

Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de polifenoles de hojas de *Mangifera indica* contra *Escherichia coli* ATCC 25922

Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de polifenoles de hojas de *Mangifera indica* contra *Escherichia coli* ATCC 25922

Ramón Antonio Acurio Lucas ^a 
✉ ramon.acurio.41@espam.edu.ec

María Dolores Murillo Loo ^a 

^a Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Manabí, Ecuador

Palabras clave:

Polifenoles; *Mangifera indica*; *Escherichia coli*; Difusión en agar

Keywords:

Polyphenols; *Mangifera indica*; *Escherichia coli*; Agar diffusion

Resumen

Contexto: La resistencia antimicrobiana representa un desafío creciente para la salud pública y la seguridad alimentaria, lo que ha impulsado la búsqueda de compuestos naturales con actividad inhibitoria frente a bacterias patógenas.

Objetivo: Evaluar la actividad antimicrobiana in vitro de polifenoles extraídos de hojas de *Mangifera indica* var. Tommy Atkins frente a *Escherichia coli* ATCC 25922. **Materiales y métodos:** Los extractos se obtuvieron mediante maceración con etanol al 96 % asistida por ultrasonido. Se evaluaron cuatro concentraciones (1,5; 3,0; 4,5 y 6,0 mg/mL) y un control negativo mediante difusión en agar, con discos de papel filtro sobre agar Mueller-Hinton inoculado con la cepa. La normalidad se evaluó mediante Shapiro-Wilk; como dos grupos no cumplieron este supuesto, los cinco grupos se compararon mediante Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$). **Resultados:** El mayor promedio del diámetro registrado correspondió a 6,0 mg/mL (7,25 mm); los promedios de las otras concentraciones estuvieron entre 6,50 y 6,75 mm. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los cinco grupos ($p = 0,721$). **Conclusiones:** Bajo las condiciones evaluadas, no se demostró un efecto estadísticamente significativo atribuible al extracto sobre *Escherichia coli* ATCC 25922.

Cómo citar:

Acurio Lucas RA, Murillo Loo MD. Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de polifenoles de hojas de *Mangifera indica* contra *Escherichia coli* ATCC 25922; 10 (30).
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i30.509>



Abstract

Context: Antimicrobial resistance represents a growing challenge for public health and food safety, driving the search for natural compounds with inhibitory activity against pathogenic bacteria. **Objective:** To evaluate the in vitro antimicrobial activity of polyphenols extracted from *Mangifera indica* var. Tommy Atkins leaves against *Escherichia coli* ATCC 25922. **Materials and methods:** Extracts were obtained by 96% ethanol maceration assisted by ultrasound. Four concentrations (1.5, 3.0, 4.5, and 6.0 mg/mL) and a negative control were evaluated by agar diffusion using paper discs on Mueller-Hinton agar inoculated with the strain. Normality was assessed with the Shapiro-Wilk test; because two groups did not meet this assumption, the five groups were compared using the Kruskal-Wallis test ($\alpha = 0.05$). **Results:** The highest mean recorded diameter was observed at 6.0 mg/mL (7.25 mm); the means for the other concentrations ranged from 6.50 to 6.75 mm. No statistically significant differences were found among the five groups ($p = 0.721$). **Conclusions:** Under the conditions evaluated, no

statistically significant effect attributable to the extract on *Escherichia coli* ATCC 25922 was demonstrated.

Introducción

El incremento de la resistencia antimicrobiana representa un desafío para la salud pública y la seguridad alimentaria, debido a que reduce las posibilidades de controlar infecciones y exige revisar las estrategias de prevención y tratamiento. Esta problemática también afecta la valoración de alternativas capaces de complementar los agentes convencionales. La revisión de Romandini *et al.* sobre infecciones pediátricas ilustra la dimensión sanitaria de la resistencia y la necesidad de estudiar nuevas opciones antimicrobianas ⁽¹⁾. Sin embargo, reconocer esa necesidad no implica que cualquier producto natural sea eficaz: su utilidad debe demostrarse mediante evaluaciones específicas, condiciones reproducibles y una interpretación proporcional a la evidencia obtenida.

En el ámbito agroindustrial, el control microbiano resulta relevante para proteger la calidad de los alimentos y reducir riesgos durante su procesamiento y conservación. Los agentes antimicrobianos naturales constituyen una línea de investigación orientada a explorar alternativas de bioconservación, con atención a sus propiedades y posibilidades de aplicación ⁽²⁾. Su incorporación exige considerar tanto la respuesta del microorganismo como las características del producto alimentario. Por ello, antes de proponer un extracto vegetal como conservante, es necesario establecer si presenta actividad bajo condiciones definidas. La evaluación inicial en laboratorio aporta información para seleccionar formulaciones y reconocer limitaciones que deben resolverse antes de avanzar hacia aplicaciones prácticas.

En este contexto, los compuestos bioactivos de origen vegetal han despertado interés como fuentes de sustancias con posibles funciones antimicrobianas. Las investigaciones sobre *Mangifera indica*, los alimentos funcionales y los mecanismos de acción de compuestos vegetales muestran un campo amplio de exploración, en el que convergen la caracterización química y la evaluación biológica ⁽³⁻⁵⁾. No obstante, los beneficios nutricionales, antioxidantes y antimicrobianos representan propiedades diferentes y requieren procedimientos de comprobación particulares. Esta distinción evita trasladar automáticamente resultados favorables de un ámbito a otro y permite formular preguntas experimentales centradas en el microorganismo, el material vegetal y la preparación que se pretende estudiar.

