



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Trabajo de Integración
Curricular previo a la obtención
del Grado Académico de
Ingeniero Agroindustrial.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**“EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE
EXTRACTOS ETANÓLICO Y ACUOSO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa
paradisiaca*), FRENTE A *Escherichia coli* Y *Salmonella*”**

Autor:

DARWIN JAVIER ALEJANDRO SUAREZ

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

QUÍM. LOGUARD SMITH ROJAS URIBE, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2025



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **DARWIN JAVIER ALEJANDRO SUAREZ**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

DARWIN JAVIER ALEJANDRO SUAREZ

C.I: 1206680884



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Quím. Loguard Smith Rojas Uribe, MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Darwin Javier Alejandro Suarez**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS ETANÓLICO Y ACUOSO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), FRENTE A *Escherichia coli* Y *Salmonella*”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agroindustrial**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Quím. Loguard Smith Rojas Uribe, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito **Quím. Loguard Smith Rojas Uribe, MSc.**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe del proyecto de Investigación titulado **“EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS ETANÓLICO Y ACUOSO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), FRENTE A *Escherichia coli* Y *Salmonella*”**, presentado por el estudiante **Darwin Javier Alejandro Suarez**, egresado de la Carrera de Agroindustria, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Industria y Producción, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis del sistema COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 94 % y similitud en 6 %, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes de acuerdo como lo establece el Reglamento.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis - Alejandro (1)

6%
Textos sospechosos

6% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
3% Idiomas no reconocidos (ignorado)

Nombre del documento: Tesis - Alejandro (1).docx
ID del documento: cb06d01543f61525c18eb667b0209a5a1d5ff81b
Tamaño del documento original: 7,1 MB

Depositante: LOGUARD SMITH ROJAS URIBE
Fecha de depósito: 23/4/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 23/4/2025

Número de palabras: 27.743
Número de caracteres: 187.470

Quím. Loguard Smith Rojas Uribe, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UTEQ

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE
EXTRACTOS ETANÓLICO Y ACUOSO DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa
paradisiaca*), FRENTE A *Escherichia coli* Y *Salmonella*”**

Presentado al Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Industria y Producción
como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Wiston Javier Morales Rodríguez, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. Luis Alberto Egas Astudillo, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Azucena Elizabeth Bernal Gutiérrez, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2025

AGRADECIMIENTO

Con profundo agradecimiento y estima me encuentro con aquellas personas que han contribuido de manera significativa durante mis años de vida y en la etapa de formación como profesional, agradezco a las personas que durante este trayecto me apoyaron extendiendo su mano amiga sin fines de lucro, aquellas amistades verdaderas y cercanas a la familia que creyeron y apostaron por mí; para que este logro académico se cristalice y se convierta en una etapa culminada con éxito.

Quiero agradecer y reconocer a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por brindarme una formación íntegra de calidad y calidez; su personal docente como administrativo cumplieron un rol fundamental dentro de la preparación académica, forjando metas claras, principios y valores que se aplican en la vida cotidiana como en el ámbito laboral.

Así mismo, mi agradecimiento y gratitud al personal y a los técnicos encargados de los laboratorios del Campus “La María” por su empatía y amabilidad. Agradezco de manera especial al Ing. Ángel Virgilio Cedeño Moreira, Msc; por su apoyo constante y acompañamiento total desde las prácticas laborales hasta la culminación del Trabajo de Investigación Curricular (TIC), así mismo al Ing. Erick García, Msc; por su predisposición y colaboración en las instalaciones del laboratorio de Química y Bioquímica.

De manera especial un agradecimiento profundo para el Quím. Loguard Smith Rojas Uribe, MSc., persona que contribuyó como director del trabajo de investigación; agradezco su empatía, orientación y dedicación en el proceso de elaboración de este proyecto investigativo. En virtud de su experiencia y compromiso para alcanzar los objetivos planteados como director de Trabajo de Integración Curricular (TIC).

Darwin Javier Alejandro Suarez

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico con mucho cariño, orgullo, honra y respeto a mi papá; Javier Alejandro, hasta el lugar en que él se encuentre; por ser la persona que más anhelaba que me forjara como profesional de la república, así mismo; como lograr el éxito académico dentro de mi formación como Ingeniero Agroindustrial.

También se lo dedico a mi familia en general, a cada uno de mis seres queridos que han contribuido desde mi infancia a mi formación académica, con mucho amor lograron disciplinarme, inculcaron valores en mí; este logro académico también va dedicado a ellos por su amor desinteresado y su apoyo invaluable.

Darwin Javier Alejandro Suarez

RESUMEN

La presente investigación evaluó *in vitro* la capacidad antimicrobiana de extractos etanólico y acuoso de cáscara de plátano maduro (*Musa paradisiaca*) frente a *Escherichia coli* y *Salmonella*, la tesis explora la valorización de este subproducto agroindustrial rico en polifenoles y otros compuestos bioactivos. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, donde el Factor A fue el tipo de extracto (etanólico, acuoso) y el Factor B la concentración de extracto etanólico (96 %, 75 %, 50 %, 25 %). Los resultados revelaron diferencias significativas en el rendimiento de los extractos según el método utilizado, el extracto etanólico mostró mayor rendimiento en la destilación (51 %), mientras que el acuoso fue superior en el macerado (51 %); el análisis del pH demostró una ligera acidez en ambos extractos (5,34); en cuanto al contenido polifenólico, el extracto etanólico exhibió una mayor concentración (55,08 mg GAE/g), lo que sugiere una mejor capacidad de extracción con este solvente. La evaluación de la actividad antimicrobiana demostró que existe diferencia significativa en ambos extractos, aunque con variaciones en su eficacia según el tipo de microorganismo evaluado (*Escherichia coli* y *Salmonella*). En general, el extracto etanólico al 96 % presentó los mayores halos de inhibición (19,15 mm); el porcentaje de inhibición a las 48 horas de análisis presentó un valor de 87,78 % en *Escherichia coli*, mientras que para *Salmonella* fue de 47,12 %. Los resultados resaltan el potencial de la cáscara de plátano como fuente de compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana, especialmente el extracto etanólico, y sugieren la necesidad de optimizar las condiciones de extracción para maximizar su eficacia. La investigación contribuye al desarrollo de estrategias innovadoras para el control de patógenos en la industria alimentaria y al aprovechamiento sostenible de un subproducto agroindustrial.

Palabras claves: *Musa paradisiaca*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, capacidad antimicrobiana, método de extracción.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The present research evaluated *in vitro* the antimicrobial capacity of ethanolic and aqueous extracts of ripe plantain peel (*Musa paradisiaca*) against *Escherichia coli* and *Salmonella*, the thesis explores the valorization of this agroindustrial by-product rich in polyphenols and other bioactive compounds. A completely randomized experimental design was used, where Factor A was the type of extract (ethanolic, aqueous) and Factor B the concentration of ethanolic extract (96 %, 75 %, 50 %, 25 %). The results revealed significant differences in the yield of the extracts according to the method used, the ethanolic extract showed higher yield in distillation (51 %), while the aqueous was superior in maceration (51 %); pH analysis showed a slight acidity in both extracts (5,34); as for the polyphenolic content, the ethanolic extract exhibited a higher concentration (55,08 mg GAE/g), suggesting a better extraction capacity with this solvent. The evaluation of the antimicrobial activity showed that there is a significant difference in both extracts, although with variations in their efficacy according to the type of microorganism evaluated (*Escherichia coli* and *Salmonella*). In general, the 96% ethanolic extract presented the greatest inhibition halos (19,15 mm); the percentage of inhibition at 48 hours of analysis presented a value of 87,78% in *Escherichia coli*; while for *Salmonella* it was 47,12%. The results highlight the potential of banana peel as a source of bioactive compounds with antimicrobial activity, especially the ethanolic extract, and suggest the need to optimize extraction conditions to maximize its efficacy. The research contributes to the development of innovative strategies for pathogen control in the food industry and to the sustainable use of an agroindustrial by-product.

