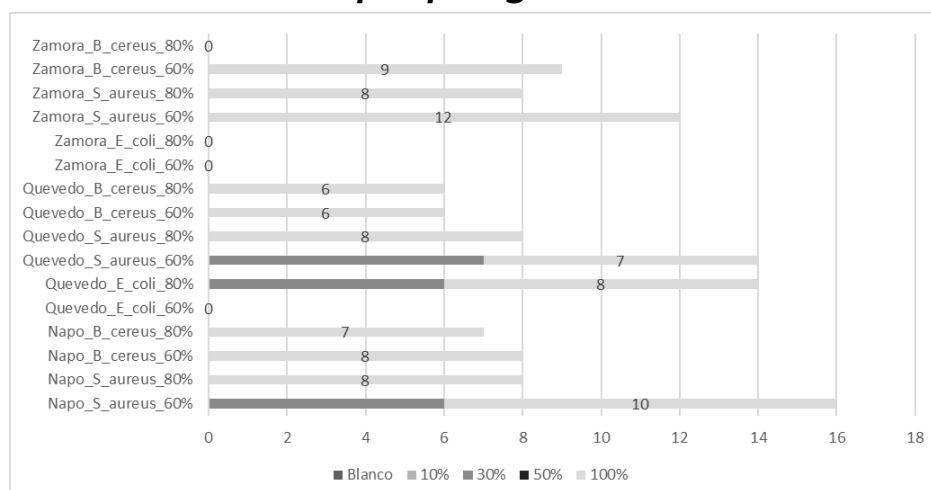
corroborar la actividad antioxidante de los mismos. En la Figura 3 se presenta las actividades antioxidantes por el método DPPH, para residuo de cáscara de maqueño de las distintas localidades y de acuerdo con el solvente extractante utilizado.

Figura 3
Resultados actividad antioxidante en residuo de cáscara de maqueño de las diferentes localidades de Ecuador (μmol equivalente de trolox/100g de muestra seca)



De acuerdo con el análisis realizado, se demostró que la mayor actividad antioxidante se encontró en la cáscara de maqueño de la localidad de Zamora con un valor de $255,92 \pm 1,04$ para tratamiento con etanol al 80 % y $255,63 \pm 0,92$ con etanol al 60 %.

Figura 4
Halos de inhibición de extractos etanólicos de cáscara de maqueño de distintas localidades sobre tres cepas patógenas



Se realizó la prueba estadística T de Student ($p > 0.05$), como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2
Prueba t-Student - capacidad antioxidante

t-student	Napo	Quevedo	Zamora
p (una cola)	0,181	0,079	0,404
p (dos colas)	0,362	0,159	0,809

Gracias a esta prueba se demostró que ($p > 0,05$) no existe una diferencia significativa entre las actividades antioxidantes de las distintas cáscaras de maqueño de las localidades de Napo, Quevedo y Zamora, independientemente del solvente utilizado. Sin embargo, se puede observar una actividad más elevada hacia la cáscara de maqueño de localidad de Zamora.

Evaluación de la actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana se evaluó determinando el tamaño de los halos de inhibición, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4.

El halo de inhibición obtenido con la concentración C4 (100 %) para *S. aureus* presentó un diámetro de 10 mm para el extracto con etanol al 80 % y de 8 mm con etanol al 60 %. En el caso de *B. cereus*, los halos de inhibición fueron de 8 y 7 mm para las extracciones con etanol al 80 y 60 %, respectivamente.

El halo de inhibición empleando la concentración C4 (100 %) para *S. aureus* tuvo un diámetro de 7 y 8 mm para las extracciones con etanol al 80 y 60 % y para *B. cereus* los diámetros fueron de 6 y 8 mm empleando los mismos solventes.

El halo de inhibición empleando la concentración C4 (100 %) para *S. aureus* tuvo un diámetro de 12 y 8 mm para las extracciones con etanol al 80 y 60 %. Para *B. cereus* el diámetro fue de 9 mm para etanol al 80 %.

En las cáscaras de maqueño de las localidades de Zamora y Napo se obtuvieron halos de inhibición mayores para la extracción con etanol 80 %, en cambio cáscara de maqueño de la localidad de Quevedo se obtuvieron mejores resultados con etanol al 60 %.