Bae *et al.* ⁽⁶⁾ describen que los polifenoles son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en las plantas y que pueden actuar frente a patógenos bacterianos mediante mecanismos como la inhibición de biopelículas, la inactivación enzimática y la alteración de estructuras celulares. Estas posibilidades justifican investigar extractos ricos en compuestos fenólicos, pero no permiten anticipar una respuesta uniforme. Su actividad depende de la composición cualitativa, la estabilidad y las interacciones con el microorganismo y el medio de evaluación ⁽⁷⁾. En consecuencia, el contenido fenólico total debe interpretarse como una característica del extracto, cuya relación con la inhibición bacteriana necesita comprobación directa. También resulta necesario distinguir entre una mezcla vegetal y un compuesto purificado, porque sus componentes pueden presentar comportamientos diferentes durante el ensayo.

Las hojas de mango constituyen un material de interés para obtener compuestos fenólicos con actividad biológica. Los estudios sobre hojas y subproductos de *Mangifera indica* han examinado su potencial antioxidante y antimicrobiano, junto con procedimientos de extracción y estrategias de aprovechamiento ^(8,9). Esta evidencia ofrece antecedentes para explorar materiales vegetales disponibles en contextos agrícolas, aunque sus resultados no deben considerarse intercambiables entre variedades, órganos o preparaciones. En particular, trabajar con hojas de la variedad Tommy Atkins requiere documentar las condiciones de recolección

y procesamiento. Una caracterización adecuada permite delimitar el material evaluado y favorece que otros estudios puedan reproducir la preparación o comparar sus resultados bajo condiciones semejantes.

También se han investigado propiedades de extractos de hojas de mango, incluida su actividad antifúngica y su protección mediante microencapsulación ⁽¹⁰⁾. González Moya ⁽¹¹⁾ evaluó un extracto de semilla de mango aplicado por impregnación al vacío en rodajas de jícama, considerando capacidad antioxidante y bioaccesibilidad de polifenoles. Ambos antecedentes muestran posibilidades de aprovechamiento, pero corresponden a matrices, organismos y resultados distintos de una prueba antibacteriana con hojas. Por tanto, aportan contexto para la investigación del mango sin demostrar, por sí mismos, inhibición de *Escherichia coli*. Diferenciar estos alcances ayuda a establecer una justificación pertinente y evita atribuir al extracto propiedades que todavía deben evaluarse.

Los resultados de actividad antibacteriana de extractos vegetales presentan variabilidad relacionada con el método de extracción, el solvente y las condiciones de evaluación ^(12,13). Estas diferencias pueden modificar la composición de la mezcla recuperada y dificultar comparaciones entre investigaciones que utilizan preparaciones o concentraciones distintas. La revisión de antimicrobianos vegetales refuerza la necesidad de examinar su potencial mediante evidencia específica ⁽¹⁴⁾. En este marco, evaluar varias concentraciones permite explorar diferencias de respuesta, sin asumir que incrementar la cantidad de extracto necesariamente genera mayor inhibición. Además, las bacterias Gram negativas presentan una membrana externa que puede restringir el acceso de ciertos agentes a sus estructuras celulares. Los estudios sobre estrategias para superar esta barrera resaltan su importancia en la evaluación de alternativas antibacterianas ⁽¹⁵⁾.

Entre los microorganismos de interés alimentario, *Escherichia coli* requiere atención por la existencia de variantes asociadas con enfermedades transmitidas por alimentos ⁽¹⁶⁾. Sin embargo, la respuesta de una cepa de referencia no representa automáticamente el comportamiento de todas las cepas de la especie ni demuestra eficacia frente a aislados resistentes. El uso de *E. coli* ATCC 25922 permite delimitar el ensayo a un microorganismo identificado, favoreciendo comparaciones experimentales. Persisten preguntas sobre la respuesta de esta cepa a extractos fenólicos de hojas de mango en concentraciones moderadas. Documentar tanto resultados favorables como ausencia de diferencias contribuye a precisar el alcance de la evidencia disponible.

Con base en estos antecedentes, el objetivo de esta investigación fue evaluar la actividad antimicrobiana in vitro de polifenoles extraídos de hojas de *Mangifera indica* var. Tommy Atkins frente a *Escherichia coli* ATCC 25922 mediante difusión en agar. Se examinaron cuatro concentraciones y un control negativo para comparar los diámetros registrados.

El estudio busca aportar evidencia contextualizada sobre esta preparación, sin extender sus resultados a eficacia clínica, conservación de alimentos o comportamiento de otros microorganismos. La comparación se interpreta dentro de las condiciones del ensayo, considerando que el diámetro observado depende de la interacción entre el extracto, el vehículo y el medio de cultivo. Así, la investigación contribuye a orientar futuras evaluaciones de concentración, composición y procedimientos complementarios, manteniendo diferenciadas la caracterización química y la demostración experimental de actividad antibacteriana.

Materiales y métodos

Preparación del material vegetal y extracción de polifenoles

Se recolectaron 300 g de hojas frescas de mango (*Mangifera indica*), variedad Tommy Atkins, en el cantón Chone, Manabí, Ecuador. Las hojas fueron seleccionadas, lavadas con agua potable y secadas en un

deshidratador RWA a 35 °C durante 24 h, hasta alcanzar una humedad menor al 10 %. Luego se molieron hasta obtener partículas de 0,5–1 mm.

Se pesaron 10 g de hojas de mango secas y molidas y se mezclaron con 100 mL de etanol al 96 %. La extracción se realizó en un baño ultrasónico (ISOLAB) a 60 °C durante 1 h ⁽¹⁷⁾. Posteriormente, el extracto se mantuvo a 4 °C durante 24 h en una incubadora MERMET ⁽¹⁸⁾. Se filtró con papel filtro y se concentró en un rotavapor DLAB a 51 °C y 175 mbar. El producto obtenido se almacenó a 4 °C en frascos ámbar ⁽¹⁹⁾.