Keywords: *Musa paradisiaca*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, antimicrobial capacity, extraction method.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ..	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
CÓDIGO DUBLÍN.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de Investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Justificación	6
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Marco conceptual.....	9
2.1.1. Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	9

2.1.1.1. Origen	9
2.1.1.2. Características generales.....	9
2.1.1.4. Taxonomía.....	11
2.1.1.5. Composición química y valor nutricional del plátano.	11
2.1.2. Compuestos bioactivos.....	14
2.1.3. Extractos vegetales	16
2.1.4. Extractos.....	17
2.1.5. Métodos de extracción	18
2.1.6. Técnicas de extracción de polifenoles.....	21
2.1.7. Actividad antioxidante.....	22
2.1.8. Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA)	24
2.1.9. Tipos de microorganismos	26
2.1.10. Bacterias patógenas	28
2.1.11. Agentes antimicrobianos	31
2.1.12. Actividad antimicrobiana de los polifenoles	31
2.1.13. Determinación de la actividad antimicrobiana.....	32
2.2. Marco referencial	33
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.1. Localización.....	36
3.1.1. Materia Prima.....	36
3.2. Tipo de investigación.....	36
3.2.1. Investigación exploratoria	36
3.2.2. Investigación experimental	37
3.2.3. Investigación analítica.....	37
3.3. Métodos de investigación	37
3.3.1. Método inductivo-deductivo.....	37
3.3.2. Método estadístico.....	38

3.4.	Fuentes de recopilación de información	38
3.4.1.	Fuentes primarias.....	38
3.4.2.	Fuentes secundarias	38
3.5.	Diseño de la investigación	39
3.5.1.	Actividad antioxidante.....	39
3.6.	Instrumentos de investigación.....	41
3.6.1.	Muestreo	41
3.6.2.	Manejo poscosecha.....	41
3.6.3.	Preparación de las muestras.....	41
3.6.4.	Extracción de compuestos bioactivos.....	41
3.6.5.	Actividad antioxidante.....	42
3.6.6.	Actividad antimicrobiana	43
3.7.	Variables a medirse	43
3.7.1.	Métodos utilizados.....	43
3.8.	Tratamiento de los datos	44
3.9.	Recursos humanos y materiales	45
	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1.	Preparación de las cáscaras de plátano maduro: Secado	47
4.1.1.	Proceso de secado de las cáscaras	47
4.1.2.	Discusión.....	48
4.2.	Rendimiento de extractos vegetales.....	49
4.2.1.	Macerado.....	49
4.2.2.	Destilado.....	50
4.2.3.	Discusión.....	52
4.3.	Análisis del pH en diferentes concentraciones de extractos etanólicos y acuosos ...	53
4.3.1.	Variación del pH en extractos según los tratamientos aplicados.....	54
4.4.	Determinación del contenido de polifenoles totales	56

4.4.1. Tipo de extracto vs. Concentración de extracto	57
4.5. Determinación de la actividad antioxidante.....	60
4.5.1. Discusión.....	61
4.6. Determinación de la actividad antimicrobiana	63
4.6.1. Ensayo de sensibilidad o antibiograma	63
4.6.2. Porcentaje de concentración mínima de inhibición.....	70
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1.Conclusiones.....	75
5.2.Recomendaciones	76
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	77
6.1. Bibliografía	78
CAPÍTULO VII ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de <i>Musa paradisiaca</i>	11
Tabla 2 Composición química por 100 g de pulpa de plátano.....	11
Tabla 3 Cambios en la cantidad de taninos durante el proceso de maduración del plátano, por cada 100 g de muestra	13
Tabla 4 Principales características, ventajas y desventajas de las tecnologías de extracción nuevas y convencionales	21
Tabla 5 Principales características de los patógenos alimentarios más comunes	29
Tabla 6 Esquema del análisis de varianza (DCA) para las variables en estudio.	39
Tabla 7 Descripción de los factores de estudio que intervienen en la evaluación de la capacidad antimicrobiana de la cáscara de plátano.	40
Tabla 8 Descripción de los tratamientos propuestos para la evaluación de la capacidad antimicrobiana de la cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	40
Tabla 9 Variación del porcentaje de humedad de cáscara de plátano maduro con el tiempo de secado ⁽¹⁾	47
Tabla 10 Humedad de cáscaras de plátano maduro en materia prima fresca y seca.....	48
Tabla 11 Análisis de varianza para el rendimiento del macerado de los tratamientos en estudio.....	49
Tabla 12 Análisis de varianza para el rendimiento del extracto destilado en los tratamientos de estudio.....	51
Tabla 13 Análisis de varianza para el pH de los extractos en los tratamientos de estudio .	53
Tabla 14 Análisis de varianza para el contenido polifenólico de los tratamientos del diseño experimental	56
Tabla 15 Análisis de varianza para la capacidad antioxidante de los tratamientos seleccionados.....	60
Tabla 16 Capacidad antioxidante de los extractos seleccionados.....	61
Tabla 17 Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 96 % de cáscara de plátano maduro	63
Tabla 18 Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 96 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas	64
Tabla 19 Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 75 % de cáscara de plátano maduro	65

Tabla 20 Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 75 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas	65
Tabla 21 Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 50 % de cáscara de plátano maduro	66
Tabla 22 Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 50 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas	66
Tabla 23 Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 25 % de cáscara de plátano maduro	67
Tabla 24 Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 25 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas	67
Tabla 25 Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto acuoso de cáscara de plátano maduro.....	68
Tabla 26 Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto acuoso de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas	68
Tabla 27 Análisis de varianza para el porcentaje de inhibición de las concentraciones de extracto	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planta y fruto del plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	10
Figura 2 Estructura química de los fenoles	16
Figura 3 Clasificación de los métodos de obtención de extractos vegetales	18
Figura 4 Principio del ensayo de capacidad antioxidante mediante ABTS+.....	24
Figura 5 Guía visual del proceso de difusión en medio agar nutritivo.....	33
Figura 6 Ubicación geográfica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo – Campus “La María”	36
Figura 7 Efecto de los factores de estudio en el porcentaje de rendimiento del extracto macerado.....	50
Figura 8 Efecto de los factores de estudio en el porcentaje de rendimiento del extracto destilado.....	51
Figura 9 Efecto de los factores de estudio en el pH de los extractos destilados	54
Figura 10 Curva de calibración promedio para la determinación del contenido polifenólico por Folin-Ciocalteu. Concentración de 1000 ppm.....	56
Figura 11 Contenido de polifenoles bajo la prueba de Tukey HSD ($P<0,05$) considerando los factores A y B.....	57
Figura 12 Porcentaje de inhibición frente a <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella</i> a partir de concentraciones de extractos etanólicos y acuoso	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Manejo poscosecha.....	90
Anexo 2 Preparación de las muestras.....	90
Anexo 3 Extracción de compuestos bioactivos.....	91
Anexo 4 Análisis del contenido de polifenoles	91
Anexo 5 Prueba de sensibilidad antimicrobiana para <i>Salmonella</i>	92
Anexo 6 Prueba de sensibilidad antimicrobiana para <i>Escherichia coli</i>	93
Anexo 7 Ensayo de concentración mínima inhibitoria (CMI)	94

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Evaluación <i>in vitro</i> de la capacidad antimicrobiana de extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>), frente a <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella</i>			
Autor:	Alejandro Suarez, Darwin Javier			
Palabras clave:	<i>Musa paradisiaca</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Escherichia coli</i>	Capacidad antimicrobiana
Fecha de publicación:	Mayo, 2025			
Editorial:	Quevedo – UTEQ “La María”, 2025			
Resumen:	La presente investigación evaluó <i>in vitro</i> la capacidad antimicrobiana de extractos etanólico y acuoso de cáscara de plátano maduro (<i>Musa paradisiaca</i>) frente a <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella</i>, la tesis explora la valorización de este subproducto agroindustrial rico en polifenoles y otros compuestos bioactivos. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, donde el Factor A fue el tipo de extracto (etanólico, acuoso) y el Factor B la concentración de extracto etanólico (96 %, 75 %, 50 %, 25 %). Los resultados revelaron diferencias significativas en el rendimiento de los extractos según el método utilizado, el extracto etanólico mostró mayor rendimiento en la destilación (51 %), mientras que el acuoso fue superior en el macerado (51 %); el análisis del pH demostró una ligera acidez en ambos extractos (5,34); en cuanto al contenido polifenólico, el extracto etanólico exhibió una mayor concentración (55,08 mg GAE/g), lo que sugiere una mejor capacidad de extracción con este solvente. La evaluación de la actividad antimicrobiana demostró que existe diferencia significativa en ambos extractos, aunque con variaciones en su eficacia según el tipo de microorganismo evaluado (<i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella</i>). En general, el extracto etanólico al 96 % presentó los mayores halos de inhibición (19,15 mm); el porcentaje de inhibición a las 48 horas de análisis presentó un valor de 87,78 % en <i>Escherichia coli</i>, mientras que para <i>Salmonella</i> fue de 47,12 %. Los resultados resaltan el potencial de la cáscara de plátano como fuente de compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana, especialmente el extracto etanólico, y sugieren la necesidad de optimizar las condiciones de extracción para maximizar su eficacia. La investigación contribuye al desarrollo de estrategias innovadoras para el control de patógenos en la industria alimentaria y al aprovechamiento sostenible de un subproducto agroindustrial.			
Abstract:	The present research evaluated <i>in vitro</i> the antimicrobial capacity of ethanolic and aqueous extracts of ripe plantain peel (<i>Musa paradisiaca</i>) against <i>Escherichia coli</i> and <i>Salmonella</i>, the thesis explores the valorization of this agroindustrial by-product rich in polyphenols and other bioactive compounds. A completely randomized experimental design was used, where Factor A was the type of extract (ethanolic, aqueous) and Factor B the concentration of ethanolic extract (96 %, 75 %, 50 %, 25 %). The results revealed significant differences in the yield of the extracts according to the method used, the ethanolic extract showed higher yield in distillation (51 %), while the aqueous was superior in maceration (51 %); pH analysis showed a slight acidity in both extracts (5,34); as for the polyphenolic content, the ethanolic extract exhibited a higher concentration (55,08 mg GAE/g), suggesting a better extraction capacity with this solvent. The evaluation of the antimicrobial activity showed that there is a significant difference in both extracts, although with variations in their efficacy according to the type of microorganism evaluated (<i>Escherichia coli</i> and <i>Salmonella</i>). In general, the 96% ethanolic extract presented the greatest inhibition halos (19,15 mm); the percentage of inhibition at 48 hours of analysis presented a value of 87,78% in <i>Escherichia coli</i>; while for <i>Salmonella</i> it was 47,12%. The results highlight the potential of banana peel as a source of bioactive compounds with antimicrobial activity, especially the ethanolic extract, and suggest the need to optimize extraction conditions to maximize its efficacy. The research contributes to the development of innovative strategies for pathogen control in the food industry and to the sustainable use of an agroindustrial by-product.			
Descripción:	114 hojas: dimensiones 29 x 21 cm + CD ROM 6162			
URI:				