DISCUSIÓN

En la cáscara de maqueño de la localidad Quevedo, se reportó un contenido de humedad de $7,81 \pm 0,09$ %, cercano al rango de humedad observado en la cáscara de banana en diferentes etapas de maduración (5,97-8,44%) (Anjum & Sundaram, 2022). El contenido de cenizas promedio en los maqueños de todas las provincias analizadas ($13,00 \pm 0,42$ %) es significativamente mayor que el encontrado en la cáscara de banana (8,16-9,88 %), indicando una mayor

presencia de minerales en el maqueño. La fibra bruta en Napo (10,98 %) y Zamora (10,02 %) es significativamente menor que el valor reportado para la cáscara de banana verde (36,16 %), lo cual podría sugerir diferencias en la composición de la fibra entre las especies del género *Musa*. En cuanto a la grasa, las muestras de Napo ($6,35 \pm 0,08$ %) y Zamora ($5,62 \pm 0,26$ %) tienen valores superiores al 1,2 – 2,7 % reportado en bananas, lo que indica un mayor contenido lipídico en el maqueño. El contenido de proteína de cáscara de maqueño de la localidad de Napo ($7,19 \pm 0,41$ %) también es mayor que el rango de 2,16 – 8,13 % encontrado en la cáscara de banana, sugiriendo un perfil nutricional más rico. Finalmente, los carbohidratos de la cáscara de maqueño de la localidad de Quevedo ($68,15 \pm 1,07$ %) son notablemente más altos que en las cáscaras de banana, que varían de 20,48 a 63,03 %, resaltando una diferencia significativa en la composición energética entre ambas muestras (Anjum & Sundaram, 2022).

La cáscara de maqueño presenta un menor contenido de humedad (entre 6,95 y 8,55%) en comparación con la cáscara de *Musa sinensis* L. (banana) (20,87 %) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) (21,81 %) (Oyeyinka & Afolayan, 2019). Este menor contenido de humedad puede indicar una mayor estabilidad y menor perecibilidad de la cáscara de maqueño, lo que es favorable para su almacenamiento y uso prolongado en aplicaciones industriales. Además, la cáscara de maqueño muestra un contenido de cenizas (12,36 a 13,75 %), fibra bruta (7,84 a 12,17 %), grasa (4,51 a 6,43 %) y proteína (5,02 a 7,49 %) significativamente mayores que los encontrados en cáscaras

de banana y plátano. Estos valores sugieren que la cáscara de macheño posee una mayor cantidad de minerales, un mayor valor calórico y mayor contenido proteico, lo que puede incrementar su valor nutricional y potencial uso en productos alimentarios y nutraceuticos (Oyeyinka & Afolayan, 2019). El contenido de carbohidratos en la cáscara de macheño (entre 61,31 % y 68,9 %) es comparable con el de las cáscaras de banana (67,29 %) y plátano (68,57 %), lo que indica una buena fuente de energía.

La actividad antioxidante de la cáscara de macheño medida en μmol equivalente de trolox/100g de muestra, con valores de hasta $255,92 \pm 1,04$ y $255,63 \pm 0,92 \mu\text{mol}$ para las extracciones con etanol al 60 y 80 %, respectivamente, es alta. El IC_{50} del extracto etanólico (96 %) de cáscara de plátano Kepok (*Musa balbisiana*) fue de 44,29 mg/L, empleando el método DPPH, por lo que la actividad antioxidante se clasifica como muy fuerte (Bahri et al., 2023) aunque es una medida diferente. La comparación de μmol equivalente de trolox/100g e IC_{50} puede parecer difícil debido a las diferencias en las unidades y métodos de medida, pero ambos indican que estas muestras son fuentes valiosas de antioxidantes. La actividad antioxidante se considera muy potente si los valores de IC_{50} son inferiores a 50 mg/L, fuerte si los valores de IC_{50} están entre 50 y 100 mg/L e inactivo si los valores de IC_{50} son superiores a 500 mg/L (Jun et al., 2003; Mustarichie et al., 2017).