Determinación de compuestos fenólicos totales

La determinación del contenido de polifenoles se realizó por triplicado analítico. Para preparar la muestra, se mezclaron 200 µL del extracto con 1,5 mL de agua destilada y 100 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu ⁽²⁰⁾. La mezcla se homogeneizó en vórtex durante 15 s y se dejó reposar 5 min a temperatura ambiente. Luego se añadieron 200 µL de carbonato de sodio al 20 % y se homogeneizó nuevamente. La solución reaccionó durante 45 min a temperatura ambiente ⁽²¹⁾. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 180. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco (mg EAG/g).

Las diluciones se prepararon mediante la ecuación de dilución, utilizando extractos obtenidos en tres procesos independientes de extracción y evaporación. Las concentraciones finales de 1,5; 3,0; 4,5 y 6,0 mg/mL se ajustaron a un volumen final de 2 mL con agua destilada.

Análisis Microbiológicos

Se utilizó la cepa estándar *E. coli* ATCC 25922, cultivada en agar Mueller-Hinton. Las colonias se suspendieron en NaCl al 0,85 % y se ajustaron al estándar 0,5 de McFarland ($\sim 1,5 \times 10^8$ UFC/mL) ⁽²²⁾. La actividad antimicrobiana se evaluó mediante difusión en agar ⁽²³⁾. Para cada unidad experimental se utilizaron placas Petri con 20 mL de agar, sobre las que se aplicaron discos estériles de papel filtro (6 mm), impregnados con los extractos a cuatro concentraciones: 1,5; 3,0; 4,5 y 6,0 mg/mL. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 h y los halos se midieron con un calibrador estéril ⁽²⁴⁾.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar e incluyó cuatro concentraciones del extracto y un control negativo, con cuatro réplicas por grupo (20 unidades experimentales). La variable independiente fue el grupo de tratamiento. La variable de respuesta fue el diámetro registrado del halo de inhibición (mm).

Los datos se procesaron con Statgraphics Centurion XVI. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Como dos grupos presentaron desviaciones significativas de la normalidad (Tabla 2), las diferencias entre los cinco grupos se evaluaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Resultados

Rendimiento de los extractos polifenólicos

La extracción asistida por ultrasonido permitió recuperar material de las hojas de *Mangifera indica* var. Tommy Atkins en los tres procesos independientes de preparación. Después de evaporar el solvente, los rendimientos registrados fueron de 22,65 %, 19,63 % y 29,26 %. El promedio de estas tres determinaciones fue de 23,85 %, lo que resume la recuperación de extracto obtenida bajo las condiciones de trabajo descritas en la metodología.

El mayor rendimiento correspondió a la tercera extracción y el menor, a la segunda. La diferencia entre ambos extremos fue de 9,63 puntos porcentuales. La primera extracción presentó un valor intermedio, próximo al promedio general. Esta distribución muestra que la recuperación no fue idéntica entre preparaciones, aun cuando se aplicó el mismo procedimiento. El resultado permite describir la variación entre las tres extracciones, pero no identificar su causa, porque no se evaluó por separado la contribución de cada condición de procesamiento.

El rendimiento debe distinguirse del contenido fenólico y de la respuesta microbiológica. Recuperar una mayor proporción de extracto no demuestra que esa preparación contenga una mayor cantidad de compuestos activos ni que produzca una inhibición bacteriana superior. En este estudio, el rendimiento describe la cantidad recuperada después del procesamiento; la caracterización química y la evaluación frente a *E. coli* se presentan como resultados diferentes. No se dispone de una comparación individual que vincule cada rendimiento con su correspondiente respuesta antimicrobiana.

Contenido total de polifenoles

El contenido promedio de polifenoles totales fue de $225,43 \pm 32,67$ mg equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco, a partir de tres determinaciones reportadas ($n = 3$). La unidad mg EAG/g expresa el resultado respecto del patrón de ácido gálico empleado en la cuantificación y permite describir el contenido fenólico global de la preparación. El procedimiento analítico se encuentra contextualizado mediante las referencias incluidas en el manuscrito ^(25,26).

El valor central resume la caracterización obtenida, mientras que el término de dispersión consignado junto a él muestra variabilidad entre las determinaciones. Para evitar atribuirle un significado no documentado, se conserva la expresión original del resultado. Este dato no proporciona un perfil de los compuestos presentes ni permite establecer cuánto aporta cada componente a la respuesta observada en el ensayo bacteriano.

Asimismo, la concentración de las soluciones utilizadas en microbiología, expresada en mg/mL, no debe confundirse con el contenido fenólico expresado en mg EAG/g. Ambas unidades describen aspectos diferentes de la preparación. La primera corresponde a la concentración aplicada según el procedimiento y la segunda, a su caracterización química. Por ello, el contenido total permite reconocer la presencia de material con respuesta en el ensayo de cuantificación, pero no establece por sí mismo una concentración inhibitoria ni demuestra actividad frente a *E. coli* ATCC 25922.

Actividad antimicrobiana in vitro

La evaluación microbiológica comprendió cinco grupos: cuatro concentraciones del extracto y un control negativo. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 correspondieron, respectivamente, a 1,5; 3,0; 4,5 y 6,0 mg/mL. Cada grupo incluyó cuatro réplicas, de modo que el análisis reunió 20 unidades experimentales. El control negativo se describe en el documento como tratado con etanol al 96 %. Los resultados se presentan respetando esta identificación, sin modificar la composición del control ni reconstruir condiciones que no se encuentran documentadas.

La Tabla 1 reúne los valores individuales y sus resúmenes descriptivos. Incluir las cuatro mediciones de cada grupo permite observar cómo se obtuvo cada promedio y cuánto variaron las respuestas. Esta presentación es especialmente útil porque una media aislada puede ocultar diferencias entre réplicas. En los grupos con extracto, los registros estuvieron entre 5 y 8 mm; en el control negativo, entre 6 y 11 mm.