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa paradisiaca*), originario del Sureste Asiático, es un alimento fundamental para las poblaciones de las zonas tropicales húmedas y se posiciona como el cuarto producto agrícola más importante a nivel mundial. Su relevancia económica y nutricional es innegable, ya que representa una fuente clave de carbohidratos, vitaminas y minerales para millones de personas, dentro de las frutas tropicales ocupa el primer lugar en consumo fresco (Gutiérrez-Aguirre et al., 2023). Un aspecto relevante a considerar es el aprovechamiento integral de este fruto, ya que la cáscara, que representa una fracción significativa de su peso (aproximadamente 30 % del peso del fruto), puede ser una fuente rica en compuestos bioactivos con potencial antioxidante y antimicrobiano (Anchundia et al., 2016). En este sentido, la cáscara de plátano emerge como un candidato prometedor para el desarrollo de alternativas naturales en la industria alimentaria, reduciendo el desperdicio y aportando valor agregado a la producción agroindustrial.

El uso excesivo de aditivos químicos en la industria alimentaria ha dado lugar al desarrollo de bacterias resistentes, comprometiendo la eficacia de los tratamientos convencionales, por ello la creciente preocupación por la resistencia microbiana y los efectos adversos de los conservantes sintéticos ha impulsado la búsqueda de alternativas naturales para el control de patógenos (OMS, 2020). En este contexto, la valorización de subproductos agroindustriales como la cáscara de plátano resulta especialmente atractiva, investigaciones previas han demostrado la presencia de compuestos con potencial para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *Escherichia coli* y *Salmonella* en la cáscara de plátano; esto es de gran relevancia, ya que ambas bacterias son responsables de un alto porcentaje de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), causando gastroenteritis severa y, en algunos casos, complicaciones sistémicas graves.

La marcada incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos contaminados con estos microorganismos que causan millones de casos de enfermedad anualmente (OMS, 2020), subraya la necesidad de explorar alternativas más seguras y sostenibles para garantizar la seguridad alimentaria. Si bien se han realizado estudios sobre el potencial antimicrobiano de extractos de cáscara de plátano, la mayoría de estos trabajos han sido preliminares y no han abordado de manera específica la comparación entre extractos etanólicos y acuosos, ni la influencia de distintos métodos de extracción en su eficacia antimicrobiana, existe una necesidad de investigar más a fondo la efectividad de extractos etanólicos y acuosos sobre

patógenos alimentarios específicos, así como la influencia de diferentes métodos de extracción.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal evaluar la capacidad antimicrobiana *in vitro* de extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) frente a *Escherichia coli* y *Salmonella*. Para ello, se analizará la concentración óptima de los extractos con mayor actividad antimicrobiana. Dicho efecto se evaluará mediante un diseño experimental Completamente al Azar con diseño factorial, siendo el Factor A el tipo de extracto (extracto etanólico, extracto acuoso) y el Factor B la concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

Esta investigación se enfoca en abordar estas brechas de conocimiento mediante la evaluación *in vitro* de la capacidad antimicrobiana y busca determinar el rendimiento de las propiedades fisicoquímicas de los extractos, evaluar su capacidad antioxidante y, finalmente, determinar su efectividad para inhibir el crecimiento de los microorganismos patógenos de interés. Los resultados de este estudio podrían contribuir al aprovechamiento sostenible de un subproducto agroindustrial, al desarrollo de estrategias innovadoras para el control de patógenos en la industria alimentaria, contribuir a la reducción del desperdicio agroindustrial, la mitigación del impacto ambiental y la promoción de alternativas más seguras y sostenibles para la preservación de alimentos y la prevención de enfermedades transmitidas por microorganismos patógenos.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El principal subproducto del procesamiento industrial del plátano es la cáscara, la cual representa aproximadamente 30 % del peso del fruto (*Anchundia et al., 2016*), sin embargo, es una sustancia que genera daños al medio ambiente porque suele utilizarse en ocasiones como alimento para animales; la cáscara de plátano se considera que puede ser una fuente potencial de sustancias antioxidantes y antimicrobianas. La marcada incidencia de enfermedades de transmisión alimentaria por contaminación con *Escherichia coli* y *Salmonella* también representa un problema de salud pública a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (*OMS, 2020*), estos patógenos causan más de 4600 millones de casos de enfermedad al año. Por ello, es fundamental investigar alternativas naturales y amigables con el ambiente.

Actualmente la creciente resistencia microbiana y los efectos adversos, hacen urgente la búsqueda de alternativas naturales. La cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) es un subproducto agroindustrial abundante en Ecuador, con potencial antimicrobiano poco explorado. Sin embargo, existe escasa investigación dedicada a evaluar rigurosamente la efectividad antibacteriana de extractos de cáscara de plátano sobre patógenos alimentarios específicos. Esta falta de evidencia impide el aprovechamiento de este recurso para el desarrollo de antimicrobianos aplicables a la industria de alimentos.

Diagnóstico.

En vista que existen escasos estudios previos que han evaluado *in vitro* la capacidad antimicrobiana de extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), frente a microorganismos patógenos, entre los que se encuentran *Escherichia coli* y *Salmonella*, se aborda la posibilidad de obtener resultados a partir de la concentración más efectiva, de los extractos antes mencionados.

Teniendo en cuenta que en investigaciones se ha demostrado y establecido la presencia de polifenoles mediante el empleo de un único método de extracción, resulta útil analizar si el contenido de polifenoles cambia según el método de extracción de compuestos bioactivos, de igual manera analizar el efecto del extracto extraído sobre diferentes cepas bacterianas, tomando en cuenta la demanda de agentes que frenen el crecimiento de microorganismos patógenos. Ante la falta de opciones para el manejo de contaminantes biológicos se busca alternativas y la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca*) emerge como un candidato

prometedor en la conservación de alimentos, se ha vuelto cada vez más esencial debido a la creciente necesidad de opciones más seguras y sostenibles. Por lo tanto, la búsqueda de agentes inhibidores ha llevado a un interés significativo en compuestos extraídos de fuentes vegetales.

Pronóstico.

La escasez de investigaciones enfocadas en el potencial antimicrobiano de los polifenoles presentes en la cáscara de plátano maduro limita significativamente el desarrollo de nuevas estrategias y hallazgos que permitan abrir nuevas oportunidades para el uso sostenible de desechos agrícolas y mejorar las estrategias para combatir la resistencia a los antibióticos de propiedades antimicrobianas. La falta de datos sólidos sobre la actividad antimicrobiana de estos compuestos inhibe la aplicación práctica para encontrar alternativas naturales en el tratamiento de infecciones bacterianas. Por consiguiente, se requiere una mayor investigación para cerrar esta brecha de conocimiento y aprovechar plenamente el potencial de este recurso natural.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuál será la capacidad antimicrobiana *in vitro* de los extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) frente a las cepas patógenas *Escherichia coli* y *Salmonella*, en términos de concentraciones inhibitorias mínimas?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Será posible determinar el rendimiento de extracción de metabolitos secundarios con potencial antimicrobiano a partir de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) utilizando solventes etanólico y acuoso?

¿Cómo se manifestará específicamente la actividad antimicrobiana *in vitro* de los extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) al ser evaluada a través de pruebas sensidiscos?

¿Qué concentración de los extractos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) será la más efectiva con actividad antimicrobiana superior?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la capacidad antimicrobiana de extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), frente a *Escherichia coli* y *Salmonella*.

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Determinar el rendimiento de extracción de metabolitos secundarios con potencial antimicrobiano a partir de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), empleando solventes etanólico y acuoso.
- Estudiar la actividad antimicrobiana *in vitro* de los extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), mediante pruebas sensidiscos.
- Identificar la concentración más efectiva de los extractos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con actividad antimicrobiana superior.