La cáscara de macheño de Zamora, con $65,02 \pm 0,69$ y $72,63 \pm 0,98$ mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100g de muestra seca para extracciones con etanol

al 60 y 80 % respectivamente, muestra una alta concentración de polifenoles en comparación con los extractos etanólicos de cáscaras de *Musa sinensis* L. (banana) y *Musa paradisiaca* L. (plátano) que presentan valores entre 157,19 y 133,42 mg EAG/g (Oyeyinka & Afolayan, 2020). En cuanto a la actividad antioxidante, las cáscaras de macheño de Zamora también destacan con valores de $255,92 \pm 1,04$ y $255,63 \pm 0,92 \mu\text{mol}$ equivalente de trolox/100 g de muestra seca, medidos por el método DPPH, superando a las cáscaras de banana y plátano, que mostraron una inhibición del 11,17 y 11,01 % respectivamente en condiciones similares (Oyeyinka & Afolayan, 2020). Estos resultados sugieren que la cáscara de macheño, especialmente la de Zamora, no solo tiene una cantidad significativa de polifenoles totales, sino también una alta capacidad antioxidante, comparable o superior a la de otros productos vegetales estudiados. Esto resalta su potencial como fuente valiosa de antioxidantes naturales para aplicaciones alimentarias y medicinales.

Los extractos etanólicos mostraron actividad antimicrobiana ante bacterias Gram positivas, específicamente *S. aureus* y *B. cereus*, pero son inactivos ante *E. coli* (Gram negativa), lo que se asocia principalmente a las diferencias en la estructura de sus paredes celulares. Las bacterias gram positivas poseen una pared celular gruesa de peptidoglicano que es fácilmente accesible para antibióticos como los beta-lactámicos, que inhiben la síntesis de esta estructura esencial (Nikaido, 2003). En contraste, las bacterias gramnegativas tienen una membrana externa adicional que contiene lipopolisacáridos, lo que crea

una barrera física que limita la entrada de muchas sustancias antimicrobianas (Hancock & Bell, 1988). Además, esta membrana externa está equipada con porinas que restringen el paso de moléculas grandes y cargadas, y con bombas de eflujo que expulsan los antimicrobianos del interior de la célula, confiriendo una resistencia inherente adicional (Wright, 2005).

Ehiowemwenguan et al. (2014), reportaron que el extracto etanólico de cáscara de banana a una concentración de 1025 mg/mL mostró un halo de inhibición de 8 mm contra *S. aureus*, el cual es similar al del extracto etanólico puro de cáscara de maqueño de la localidad de Quevedo (7 mm) pero es menor en comparación con el extracto etanólico de cáscara de maqueño de la localidad de Napo (10 mm) y Zamora (12 mm). Además, el extracto de cáscara de plátano mostró mayor actividad contra otras bacterias como *Klebsiella pneumoniae* con un halo de 38 mm. El extracto etanólico de cáscara de plátano kepok (*Musa balbisiana*) mostró un halo de inhibición de 12,04 mm contra *S. aureus* (Mulyani et al., 2021) similar al presentado en las muestras de Zamora (12 mm), pero superior a las de Napo (10 mm) y Quevedo (7 mm). La diferencia en la actividad antimicrobiana puede atribuirse a la variabilidad en la composición química de las cáscaras dependiendo de la localidad en la cual fueron cultivadas las especies vegetales.

CONCLUSIÓN

Las cáscaras de maqueño (*Musa balbisiana*) presentaron la siguiente composición promedio humedad: $7,74 \pm 0,45$ %, cenizas: $13,00 \pm 0,44$ %, fibra bruta: $9,81 \pm 1,31$ %, y

grasa: $5,57 \pm 0,73$ %, proteína: $5,99 \pm 0,98$ %, y carbohidratos: $65,78 \pm 0,75$ %.

Se evaluó la cantidad de polifenoles totales obteniéndose los valores más altos provenientes de la cáscara de maqueño de la localidad de Zamora con $65,02 \pm 0,69$ y $72,63 \pm 0,98$ mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/100g de muestra seca para las extracciones con etanol al 80 % y al 60 %, respectivamente.

La mayor actividad antioxidante se encuentra en la cáscara de muestras de Zamora con un valor de $255,92 \pm 1,04$ μ mol equivalente de trolox/100g de muestra seca con etanol al 80 % y $255,63 \pm 0,92$ con etanol al 60 %.