Las mediciones se denominan diámetros registrados para mantener una interpretación prudente. El procedimiento informa discos de papel de 6 mm y la tabla contiene una medición de 5 mm. Esta combinación requiere aclarar el criterio de lectura antes de interpretar todos los valores como zonas de inhibición que

incluyen el disco. Se conservan las cifras originales y se evita calcular una zona adicional mediante sustracciones que podrían no corresponder al procedimiento realmente utilizado.

Tabla 1. *Diámetros registrados por concentración del extracto y en el control negativo.*

Tratamiento	Concentración (mg/mL)	Halo de inhibición (mm)				Media $\pm$ DE
		R1	R2	R3	R4	
T1	1,5	8	6	6	6	6,50 $\pm$ 1,00
T2	3,0	7	7	7	6	6,75 $\pm$ 0,50
T3	4,5	5	8	7	6	6,50 $\pm$ 1,29
T4	6,0	6	8	8	7	7,25 $\pm$ 0,96
CN	0	9	11	6	6	8,00 $\pm$ 2,45

Nota. R1–R4 identifican las cuatro réplicas por grupo. DE = desviación estándar muestral. CN = control negativo descrito como etanol al 96 %. Los valores se mantienen como fueron reportados; debe aclararse el criterio de lectura de los diámetros próximos o inferiores a 6 mm.

T1 presentó una media de 6,50 $\pm$ 1,00 mm, con registros de 8, 6, 6 y 6 mm. En T2, las mediciones fueron de 7, 7, 7 y 6 mm, y la media alcanzó 6,75 $\pm$ 0,50 mm. Este segundo grupo mostró la menor dispersión entre los tratamientos evaluados: tres de sus cuatro réplicas tuvieron el mismo valor y la restante se diferenció en un milímetro.

T3 registró 5, 8, 7 y 6 mm, con una media de 6,50 $\pm$ 1,29 mm. Aunque su concentración fue superior a la de T1 y T2, su promedio coincidió con el de T1. T4 presentó valores de 6, 8, 8 y 7 mm, con una media de 7,25 $\pm$ 0,96 mm. Esta fue la mayor media entre los grupos que recibieron extracto y superó en 0,75 mm a las medias de T1 y T3.

La secuencia de promedios no muestra un incremento continuo con la concentración: aumenta de T1 a T2, disminuye en T3 y vuelve a aumentar en T4. Por tanto, el resultado describe una media mayor en la concentración más alta, pero no demuestra una relación consistente entre concentración y respuesta. El control negativo registró 9, 11, 6 y 6 mm, con una media de 8,00 $\pm$ 2,45 mm. Su promedio superó al de todos los tratamientos y presentó la mayor dispersión del conjunto.

La Figura 1 permite observar las placas y las zonas registradas durante el ensayo. Su función es complementar los datos numéricos con evidencia visual del procedimiento. Las fotografías no sustituyen las mediciones de la tabla ni permiten establecer por sí solas diferencias estadísticas o atribuir la respuesta exclusivamente al extracto. La iluminación, la perspectiva y las anotaciones de las placas deben considerarse al examinar esta representación.

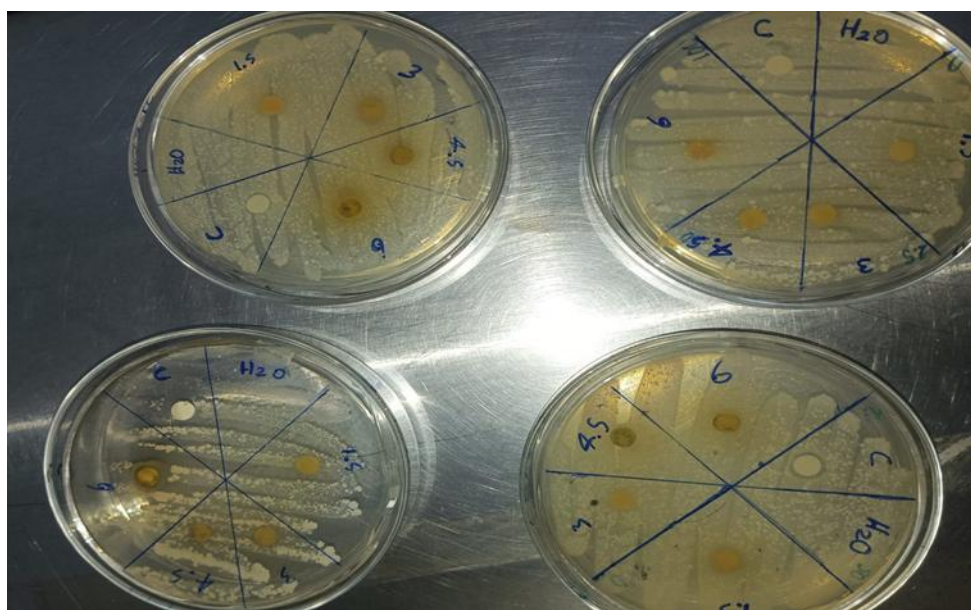


Figura 1. Registro fotográfico de las placas utilizadas para evaluar el extracto frente a *Escherichia coli* ATCC 25922.

Nota. Las fotografías complementan las mediciones de la Tabla 1. No permiten atribuir por sí solas la respuesta al extracto ni establecer diferencias estadísticas.

Antes de comparar los grupos, se examinó la distribución de sus mediciones mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La Tabla 2 presenta los estadísticos y los valores de significación de cada condición. Para T1 y T2 se reportó $W = 0,630$ y $p = 0,001$ en ambos casos. De acuerdo con el umbral establecido de 0,05, estos resultados indican desviaciones respecto del supuesto de normalidad en los dos grupos.