1.3. *Justificación*

El manejo inadecuado de los residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) constituye un grave problema ambiental en países productores como Ecuador, donde representan cerca del 30 % del peso del fruto (Anchundia et al., 2016). Anualmente se generan aproximadamente 500.000 toneladas métricas de este subproducto (Morales, 2020), que podría aprovecharse eficientemente mediante el desarrollo de productos de valor agregado sostenibles.

La cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) es un recurso renovable infrautilizado, que puede convertirse en una fuente sostenible de agentes antimicrobianos que permitan inhibir el crecimiento de microorganismos y aportar una fuente potencial de compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides.

Además de dicha información, (Valencia-Avilés et al., 2016) menciona que los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas y tienen diversas funciones fisiológicas en plantas y frutos que varían con el genotipo, especie, condiciones ambientales, madurez, composición del suelo, ubicación geográfica y condiciones de almacenamiento. Por ende, ante la consecuente aparición de microorganismos resistentes, genera la necesidad urgente de explorar alternativas naturales que ayuden a preservar la salud mundial.

Lo que se pretende con esta investigación es aportar evidencia sólida sobre la efectividad para inhibir el crecimiento de peligrosos patógenos alimentarios como *Escherichia coli* y *Salmonella*. Además, se generaría información novedosa sobre este subproducto agroindustrial para impulsar su aprovechamiento integral en la elaboración de productos innovadores, contribuyendo a prácticas más sustentables y a la mitigación de problemas sanitarios y ambientales.

La producción de alimentos a gran escala genera grandes cantidades de desechos orgánicos, como las cáscaras de plátano; reutilizar estos residuos mediante la extracción de compuestos bioactivos no solo reduce el impacto de los vertederos en el medio ambiente, sino que también contribuye a una economía circular más sostenible. Además, el desarrollo de productos basados en estos compuestos puede crear nuevas oportunidades comerciales y de empleo en las regiones productoras de esta fruta. La investigación propuesta ofrece una oportunidad única para abordar este problema, explorando la capacidad de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca*) para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Plátano (*Musa paradisiaca*)

2.1.1.1. Origen

De acuerdo con (Infoagro, 2005) el plátano (*Musa paradisiaca*) probablemente proviene de la región indomalaya, donde se cultivan desde hace miles de años. Desde Indonesia se extendió hacia el sur y el oeste, hasta Hawái y la Polinesia. Los comerciantes europeos trajeron noticias de esta planta a Europa alrededor del siglo III, aunque recién se introdujo en el siglo X. Desde plantaciones en África Occidental, los colonos portugueses lo llevaron a Sudamérica en el siglo XVI, especialmente a Santo Domingo.

El plátano ha sido usado por el hombre desde los comienzos de su existencia y su domesticación comenzó al iniciarse el cultivo de plantas comestibles. Las más antiguas noticias que se poseen sobre el plátano son de la India (600-500 AC), pero el cultivo debe haber existido en el país desde muchos milenios antes. Se originó en el sudeste de Asia y conformaba en esa región un amplio y significativo cultivo comestible, cuando se instauraron los primeros registros fidedignos (Arteaga, 2015).

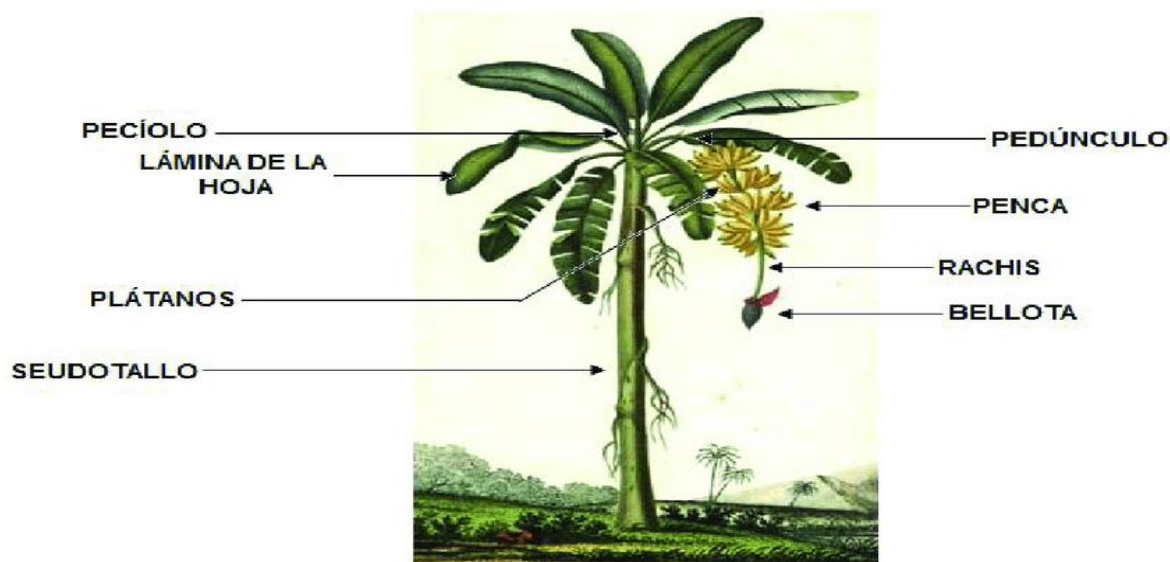
2.1.1.2. Características generales.

El plátano es uno de los cultivos agrícolas más populares en nuestro país, en todos los países con clima tropical. Es consumido por humanos; es de la pulpa que producen grandes cantidades de residuos, a menudo se colocan en los vertederos de la ciudad, contribuyendo a la presencia de problemas ambientales (López & Gómez, 2014). En su trabajo (Cevallos, 2018) menciona que el plátano (*Musa paradisiaca*) es cultivado en grandes cantidades en las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas en Ecuador, éstas se benefician de condiciones climáticas y geográficas, convirtiendo al país en el principal y cuarto exportador productor de plátanos de alta calidad a nivel mundial

Los plátanos exportados están sujetos a un intenso control de calidad para evitar que éste llegue en un adecuado estado de madurez, sin magulladuras, imperfecciones y patógenos, se estima que el porcentaje de plátanos rechazados en puerto no supere el 2% de exportaciones anuales (Moreira, 2013). Las perspectivas para las exportaciones siguen siendo positivas, se espera que el crecimiento continúe, gracias a la fuerte demanda en mercados establecidos como la Unión Europea y oportunidades emergentes en regiones como Medio Oriente.

Figura 1

Planta y fruto del plátano (Musa paradisiaca)



Nota. Fotografía tomada de (Blasco López & Gómez Montaña, 2014).

El plátano (*Musa paradisiaca*), no es una planta sino una megaforbia, es decir una hierba herbácea perenne, que forma una mata de 3.5 – 7.5 m de altura, llamado platanero, del cual renacen individuos llamados: madre, hija, nieta, con nombre científico (*Musa sp.*), perteneciente a la familia de las musáceas, el conjunto de plátanos forma el racimo (INTA, 2016).

2.1.1.3. Especificación botánica.

Esta planta consta de un tronco con raíces cormo y un pseudo tronco, las hojas se encuentran entre las más grandes del reino vegetal, de color verde o amarillo verdoso con bordes lisos y 15 nervaduras con patas cada una. Normalmente tiene de 5 a 15 hojas, el pseudotallo del plátano mide de 2 a 5 metros, y su altura puede alcanzar 8 metros con las hojas. Los frutos son bayas falsas sin semillas, cilíndricos distribuidos en manos de racimos de 30 a 70 plátanos que miden desde 20 hasta 40 centímetros de largo y de 4 a 7 centímetros de diámetro (Morales, 2020).

La piel es verde cuando no está maduro y de color amarillo con partes marrones cuando está maduro, su pulpa es rica en almidón y azúcares, de color blanco cremoso, amarillo, amarillo anaranjado o naranja, sin semillas, cubierto de pericarpio; pueden tener un aroma dulce o insípido según el grado de madurez y variedad, el pecíolo mide 60 cm de largo (Morales, 2020).

2.1.1.4. Taxonomía.

Tabla 1

Taxonomía de musa paradisiaca

Taxonomía botánica	
Nombre científico	<i>Musa paradisiaca</i>
Nombre común	<i>Plátano</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Familia	<i>Musáceas</i>
Género	<i>Musa</i>
Grupo	<i>Monocotiledóneas</i>
Especie	<i>M. paradisiaca L.</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>

FUENTE: (Arteaga, 2015)

ELABORADO: AUTOR

2.1.1.5. Composición química y valor nutricional del plátano.

Tabla 2

Composición química por 100 g de pulpa de Plátano

Componente	Plátano maduro	Plátano verde
Agua	75,1 %	67,5 %
Azúcares	20,9 %	5,7 %
Almidón	2,3 %	23,7 %
Fibra dietaria	3,1 %	2,3 %
Proteína	1,2 %	1,1 %
Grasa	0,3 %	0,3 %
Taninos	0,06 %	0,01 %
Cenizas	0,01 %	0,76 %

FUENTE: (Ayala et al., 2011)

ELABORADO: AUTOR

Los plátanos son conocidos por su alto contenido en fósforo, carbohidratos y potasio, este último presente en grandes cantidades en este alimento porque ayuda a controlar el equilibrio electrolítico del organismo, siendo esencial para el funcionamiento de los músculos, el buen funcionamiento del corazón y los riñones (Casallas, 2010).