Los extractos de cáscaras de maqueño no presentaron actividad antibacteriana contra *E. coli*; sin embargo, sí presentaron actividades ante las bacterias gram positivas, los halos de inhibición más grandes se obtuvieron en muestras de Zamora empleando la concentración C4 (100 %) para *S. aureus* tuvo un diámetro de 12 y 8 mm para las extracciones con etanol al 80 y 60 % y para *B. cereus* el diámetro fue de 9 mm para el extracto con etanol al 80 %.

Por lo que se concluye que las cáscaras de maqueño presentan alta cantidad de polifenoles y fuerte actividad antioxidante y antimicrobiana, especialmente las muestras obtenidas de Zamora.

AGRADECIMIENTO

Christian D. Alcívar-León, Juan Sebastián Serrano-León agradecen a la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de

Ciencias Químicas.

LISTA DE REFERENCIAS

- Kernis, M.H., Cornell, D.P., Sun, C.R., Berry, A., & Harlow, T. (1993). There's more to self-esteem than whether it is high or low: The importance of stability of self-esteem. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65 (6), 1190-1204.
- Aderolu, A. Z., Lawal, M. O., & Sobaloju, S. (2016). Replacement value of maize with ripe and unripe plantain peels in the diet of juvenile catfish (*Clarias Gariepinus* Burchell, 1822). *Journal of Agricultural Research and Development*, 15(1), 24-35.
- Almeida, M. M. B., de Sousa, P. H. M., & Arriaga, A. M. C. (2022). Antioxidant and antimicrobial activities of banana peel extracts: A review. *Food Chemistry*, 367, 130712.
- Anjum, S., & Sundaram, S. (2022). Comparative study on nutrient composition and functional characteristics of tropical fruits with emphasis on banana fruit peel. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 14(5), 25-35.
- AOAC INTERNATIONAL. (2023). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (OMA)* (22^a ed.). AOAC INTERNATIONAL.
- Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (Eds.). (2004). *La Economía Mundial Del Banano 1985-2002 (Estudios Fao: Productos Basicos)* (Vol. 50). Food & Agriculture Org.
- Bahri, S., Jannah, R., Rahmawati, A., & Huldin, R. J. (2023). Exploring the Phytochemical and Antioxidant potential of *Musa balbisiana* Peel Extract Using *Biochemical Approach*. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(1), 451-456.
- Behiry, S. I., Okla, M. K., Alamri, S. A., EL-Hefny, M., Salem, M. Z., Alaraidh, I. A., Ali, H. M., Al-Ghtani S. M., Monroy, J.C. & Salem, A. Z. (2019). Antifungal and antibacterial activities of *Musa paradisiaca* L. peel extract: HPLC analysis of phenolic and flavonoid contents. *Processes*, 7(4), 215.
- Bernal, M., & Guzmán, M. (1984). El antibiograma de discos. Normalización de la técnica de Kirby-Bauer. *Biomédica*, 4(3-4), 112-121.
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2023). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing* (33rd ed.). CLSI guideline M100. Chevez Véliz, H. H., Tuarez García, D. A., Erazo Solórzano, C. Y., Revilla Escobar, K. Y., Aldas Morejon, J. P., & Guapi Álava, G. M. (2023). Evaluación físico-química del banano makeño (*Mussa acuminata*) en dos zonas de cultivo en Ecuador. *Acta Agronómica*, 72(2), 125-131.
- Ehiowemwenguan, G., Emoghene, A. O., & Inetianbor, J. E. (2014). Antibacterial and phytochemical analysis of Banana fruit peel. *IOSR Journal of Pharmacy*, 4(8), 18-25.
- Palomino, G. L. R., García, P. C. M., Gil G. J. H., Rojano, B. A., Durango R. D. L. (2009). Determinación del contenido de fenoles y evaluación

de la actividad de propóleos recolectados en el departamento de antioquia(colombia). *Vitae*, 16(3), 388–395.

Jun, M., Fu, H. Y., Hong, J., Wan, X., Yang, C. S., & Ho, C. T. (2003). Comparison of antioxidant activities of isoflavones from kudzu root (*Pueraria lobata* Ohwi). *Journal of food science*, 68(6), 2117-2122.