En el control negativo se obtuvo $W = 0,860$ y $p = 0,262$; en T3, $W = 0,993$ y $p = 0,972$; y en T4, $W = 0,863$ y $p = 0,272$. En estas tres condiciones no se rechazó la hipótesis de normalidad. Esta formulación es más precisa que afirmar que sus distribuciones fueron normales, porque la ausencia de rechazo no equivale a una demostración del supuesto, especialmente con solo cuatro observaciones por grupo.

La presencia de mediciones repetidas en T1 y T2 ayuda a reconocer la forma de los datos que se sometieron al análisis, pero no reemplaza el resultado de la prueba ni explica por sí sola su significación. Conforme al procedimiento consignado, la comparación general se realizó mediante Kruskal-Wallis. Los valores de la tabla se conservaron tal como fueron reportados; esta presentación no implica una recalculación de los estadísticos originales.

Tabla 2. Evaluación de la normalidad mediante Shapiro-Wilk en los cinco grupos.

	Concentración (mg/mL)	Estadístico	Shapiro-Wilk	
			gl	Sig.
Halo de inhibición (mm)	Etanol (0)	0,860	4	0,262
	T1 Polifenoles (1,5)	0,630	4	0,001
	T2 Polifenoles (3,0)	0,630	4	0,001
	T3 Polifenoles (4,5)	0,993	4	0,972
	T4 Polifenoles (6,0)	0,863	4	0,272

La comparación de los cinco grupos mediante Kruskal-Wallis produjo un valor de $p = 0,721$. Como esta cifra fue superior al nivel de significación de 0,05, no se rechazó la hipótesis nula del contraste. La Tabla 3 recoge

esta decisión y permite identificar que el análisis incluyó tanto las cuatro concentraciones del extracto como el control negativo.

El resultado indica que, con las mediciones disponibles y el análisis aplicado, no se obtuvo evidencia estadística suficiente para distinguir las distribuciones de respuesta entre los grupos. En consecuencia, la mayor media de T4 frente a los otros tratamientos permanece como una diferencia descriptiva. Tampoco puede interpretarse el valor de p como una medida del porcentaje de eficacia, de la magnitud del efecto o de la probabilidad de que el extracto carezca de actividad.

La ausencia de significación no demuestra equivalencia entre las condiciones. Para esa afirmación se requeriría un análisis diseñado con ese propósito y criterios previamente definidos. Asimismo, el contraste general no identifica diferencias específicas entre pares de tratamientos. Dado el resultado global, no se presentan comparaciones posteriores como si hubieran sido realizadas. El manuscrito no consigna el estadístico H ni medidas de efecto asociadas, por lo que estos datos no se añaden ni se estiman de manera retrospectiva en esta sección.

Tabla 3. Comparación global de los cinco grupos mediante Kruskal-Wallis.

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución del diámetro de inhibición (mm) es la misma entre los cinco grupos (cuatro concentraciones y control negativo).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,721	No se rechazó la hipótesis nula.

La Figura 2 muestra la distribución de las mediciones mediante un diagrama de cajas y bigotes. Esta representación permite reconocer la posición de los valores centrales y la extensión de los registros en cada grupo. El control negativo presenta una distribución más amplia, coherente con su desviación estándar de 2,45 mm y con el intervalo observado de 6 a 11 mm. Los grupos con extracto concentran sus registros en un intervalo más reducido.

T2 muestra valores próximos entre sí, mientras que T3 presenta mayor variación entre las réplicas con extracto. En T4, la distribución se desplaza descriptivamente hacia valores algo superiores a los de T1 y T3, aunque comparte mediciones con otros tratamientos. El gráfico permite apreciar esta proximidad entre grupos, pero la superposición visual no constituye una prueba estadística. La decisión inferencial corresponde al contraste reportado en la Tabla 3.

En conjunto, las tablas y figuras muestran recuperación de extracto, contenido fenólico cuantificable y diámetros registrados con variación entre réplicas. Sin embargo, la comparación microbiológica no demostró diferencias significativas entre las condiciones. La lectura integrada conserva esta separación: la caracterización química describe la preparación obtenida, mientras que el ensayo bacteriano aporta un resultado limitado a la cepa, las concentraciones y el procedimiento evaluados. Bajo estas condiciones, no se demostró una respuesta inhibitoria diferenciada atribuible al extracto.