- **Carbohidratos**

En cuanto a los carbohidratos (Rosales et al., 2014) manifiestan que cuando este fruto alcanza su madurez fisiológica (estado inmaduro o verde), el almidón y la fibra dietética son los más abundantes, cuando la fruta madura, el almidón se hidroliza a azúcares solubles. En los plátanos verdes, el almidón representa el 80% del peso seco de la pulpa y los azúcares representan el 1,3% de la materia seca total. Sin embargo, cuando están completamente maduros, los almidones bajan al 1-2% y los azúcares alcanzan el 17%.

- **Vitaminas y minerales**

Los plátanos son muy ricos en potasio y son una buena fuente de vitaminas A, B, C, D y B6, las cuales aportan beneficios para los huesos y músculos del cuerpo, su contenido varía según la variedad de plátano, en este caso los de cocción son más ricos en vitamina C, lo que refuerza su potencial nutricional y su contribución a la salud general (López & Gómez, 2014).

- **Proteínas y grasas**

Se ha asegurado que la proteína de esta fruta es de muy pobre calidad, el porcentaje es de 3,5% en la pulpa madura y disminuye en frutos inmaduros, algunos aminoácidos se encuentran en alta concentración, como: arginina, aspartato y glutamina, la metionina se encuentra en pequeñas cantidades. En cuanto a, la presencia de grasa en los plátanos es inferior al 0,5% y no contribuye al contenido energético de la fruta (Ly, 2004).

- **Polifenoles**

Los polifenoles son agentes reductores, en la pulpa del plátano se encuentra una amplia variedad de catecolaminas, siendo la dopamina la principal. Las desventajas de estos compuestos presentes en la fruta son que le dan al plátano verde un sabor muy amargo y provocan acidez en la fruta, además se oscurece cuando se deshidrata (Rosales et al., 2014).

- **Taninos**

Se ha identificado la presencia de taninos en la pulpa y piel del plátano, este compuesto es cinco veces más abundante en los plátanos verdes o inmaduros que en los maduros; son los responsables del sabor de la fruta, existen limitados estudios que demuestran que los taninos tienen capacidad antimicrobiana debido a sus propiedades astringentes, sin embargo, se dice que la cantidad total de taninos se mantiene constante en esta fruta (Ly, 2004).

En la Tabla 3 se presenta la cantidad de taninos presentes durante el proceso de maduración del plátano.

Tabla 3

Cambios en la cantidad de taninos durante el proceso de maduración del plátano, por cada 100 g de muestra

Días	Pulpa	Cáscara	Color de la cáscara
0	7,36 g	40,5 g	Verde
1	8,01 g	34,0 g	
2	7,57 g	28,3 g	
3	4,30 g	25,4 g	
4	5,02 g	25,9 g	
5	4,30 g	16,5 g	Amarillenta
6	3,87 g	18,1 g	
7	1,95 g	11,2 g	
8	2,84 g	4,6 g	Amarilla
9	1,99 g	4,7 g	
10	2,00 g	4,5 g	Negra
11	1,32 g	3,5 g	

FUENTE: (Morales, 2020)

ELABORADO: AUTOR

2.1.1.6. Propiedades del plátano.

El plátano es una rica fuente de fitonutrientes muy importantes, además de vitaminas y compuestos fenólicos, su composición está enriquecida con minerales como fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso, de tal manera que la fibra dietética total aumenta con su consumo (Díaz, 2016).

A través de estudios científicos se ha demostrado que la cáscara y la pulpa del plátano tienen propiedades antifúngicas y antibióticas debido a su composición química. Además de ser una fuente potencial de antioxidantes y antimicrobianos, también contiene fitoquímicos que actúan contra los radicales libres; la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) presenta un potencial significativo como fuente natural de agentes antimicrobianos. Por tanto, éstos abren nuevas posibilidades para el uso de productos naturales en la prevención y tratamiento de infecciones bacterianas (López & Gómez, 2014).

2.1.1.7. Producción e industrialización.

Según (Moreira, 2013) detalla que el plátano contiene 60% de pulpa y 40% de piel, lo que genera un volumen significativo de residuos orgánicos que podrían ser aprovechados. Aunque existen estudios enfocados en la obtención de productos alimenticios a partir de frutas y algunos residuos, la transformación de estos materiales no siempre se ha dirigido al consumo humano. En particular, se han realizado experimentos con la cáscara de plátano, tanto verde como madura, para desarrollar productos alimenticios que maximizan su valor nutricional.

La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados y potasio. Además, se considera como una fuente potencial de sustancias antioxidantes, antimicrobianas y compuestos fotoquímicos con actividad contra los radicales libres (Anchundia et al., 2016). En la revista de simulación y control de ECORFAN (Ramos et al., 2016) mencionan que la pulpa de plátano generalmente se utiliza para preparar una amplia variedad de productos como plátanos deshidratados, harinas, polvos, gelatina, y otros derivados que no solo diversifican su uso, sino que también promueven una economía más sostenible.

2.1.2. Compuestos bioactivos

Son sustancias con actividad biológica, encontradas en diversas plantas y alimentos como verduras, frutas, cereales, nueces y aceites, que ofrecen propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antidiabéticas y anticancerígenas; gracias a su participación en la modulación de las enzimas, como procesos de inhibición, inducción o recepción (Shrinet et al., 2021).

Los compuestos bioactivos son componentes de determinadas plantas y alimentos que se caracterizan por realizar funciones específicas en el cuerpo humano y aportar beneficios adicionales para la salud. Un porcentaje importante de ellos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, incluidos antibióticos, micotoxinas, alcaloides, pigmentos y compuestos fenólicos. Entre los compuestos fenólicos distinguimos los flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos (Martins et al., 2011).

2.1.2.1. Antioxidantes.

Los antioxidantes son sustancias químicas que pueden inhibir o retrasar la oxidación de otras moléculas, evitando así el inicio o la propagación de reacciones en cadena de radicales libres que dañan las células del cuerpo humano (Schilder et al., 2020). En su investigación (Nan

et al., 2009) expresan que los antioxidantes son ampliamente utilizados en la industria alimentaria como aditivos y conservantes para brindar protección contra la degradación oxidativa de los alimentos provocada por la acción de los radicales libres. Desde la antigüedad se han incluido diversas especias en los alimentos para mejorar su sabor y conservarlos por más tiempo, aumentando así sus propiedades antioxidantes.

El estrés oxidativo es un desequilibrio entre la generación y la eliminación de especies reactivas, las que tienen como característica común el tener un electrón incompleto en su último orbital, este desequilibrio ocasiona que la célula sea abrumada por radicales con gran capacidad oxidante. Estos radicales pueden ser resultado del metabolismo celular y un claro ejemplo de ellos son las especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (NOS) manifiestan en su investigación (Valencia-Avilés et al., 2016). Mientras que (Schilder et al., 2020) publicaron que estos compuestos neutralizan los efectos del estrés oxidativo inhibiendo o previniendo la proliferación de especies reactivas de oxígeno (ROS), previniendo o reparando el daño causado por estas moléculas.

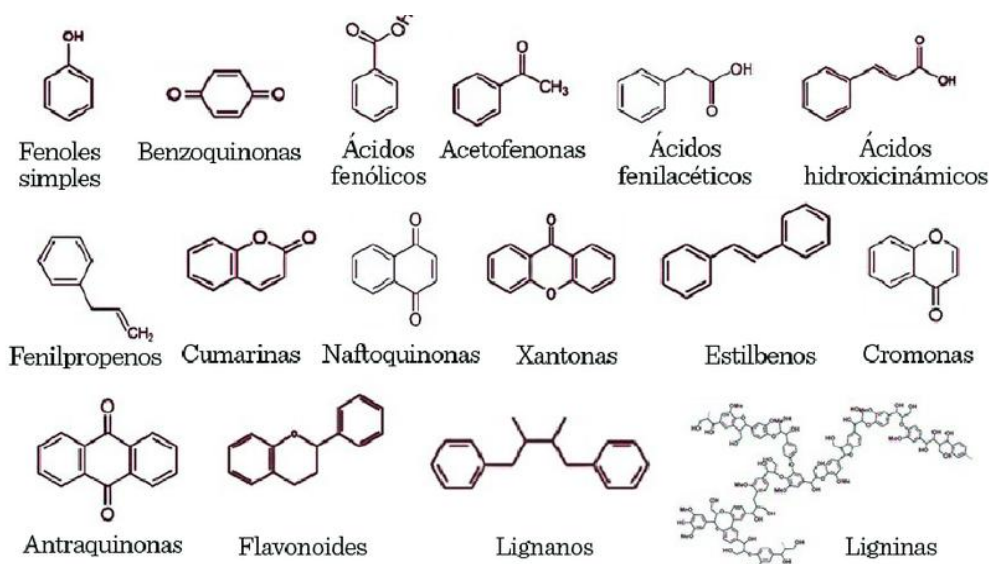
2.1.2.2. Polifenoles.