INFOCOMM. (2022). *Perfil de INFOCOMM: Banano*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. Recuperado de <https://unctad.org>.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1994). *Norma INEN 1750: Hortalizas y frutas frescas - Muestreo*. INEN.

Kumar, S., Pandey, A. K., & Singh, R. (2021). Antimicrobial and antioxidant properties of banana peel extracts: Potential applications in food preservation. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1912-1921.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.

Maryati, T., Nugroho, T., Bachruddin, Z., & Pertiwinigrum, A. (2021). Antibacterial effects of Kepok Banana bunch (*Musa paradisiaca* L.) against *Staphylococcus aureus*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 637, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.

Melo-Sabogal, D. V., Torres-Grisales, Y., Serna-Jiménez, J. A., & Torres-Valenzuela, L. S. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*Musa*

paradisiaca spp) para la obtención de maltodextrina. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 13(2), 76-85.

Meneses, M. M., Agatón, L. L., Gutiérrez, L. F. M., Mendieta, L. E. G., & Botero, J. D. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(9), 128-139.

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022). *Informe de producción y comercialización de banano en Ecuador*. Quito, Ecuador: MAG.

Mulyani, Y. W. T., Rokiban, A., & Mahendra, G. C. (2021). Fraksi etanol ekstrak kulit pisang kepok kuning (*Musa balbisiana*) terhadap bakteri *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, dan *Propionibacterium acnes*. *Jurnal Farmasi Lampung* Vol, 10(1), 10-15.

Mustarichie, R., Runadi, D., & Ramdhani, D. (2017). The antioxidant activity and phytochemical screening of ethanol extract, fractions of water, ethyl acetate and n-hexane from mistletoe tea (*Scurrula atropurpureabl*. Dans). *Asian Journal of pharmaceutical and clinical research*, 10 (2), 343-347.

Nikaido, H. (2003). Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and molecular biology reviews*, 67(4), 593-656.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Consumo per cápita de banano en Ecuador*. Recuperado de <https://www.fao.org>

- Oyeyinka, B. O., & Afolayan, A. J. (2019). Comparative evaluation of the nutritive, mineral, and antinutritive composition of *Musa sinensis* L. (banana) and *Musa paradisiaca* L. (plantain) fruit compartments. *Plants*, 8(12), 598.
- Oyeyinka, B. O., & Afolayan, A. J. (2020). Comparative and correlational evaluation of the phytochemical constituents and antioxidant activity of *Musa sinensis* L. and *Musa paradisiaca* L. fruit compartments (Musaceae). *The Scientific World Journal*, 2020(1), 4503824
- Ramos, V., Aguilera, A., & Ochoa, E. (2016). Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria. *Revista de simulacion y Laboratorio*, 3(9), 22-29.
- Rita, W. S., Swantara, I. M. D., Asih, I. A. R. A., & Damayanti, N. L. Y. (2023, May). Antibacterial efficacy of susu banana (*Musa paradisiaca* L.) peel methanol extract and the total contents of flavonoid and phenolic compounds. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1177, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152-178.
- Schmitz, F. R. W., Samaniego-Sánchez, C., Tedeschi, P., Maietti, A., Shariati, M. A., Hleba, L., & de Souza, C. K. (2021). Fatty acid profile and antioxidant capacity of *Oryza sativa* L. (japonica subspecies) marketed in Italy and Brazil: a comparison. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11(1), e4842.
- Toro, E. R., Narea, M. S., Pacheco, J. F., Villablanca, E. C., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Naciones Unidas, CEPAL.
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2021). *Global Waste Management Outlook 2021*. Nairobi, Kenya: UNEP.
- Velasteguí, A. J. H., Arévalo, A. E. B., & Bloisse, S. Y. T. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506-525.
- Wright, G. D. (2005). Bacterial resistance to antibiotics: enzymatic degradation and modification. *Advanced drug delivery reviews*, 57(10), 1451-1470.
- Yusufu, P. A., Mosiko, T. B., & Ojuko, O. O. (2014). Effect of firm ripe plantain fruit flour addition on the chemical, sensory and microbial quality of fura powder. *Nigerian Food Journal*, 32(1), 38-44.