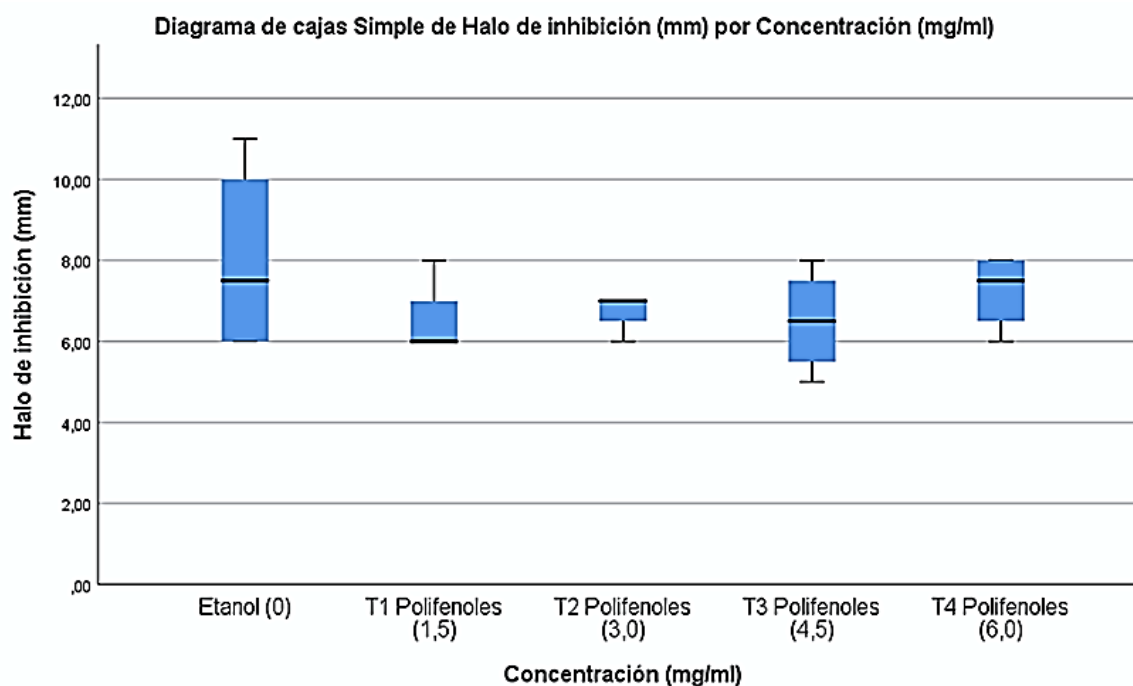


Figura 2. Distribución de los diámetros registrados en el control negativo y las cuatro concentraciones del extracto.

Nota. CN corresponde al control negativo descrito como etanol al 96 %. T1–T4 representan 1,5; 3,0; 4,5 y 6,0 mg/mL, respectivamente. Cada grupo incluyó cuatro réplicas. La comparación global reportó $p = 0,721$.

Discusión

Los resultados no demostraron diferencias estadísticamente significativas en los diámetros registrados entre las cuatro concentraciones y el control negativo (Kruskal-Wallis, $p = 0,721$). Aunque se observó una leve tendencia descriptiva al aumento de la media con la concentración, esta no permite concluir que exista una respuesta dependiente de la dosis. La ausencia de significación debe interpretarse considerando el tamaño experimental de cuatro réplicas por grupo. Un resultado no significativo no demuestra equivalencia entre tratamientos ni descarta actividad en otras condiciones; indica que este ensayo no aportó evidencia suficiente para distinguir sus respuestas. Además, la media del control negativo fue superior a las medias de los extractos, lo que refuerza la necesidad de examinar la contribución del vehículo antes de atribuir los diámetros registrados a los compuestos vegetales.

El contenido total medido fue de $225,43 \pm 32,67$ mg EAG/g de extracto seco ($n = 3$). La actividad antimicrobiana observada no depende únicamente de la cantidad total de metabolitos, sino también de su composición cualitativa, estabilidad, capacidad de difusión en el medio sólido y afinidad por las estructuras celulares bacterianas ⁽²⁷⁾. Por ello, un mayor contenido fenólico no garantiza por sí solo una actividad inhibitoria detectable en las condiciones evaluadas ⁽²⁸⁾. La cuantificación global tampoco identifica cuáles componentes permanecieron disponibles durante el ensayo microbiológico.

En consecuencia, el contenido fenólico constituye una medida de caracterización del extracto, pero no un sustituto de la evaluación funcional. La comparación entre investigaciones requiere considerar cómo se expresa la concentración, porque la masa de extracto y los equivalentes de ácido gálico representan magnitudes diferentes. Precisar esta distinción permitiría relacionar mejor la composición obtenida con la exposición efectiva de la bacteria.

Se ha documentado que factores como el solvente utilizado, las condiciones de extracción y el estado fisiológico del material vegetal influyen en el perfil fitoquímico obtenido y, en consecuencia, en su actividad biológica ⁽²⁹⁾. Estas variaciones pueden ayudar a explicar diferencias en la magnitud del efecto observado. Algunos estudios han reportado actividad antimicrobiana de extractos vegetales frente a bacterias patógenas con concentraciones iguales o superiores a 10 mg/mL; por ello, el rango utilizado aquí podría no haber producido un efecto detectable mediante difusión en agar ⁽³⁰⁾.

No obstante, aumentar la concentración debe plantearse como una hipótesis experimental, sin asumir que necesariamente producirá inhibición. También convendría controlar la reproducibilidad entre lotes y registrar el volumen depositado en cada disco, pues la concentración de la solución no determina por sí sola la cantidad aplicada. Estas precisiones ayudarían a separar las variaciones atribuibles a la preparación del extracto de aquellas relacionadas con su administración, facilitando comparaciones más consistentes entre tratamientos y estudios posteriores.

La membrana externa de bacterias Gram negativas como *E. coli* puede limitar la permeabilidad de diversos compuestos antimicrobianos, incluidos metabolitos secundarios de origen vegetal ⁽³¹⁾. Esta característica se ha descrito como un factor que contribuye a la menor susceptibilidad de bacterias Gram negativas frente a múltiples agentes antimicrobianos ⁽³²⁾. Desde una perspectiva metodológica, el uso exclusivo de la difusión en agar puede subestimar la actividad de compuestos con capacidad de difusión limitada ⁽³³⁾.

Asimismo, la ausencia de un control positivo antibiótico impide comparar la sensibilidad de la cepa con la respuesta a un agente antimicrobiano de referencia ⁽³⁴⁾. Asimismo, los diámetros próximos al tamaño del disco requieren una definición explícita del procedimiento de lectura. Dado que se utilizaron discos de seis milímetros y se registraron valores inferiores, debe aclararse si la medición incluyó el disco o correspondió únicamente a la zona externa. Esta comprobación, junto con controles del vehículo y ensayos complementarios en medio líquido, fortalecería la interpretación del resultado sin convertir una explicación metodológica posible en evidencia de eficacia antibacteriana del extracto.