Como resultado del metabolismo secundario de las plantas, los compuestos fenólicos son un tipo de fitoquímicos presentes en las semillas, hojas, tallos y frutos de muchas especies vegetales y sirven como agentes protectores frente a amenazas externas como plagas, aportan las características organolépticas de las especies vegetales y se caracterizan por causar el sabor amargo a algunas frutas; Asimismo, se ha demostrado la actividad biológica de estos metabolitos frente a diversas patologías humanas a niveles *in vitro* o *in vivo* (Arruda et al., 2020).

Son moléculas que tienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático (fenil), se encuentran en muchos órganos de plantas como frutas, verduras, nueces, semillas, flores y cortezas (Peñarrieta et al., 2014). Éstos se clasifican según el número de anillos fenólicos y los elementos que los unen, incluyendo una gran familia de moléculas con más de 8.000 estructuras conocidas que componen este grupo de compuestos que van desde moléculas simples como los ácidos fenólicos hasta moléculas complejas de gran complejidad como taninos, los cuales son considerados compuestos bioactivos ampliamente distribuidos en diferentes tipos de alimentos como: vino, té verde, uvas, verduras, frutos rojos, café y cacao (Vuolo et al., 2019).

Figura 2

Estructura química de los fenoles



Nota. Tomada de (Lizárraga-Velázquez et al., 2006).

2.1.2.2.1. Método de cuantificación de polifenoles.

El contenido de polifenoles solubles totales se determina mediante el método de Folin & Ciocalteu, cuyo reactivo del mismo nombre consiste en una mezcla de ácidos fosfomolibdico y fosfotungstico reducidos a productos azules por compuestos fenólicos, esta reacción se realiza en condiciones alcalinas ($\text{pH} \approx 10$) con carbonato de sodio y va seguida de una coloración azul a 760 nm; proporcional a la concentración de compuestos fenólicos expresada en equivalentes de ácido gálico (GAE) (Georgé et al., 2005).

2.1.3. Extractos vegetales

De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2021), la efectividad de los extractos vegetales depende de varios factores, entre ellos: especies e incluso variedades de plantas, metodología de extracción, calidad de las plantas utilizadas, concentración utilizada, etc.

Los extractos vegetales son preparaciones obtenidas mediante la extracción de diversas sustancias vegetales mediante diferentes procesos, como: maceración, fermentación, infusión, ebullición y esencias, donde los principios activos presentes en cada planta son complejos fitoquímicos (metabolitos secundarios) y pueden ser de gran variedad. Se encuentra en diferentes concentraciones, por lo que sus beneficios son diferentes como, por ejemplo, posee ingredientes activos que pueden ser utilizados para combatir plagas y

enfermedades, así como estimulantes del crecimiento, inductores vegetativos y factores de resistencia abióticos (sequía, granizo, heladas, entre otros) (INIFAP, 2021).

2.1.4. Extractos

Los extractos se utilizan ampliamente en industrias como la farmacéutica, alimentaria, cosmética y química. Según la OMS, el 25% de los medicamentos comercializados son de origen vegetal y el 25% contienen ingredientes vegetales modificados químicamente. Para la industria farmacéutica, los extractos vegetales constituyen una nueva fuente para obtener moléculas con actividad terapéutica que pueden ser utilizadas directamente y permitir tomar medicamentos con menos efectos secundarios para aumentar el uso de productos naturales (Pardo Zapata, 2002).

2.1.4.1. Características de los extractos.

Uno de los principales aspectos en la obtención de extractos vegetales es garantizar altos rendimientos de material vegetal y un alto contenido en principios activos, pero también tienen estas características:

- Su olor y sabor deben ser característicos de la materia prima de la que proceden.
- Tienen diferentes solubilidades.
- Son de color marrón más o menos oscuro y ligeramente claros cuando se preparan en el vacío.
- Los extractos etanólicos son parcialmente solubles en agua.
- Su apariencia debe ser suave, fina y homogénea.
- Algunas son de color marrón amarillento, otras rojas y otras verdes, que por color provienen de las hojas verdes (Castillo-Henríquez et al., 2020).

2.1.4.2. Conservación de los extractos.

Existen dos formas de conservar los extractos, la primera consiste en aquellos que se conservan de forma natural, es decir, no necesitan ingredientes adicionales, el otro grupo son extractos a los que se les ha agregado un compuesto químico para conservar sus fitoquímicos (Tecnofarma, 2013).

Un extracto seco se almacena mejor que un extracto acuoso, sin embargo, existen otras diferencias, las más comunes consisten en modificaciones químicas no obvias. Un ejemplo de esto es lo que ocurre con los extractos de flores verdes que pierden su color debido a la

oxidación de la clorofila. Otros extractos pueden estar contaminados por microorganismos como hongos y bacterias (Borges et al., 2016).

Es fundamental la conservación de los extractos para evitar la evaporación de componentes fitoquímicos, para ello se debe tener en cuenta especificaciones como:

- Proteger del sol con papel de aluminio.
- Tapar bien los recipientes para evitar residuos.
- Almacenar en un ambiente fresco, preferiblemente oscuro (Borges et al., 2016).

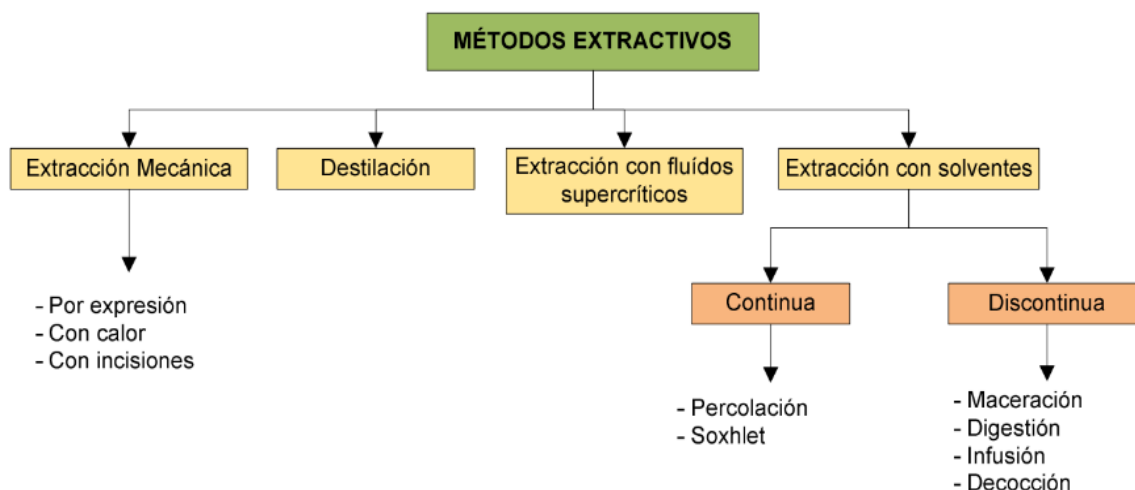
2.1.5. Métodos de extracción

El método de extracción debe elegirse en función del compuesto fotoquímico que se quiera obtener, es decir, si se trata de un metabolito primario o secundario, un compuesto activo definido o un compuesto bioactivo desconocido. Es necesario conocer la solubilidad, la propiedad ácido-base, el tamaño molecular, etc., para facilitar el aislamiento del compuesto de interés, sin embargo, cuando no se ha identificado el compuesto bioactivo, es necesario realizar pruebas cualitativas indicadoras de la presencia de familias de compuestos (alcaloides, saponinas, taninos, ácidos fenólicos, etc.) así como pruebas de cromatografía en capa fina (Romero, 2017).

Los métodos de extracción de extractos vegetales existentes se observan en la figura 3.

Figura 3

Clasificación de los métodos de obtención de extractos vegetales



Nota. Tomada de (Naveda, 2010).

2.1.5.1. Extracción mecánica.

Esta técnica permite obtener los principios activos disueltos en los líquidos de la propia planta, que tras su extracción se denominan jugos. La extracción mecánica se puede obtener por expresión, que consiste en ejercer presión sobre el material vegetal mediante prensado, con calor y con incisiones por donde fluyen los exudados de la planta (Kuklinski, 2003).

2.1.5.2. Destilación.

Es una técnica basada en la diferente volatilidad de los componentes activos de la planta, que permite la separación de componentes volátiles, como los aceites esenciales, para lo que habitualmente se realizan destilaciones al vapor o hidrodestilaciones. Normalmente se utiliza la destilación al vapor, que implica colocar la muestra en un alambique y someterla a una corriente de vapor saturado o sobrecalentado. La esencia introducida se condensa, recoge y separa por diferencia de densidad de la fracción acuosa (Gonzales, 2004).

2.1.5.3. Extracción con fluidos supercríticos.

Un fluido supercrítico es una sustancia, mezcla o elemento que, debido a operaciones mecánicas, se sitúa por encima de su punto crítico. En estas condiciones, tiene un gran poder de disolución y una gran capacidad de penetración en cuerpos sólidos, lo que permite un agotamiento rápido y prácticamente total (Gonzales, 2004). La materia prima, entre ellos, los gases más utilizados son el dióxido de carbono (CO_2) y el butano (C_4H_{10}) (Kuklinski, 2003).

El proceso implica colocar el material vegetal molido en una cámara de acero inoxidable y hacer circular un fluido supercrítico a través de la muestra. De este modo se disuelven y eliminan los principios activos del mismo, que luego se separa modificando la presión o la temperatura, finalmente se obtiene un extracto reciclable y solvente (Sánchez, 2006).

2.1.5.4. Extracción con solventes.

La extracción por solvente es una de las técnicas más utilizadas para la obtención de ingredientes activos, se deben considerar los siguientes factores: las características del material vegetal (secado y tamaño de partícula), la naturaleza del solvente, temperatura, agitación, relación sólida: líquido, tiempo de extracción y control de difusión celular (renovación del disolvente) (Pérez, 2009). Consiste en separar los principios activos de la planta poniéndola en contacto con un disolvente o una mezcla de ellos, capaz de disolver

dichos principios, estos deben pasar de la planta a un solvente para obtener un extracto líquido y un residuo (Naveda, 2010).

Los métodos de extracción con disolventes se dividen en dos grupos: las extracciones continuas y las extracciones discontinuas (Naveda, 2010).

A) Continua

En la extracción continua el solvente se renueva o recircula y actúa sobre la planta en un solo sentido, así son los métodos que consisten en mantener en todo momento el desequilibrio entre la concentración del principio activo en la planta y en el solvente, se produce la diseminación celular. Gracias a estos procesos es posible obtener una extracción prácticamente completa de los principios activos de las plantas. Los métodos que pertenecen a este grupo son la percolación, la repercolación y el soxhlet (Sharapin et al., 2000).

B) Discontinua

Durante una extracción discontinua, todo el material vegetal se sumerge en el solvente y entra en contacto con él, por lo que la distribución de los principios activos se realizará en todas las direcciones hasta alcanzar el equilibrio entre la concentración del solvente y la del residuo. La maceración, digestión, infusión y ebullición son los métodos que pertenecen a este grupo (Kuklinski, 2003).

2.1.5.5. Maceración.

Consiste en moler y/o pulverizar el material vegetal seco y ponerlo en contacto con el solvente seleccionado en un recipiente sellado a temperatura ambiente durante 2 a 14 días, con mezclado constante, hasta agotar por completo el fármaco de la planta, finalmente la maceración se filtra y luego se agita para recuperar el solvente y obtener el extracto puro (Carrión & García, 2010).

2.1.5.6. Decocción.

También llamada cocción, consiste en someter las especies vegetales más el solvente a la temperatura de ebullición del agua, manteniendo esta temperatura por un período que puede variar de 15 a 30 minutos. Este método permite obtener ingredientes activos que no sufran daños con la temperatura (Carrión & García, 2010).

2.1.5.7. Digestión.

Es un método similar a la maceración, se utiliza en plantas que contienen principios activos difíciles de extraer, requieren de un ligero calor durante el proceso, se requieren temperaturas entre 35 y 40 °C (Amaguaña & Churuchumbi, 2018).

2.1.5.8. Infusión.

Este proceso consiste en verter el solvente hirviendo sobre la especia vegetal fragmentada, se tapa el recipiente, se deja enfriar de 5 a 20 minutos, luego de enfriar se filtra para aclarar el maceado, se utiliza para evitar que los aceites volátiles se evaporen (Carrión & García, 2010).

2.1.5.9. Percolación o Lixiviación.

La materia prima triturada y húmeda se pone en contacto con el solvente (alcohol al 95%) en un tanque percolador, este solvente actúa de forma continua y decreciente hasta agotar el material vegetal. Una de las ventajas de este método es que el percolador posee dispositivos de carga y descarga que permiten la extracción total de los principios activos, tomando en promedio el 95% de los metabolitos presentes (Guevara, 2011).

2.1.6. Técnicas de extracción de polifenoles

El objetivo principal de estas tecnologías es reducir el consumo de energía y tiempo, lo que se refleja en la reducción de costos, por eso se denominan sostenibles; protegen el medio ambiente y la salud del consumidor a la vez que mejoran la economía y la innovación (Armenta et al., 2008).

En su investigación (Da Porto et al., 2013) determinaron que la gran importancia de los polifenoles ha provocado una gran cantidad de estudios centrados en su extracción de diferentes fuentes vegetales, entre las técnicas de extracción convencionales se encuentran la maceración, que se asocia a un alto consumo de disolventes orgánicos, el desperdicio que limita la aplicación de los extractos debido a la toxicidad del disolvente, además de requerir un largo tiempo de extracción, que implica un alto consumo de energía.

Las principales características de las tecnologías de extracción nuevas, convencionales; mencionadas anteriormente se presentan en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4

Principales características, ventajas y desventajas de las tecnologías de extracción nuevas y convencionales

	Tecnología de Extracción				Método convencional	
Característica	Asistida por ultrasonido	Asistida por microondas	Por fluidos supercríticos	Acelerada por disolventes	Agitación magnética	Soxhlet

	Tecnología de Extracción				Método convencional	
Característica	Asistida por ultrasonido	Asistida por microondas	Por fluidos supercríticos	Acelerada por disolventes	Agitación magnética	Soxhlet
Fuerza impulsora	Cavitación acústica	Energía de microondas	Presión en conjunto con el fluido supercrítico	Calor en conjunto con el disolvente bajo presión	Contacto con el solvente	Calor
Tiempo de extracción	10-60 min	3-30 min	10-60 min	10-20 min	1-4 h	6-24 h
Tamaño de la muestra	1-30 g	1-10 g	1-5 g	1-30 g	1-30 g	1-30 g
Disolvente	50-200 ml	10-40 ml	30-60 ml	15-60 ml	< 50 ml	150-500 ml
Inversión de energía	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Alta	Alta
Ventajas	Fácil manejo, segura, uso moderado de solvente	Rápido, fácil manejo, uso moderado de solvente	Rápido, seguro, no es necesario filtrar, alta selectividad	Rápido, seguro, no es necesario filtrar	No es necesario el uso de equipos sofisticados	No es necesario el uso de equipos sofisticados
Desventajas	Paso de filtración requerido, posible degradación de los analitos a altas frecuencia	Riesgo de explosión (El solvente puede absorber la energía de microondas), costosa, paso de filtración requerido	Muchos parámetros para optimizar	Posible degradación de los analitos termolábiles	Riesgo de derrames y exposición a vapores orgánicos, Posible degradación de los analitos termolábiles	Riesgo de exposición a vapores orgánicos, Degradación de analitos termolábiles

FUENTE: (Chemat et al., 2011), (Bendicho et al., 2012)

ELABORADO: AUTOR

2.1.7. Actividad antioxidante

Existen varios métodos para evaluar la actividad antioxidante, *in vitro* o *in vivo*. Una de las técnicas más aplicadas para la medición *in vitro* de la capacidad antioxidante total de un compuesto, mezcla o alimento es la determinación de la actividad antioxidante frente a sustancias cromogénicas de naturaleza radical. La pérdida de color se produce en proporción a la concentración, sin embargo; las determinaciones *in vitro* de la capacidad antioxidante

sólo dan una idea aproximada de lo que sucede en situaciones complejas *in vivo* (Kuskoski et al., 2005). Según (Rincón et al., 2011) varios compuestos presentes en los productos herbarios tienen la propiedad de actuar como eliminadores de radicales libres o antioxidantes. En estos productos se ha demostrado la presencia de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes.

Diferentes compuestos cromogénicos, como ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico), DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo), DMPD (N, N-dimetil - p-fenilendiamina), DMPO (N-óxido de 5,5-dimetil-1-pirrolina) y FRAP (poder antioxidante reductor férrico), se utilizan para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos para atrapar los radicales libres generados. Se crean radicales libres, actuando así contra los daños de los procesos de oxidación, que incluyen especies reactivas de oxígeno. Los métodos más aplicados son ABTS y DPPH, los cuales muestran una excelente estabilidad bajo ciertas condiciones, aunque también tienen diferencias.