Conclusiones

En las condiciones evaluadas, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los diámetros de inhibición entre las cuatro concentraciones y el control negativo (Kruskal-Wallis, $p = 0,721$). Por ello, estos resultados no permiten demostrar un efecto inhibitorio atribuible al extracto frente a *E. coli* ATCC 25922.

Aunque el extracto presentó un contenido total de $225,43 \pm 32,67$ mg EAG/g, este valor, por sí solo, no permite inferir actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram negativas como *E. coli*.

Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento sobre la actividad antimicrobiana de extractos fenólicos de origen vegetal obtenidos a partir de hojas de mango mediante extracción asistida por ultrasonido. Futuras investigaciones podrían evaluar concentraciones superiores del extracto, diferentes métodos de extracción y otros microorganismos, con el fin de ampliar la comprensión de su potencial antimicrobiano in vitro.

Acerca de

Contribución de los autores: Los autores contribuyeron en la conceptualización del estudio, desarrollo metodológico, análisis e interpretación de los datos, redacción del manuscrito y revisión crítica de su contenido intelectual.

Financiamiento: Los autores declaran que no recibió financiamiento para esta investigación.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de interés para la publicación del presente artículo.

Consideraciones éticas: La investigación se desarrolló mediante ensayos experimentales in vitro con extractos vegetales y la cepa bacteriana *Escherichia coli* ATCC 25922, sin involucrar participantes humanos ni recopilar datos personales. Se consideraron las medidas de bioseguridad pertinentes para el manejo del material biológico y el uso de los resultados con fines científicos y académicos.

Historia del artículo: Artículo recibido 13 de julio 2026 | Aceptado 18 de agosto 2026 | Publicado 12 de octubre 2026

Referencias

1. Romandini A, Pani A, Schenardi PA, Pattarino GAC, De Giacomo C, Scaglione F. Antibiotic resistance in pediatric infections: global emerging threats, predicting the near future. *Antibiotics* (Basel). 2021;10(4):393. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040393>
2. Kocić-Tanackov S, Pavlović H. Natural antimicrobial agents utilized in food preservation. *Foods*. 2023;12(18):3484. <https://doi.org/10.3390/foods12183484>
3. Alaiya MA, Odeniyi MA. Utilisation of *Mangifera indica* plant extracts and parts in antimicrobial formulations and as a pharmaceutical excipient: a review. *Futur J Pharm Sci*. 2023;9:29. <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00479-z>
4. Balaji M, Vashishth R, Das U. Plant-based functional foods for healthy aging: current trends, bioactive compounds, and future perspectives. *J Funct Foods*. 2026;138:107155. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2026.107155>
5. Pérez-Flores JG, García-Curiel L, Pérez-Escalante E, Contreras-López E, Aguilar-Lira GY, Ángel-Jijón C, et al. Plant antimicrobial compounds and their mechanisms of action on spoilage and pathogenic bacteria: a bibliometric study and literature review. *Appl Sci*. 2025;15(7):3516. <https://doi.org/10.3390/app15073516>
6. Bae JY, Seo YH, Oh SW. Antibacterial activities of polyphenols against foodborne pathogens and their application as antibacterial agents. *Food Sci Biotechnol*. 2022;31(8):985-97. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01058-3>
7. De Rossi L, Rocchetti G, Lucini L, Rebecchi A. Antimicrobial potential of polyphenols: mechanisms of action and microbial responses—a narrative review. *Antioxidants* (Basel). 2025;14(2):200. <https://doi.org/10.3390/antiox14020200>
8. Sferrazzo G, Palmeri R, Restuccia C, Parafati L, Siracusa L, Spampinato M, et al. *Mangifera indica* L. leaves as a potential food source of phenolic compounds with biological activity. *Antioxidants* (Basel). 2022;11(7):1313. <https://doi.org/10.3390/antiox11071313>
9. Tirado-Kulieva V, Atoche-Dioses S, Hernández-Martínez E. Phenolic compounds of mango (*Mangifera indica*) by-products: antioxidant and antimicrobial potential, use in disease prevention and food industry, methods of extraction and microencapsulation. *Scientia Agropecuaria*. 2021;12(2):283-93. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.031>
10. Domínguez-Ruvalcaba JE, Calderón-Santoyo M, González-Gutiérrez KN, Ragazzo-Sanchez JA. Extracto polifenólico de hojas de mango (*Mangifera indica* L.): microencapsulación, caracterización fisicoquímica y actividad antifúngica in vivo. *Biotecnia*. 2024;26:e2439. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2439>
11. González Moya S. Efecto de la impregnación al vacío de un extracto de semilla de mango (*Mangifera indica* L.) sobre la capacidad antioxidante y bioaccesibilidad in vitro de polifenoles en rodajas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) [tesis de licenciatura en Internet]. Atlixco: Instituto Tecnológico Superior de Atlixco; 2022. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/6613>

12. Silva Ordoñez AS, Leon Suarez RJ, Díaz Parra AD, Guerra Naranjo CD. Efectividad de los métodos de extracción de compuestos bioactivos en la obtención de moléculas con potencial antimicrobiano: revisión de enfoques. *Polo del Conocimiento*. 2025;10(12):1371-86. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i12.10887>
13. Carmona Vázquez PK, Ramírez Quintanilla LY, Hernández Mendoza JL, Oliva Hernández AA, García León I, Quiroz Velásquez JDC. Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos de especies vegetales en bacterias patógenas de importancia en salud pública. *Revista de la Universidad del Zulia*. 2024;15(43):220-37. <https://doi.org/10.46925/rdluz.43.14>
14. Angelini P. Plant-derived antimicrobials and their crucial role in combating antimicrobial resistance. *Antibiotics (Basel)*. 2024;13(8):746. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13080746>
15. Juárez-Cortés MZ, Castellón-Avalos M, Zermeño-Cervantes LA, Cardona-Félix CS. Endolisinas fágicas como herramientas moleculares contra las bacterias Gram-negativas. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 2023;26:e583. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.583>
16. Solis Olivo F, Orozco González CN, Esquivel Franco CG. Inocuidad alimentaria y enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs); sus efectos en la salud humana: una revisión. *Horiz Enferm*. 2023;34(3):689-707. https://doi.org/10.7764/Horiz_Enferm.34.3.689-707
17. Carrillo-Tomalá C, Díaz-Torres R, Guerra-Guamán K, Román-Salmerón A. Actividad antimicrobiana de extractos hidroalcohólicos de hojas de dos variedades de *Mangifera indica* L. *Ciencia UNEMI*. 2020;13(32):69-77. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss32.2020pp69-77p>
18. Salazar-Beleño AM, Paz-Díaz HJ, Carreño-Castaño LA, Pacheco-Valderrama MM, Murillo-Méndez CJ. Evaluación del efecto antioxidante del extracto polifenólico de la almendra del mango (*Mangifera indica* var. *Magdalena river*). *Ciencia y Agricultura*. 2021;18(2):11-22. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n2.2021.11839>
19. Suárez Cunza S, Alfaro Pillihuaman E, Ramírez Roca EG. Actividad antioxidante, polifenoles y flavonoides de *Coffea arabica* de cinco regiones peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2020;86(4):343-54. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.307>
20. Cortez JD, Faicán MA, Pirovani ME, Piagentini AM. Determinación de polifenoles en frutas con vitamina C incorporada: metodología para mejorar la especificidad del ensayo de Folin-Ciocalteu. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2018;19(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541002>
21. Ascate Salinas S, Lezama Vigo H, Castro Mandujano N, Herrera Hernández N. Estudio fitoquímico, cuantificación de polifenoles totales y evaluación de la capacidad antioxidante de las bayas de la planta *Jaltomata andagarae*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2024;90(3):50-60. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v90i03.475>
22. Castillo-Reyes F, De León-Juárez E, Nery-Flores SD, Flores-Gallegos AC, Campos-Muzquiz LG, Ascacio-Valdés JA, et al. Polyphenols extraction from creosote bush, tarbush, and soursop using ultrasound-microwave and their effect against *Alternaria alternata* and *Fusarium solani*. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2022;40(3). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-7>
23. Balouiri M, Sadiki M, Ibensouda SK. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: a review. *J Pharm Anal*. 2016;6(2):71-9. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
24. Rodríguez Robalino DM, Reinoso Ortiz SA, Vallejo Lara SV, Paredes Chinizaca PN. Evaluación de la susceptibilidad de *Enterococcus faecalis* ATCC-29212 frente a medicamentos combinados con hidróxido de calcio. *Revista Eugenio Espejo*. 2021;15(1):12-21. <https://doi.org/10.37135/ee.04.10.02>
25. Rodríguez Castro HE, Camacho Caero CM. Cuantificación de compuestos fenólicos y evaluación de su capacidad antioxidante mediante espectroscopía molecular UV/VIS de la hoja de guanábana (*Annona muricata* L.). *EMINENTE Revista Científica de la Escuela Militar de Ingeniería*. 2025;9(1):21-30. <https://doi.org/10.70722/padx6478ur20d>

26. Hikmawanti NPE, Sherley, Agustin M. The effect of extraction methods on total phenolics and antioxidant activities in *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh extracts. *Vitae*. 2023;30(2). <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v30n2a349405>
27. Velazquez G, Ortega Morente E, Cobo Molinos A, Perez Armendariz B. Actividad antimicrobiana y antibiopelícula del extracto vegetal *Sambucus canadensis* en bacterias patógenas transmitidas por alimentos. *Biotecnia*. 2023;25(3):176-83. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.2115>
28. Kanarek P, Breza-Boruta B, Stocki M. Antimicrobial activity and phytochemical profiling of natural plant extracts for biological control of wash water in the agri-food industry. *Appl Sci*. 2025;15(9):5199. <https://doi.org/10.3390/app15095199>
29. Wall-Medrano A, Olivas-Aguirre FJ, Velderrain-Rodríguez GR, González-Aguilar A, de la Rosa LA, López-Díaz JA, et al. El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutr Hosp*. 2015;31(1):67-75. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7701>
30. Ojeda Baez LF, Orna Paredes EA, Andrade Suárez KM, Guerra Naranjo CD. Limitaciones en el uso de compuestos vegetales como nuevos antimicrobianos: revisión sistemática avances y desafíos. *Polo del Conocimiento*. 2025;10(12):1288-1301. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i12.10878>
31. Lepe JA, Martínez-Martínez L. Mecanismos de resistencia en bacterias gramnegativas. *Med Intensiva*. 2022;46(7):392-402. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2022.02.004>
32. Breijyeh Z, Jubeh B, Karaman R. Resistance of Gram-negative bacteria to current antibacterial agents and approaches to resolve it. *Molecules*. 2020;25(6):1340. <https://doi.org/10.3390/molecules25061340>
33. Hossain TJ. Methods for screening and evaluation of antimicrobial activity: a review of protocols, advantages, and limitations. *Eur J Microbiol Immunol (Bp)*. 2024;14(2):97-115. <https://doi.org/10.1556/1886.2024.00035>
34. Gajic I, Kabic J, Kekic D, Jovicevic M, Milenkovic M, Mitic Culafic D, et al. Antimicrobial susceptibility testing: a comprehensive review of currently used methods. *Antibiotics (Basel)*. 2022;11(4):427. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040427NCIAS>



Este artículo está bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).