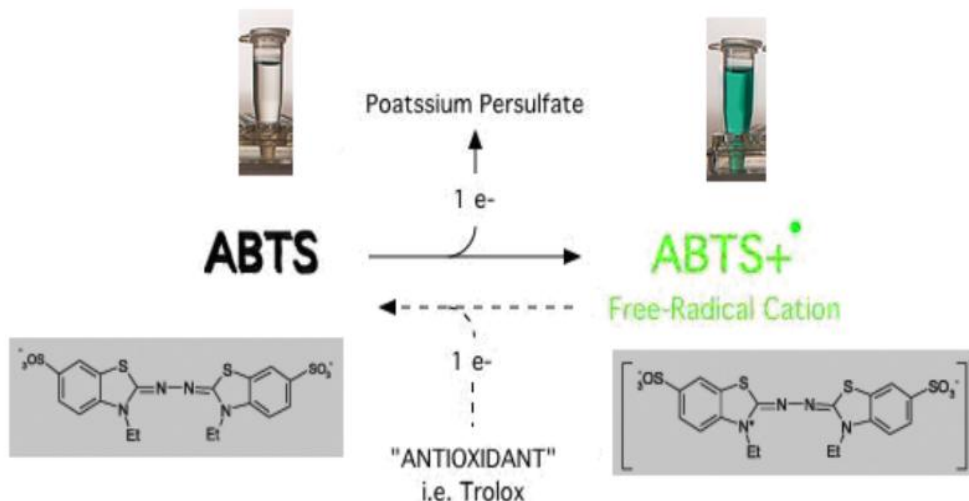
El método DPPH es sencillo y rápido, es un radical libre que se puede obtener directamente sin preparación previa, mientras que el ABTS debe crearse tras una reacción que puede ser química (dióxido de manganeso, persulfato de potasio, ABAP), enzimática (peroxidasa, mioglobulina) o incluso electroquímica, con ABTS podemos medir la actividad de compuestos hidrófilos y lipófilos, mientras que el DPPH sólo puede existir en un ambiente orgánico. El radical ABTS tiene la ventaja de que su espectro muestra máximos de absorción a 414, 654, 754 y 815 nm en el medio etanólico, mientras que DPPH presenta un pico de absorción a 515 nm (Kuskoski et al., 2005).

2.1.7.1. Método con ABTS.

Este método es aplicable al estudio de compuestos puros, extractos de alimentos y plantas, y sistemas lipófilos y acuosos (Naveda, 2010). En su redacción (Pokorny et al., 2005) establecen que el método consiste en comparar la capacidad de un antioxidante para capturar un radical ABTS•⁺ verde/azul (ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), obtenido por la reacción del ABTS con persulfato de potasio., con la capacidad antioxidante del trolox. La reducción inducida por antioxidantes del radical monocatión preformado puede ir seguida de la reducción de la coloración inicial, esta reducción se calcula como porcentaje de ABTS•⁺ + inhibición por la concentración de antioxidante y el tiempo de reacción. Los datos se presentan en equivalentes de trolox (análogo de α -tocoferol soluble en agua) (Re et al., 1999).

Figura 4

Principio del ensayo de capacidad antioxidante mediante ABTS



Nota. Tomada de (Boligon, 2014)

2.1.7.2. Otros métodos

Además del método mencionado anteriormente, existen otros métodos para determinar la capacidad antioxidante y se denominan a continuación (Pokorny et al., 2005):

- Método FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma).
- Método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity).
- Método TOSC (Total Oxyradical Scavenging Capacity).
- Método del radical DPPH[•] (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl).
- Método TRAP (Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter).

2.1.8. Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA)

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) se consideran una carga importante de morbilidad en todo el mundo, siendo identificadas por la OMS como la principal causa de enfermedad y muerte asociada con una carga socioeconómica significativa en los países menos desarrollados mientras que en los países desarrollados las ETA son responsables de altos niveles de pérdida de productividad, costos relacionados con el uso de servicios de salud y la implementación y seguimiento de políticas de seguridad alimentaria (Carrasco et al., 2017).

Según la OMS estas enfermedades son causadas principalmente por bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas que ingresan al cuerpo a través de agua o alimentos contaminados, alimentos crudos de origen animal, frutas y verduras contaminadas con heces

y mariscos crudos que contienen biotoxinas marinas, en los que se encuentran estos patógenos, incluyen múltiples síntomas entre los cuales son la diarrea severa o infecciones debilitantes, como meningitis (OMS, 2020).

2.1.8.1. Factores que intervienen en el control del crecimiento bacteriano en los alimentos.

- **Temperatura a que se almacena o mantiene el alimento:** La mayoría de las bacterias patógenas prefieren una temperatura entre 20 y 40 °C, cercana a la del cuerpo humano; sin embargo, hay especies patógenas que pueden crecer entre 5 y 63 °C, la zona de temperatura de peligro. La temperatura ambiente de las cocinas calientes suele proporcionar condiciones de cultivo especialmente buenas; por encima de 63 °C, las células se destruyen rápidamente y por debajo de 5 °C no mueren, aunque no pueden alimentarse ni multiplicarse y permanecen en estado latente.
- **Tiempo necesario para crecer:** Las bacterias comienzan a crecer rápidamente y su población se duplica a intervalos regulares, donde los alimentos cocinados proporcionan condiciones más o menos ideales para el crecimiento bacteriano. Además, pueden contaminarse fácilmente con los alimentos crudos, las manos o el medio ambiente. Si a las bacterias se les da suficiente tiempo, comenzará el crecimiento.
- **Actividad de agua o agua disponible en el alimento:** Las bacterias necesitan humedad para crecer y el factor crítico para el crecimiento bacteriano no es la cantidad de agua presente, sino la fracción disponible.
- **Compuestos químicos que regulan el crecimiento:** Se basan en conservantes, antibióticos o toxinas producidas por otras bacterias; incluso cuando se utilizan conservantes, las bacterias siguen creciendo, especialmente si el tiempo, la temperatura y la humedad son los adecuados.
- **Oxígeno en la atmósfera que rodea al alimento:** El crecimiento bacteriano no se puede prevenir simplemente eliminando el aire de los alimentos.
- **Acidez o pH del propio alimento:** Los ácidos tienden a inhibir el crecimiento bacteriano, aunque no son eficaces contra el moho y las levaduras; estos están presentes en los alimentos de sabor ácido: frutas, tomates, encurtidos, vinagre, yogurt, etc., los productos que contienen estas sustancias tienden a almacenarse mejor y pueden mantenerse más libres de contaminación que los alimentos de sabor ácido neutro. El uso de aromas ácidos como vinagre, jugo de limón, tamarindo, por

ejemplo, en los adobos ayuda a conservar los alimentos, ya que la mayoría de las bacterias patógenas no pueden crecer a un pH de 4,5 y los microorganismos que deterioran los alimentos no crecen por debajo de 5.

- **Las bacterias no son destruidas de forma efectiva por ácidos o eliminación del aire:** El único método seguro para eliminarlos es el calor, cuando se aplica calor por primera vez se destruyen en grandes cantidades, aunque la tasa de mortalidad disminuye rápidamente. Las bacterias en los alimentos sólo pueden destruirse eficazmente calentando todo el alimento a una temperatura de al menos 65 °C y manteniendo la temperatura durante 30 minutos o más, lo que generalmente reducirá la población bacteriana (Hernández & Meléndez, 2010).

2.1.9. Tipos de microorganismos

2.1.9.1. Bacterias.

Estos microorganismos tienen una pared que rodea la célula y les proporciona resistencia y protección del ambiente externo. Está envuelta, no es una simple membrana, es decir, la membrana y demás estructuras que rodean y protegen el citoplasma. A diferencia de la mayoría de los organismos superiores, las bacterias deben afrontar y soportar condiciones ambientales cambiantes, impredecibles y, a menudo, hostiles; para sobrevivir, han desarrollado una sofisticada y compleja defensa, que al mismo tiempo permite de forma selectiva el paso de los nutrientes presentes desde el exterior y los desechos del interior

Son organismos unicelulares que pertenecen al grupo de los procariotas, es decir; carecen de núcleo celular y de orgánulos como mitocondrias, cloroplastos o aparato de Golgi, por lo que su material genético (ADN) se encuentra libre en el citoplasma. A pesar de su sencilla organización celular, presentan una gran variedad de formas llamadas filamentos, cocos, bacilos, vibrios y espirilos. Las bacterias miden de 0,5 a 5 μ de longitud; son tan pequeñas que es imposible verlas a simple vista, excepto cuando están agrupadas en colonias (De Los Ángeles et al., 2017).

2.1.9.2. Virus.

Los virus son agentes infecciosos extremadamente pequeños, compuestos por material genético rodeado de una cubierta proteica, algunos virus presentan, adicionalmente, una envoltura externa de origen celular. Esta estructura les permite invadir células y multiplicarse, causando una amplia gama de enfermedades (Alarcón & Ojeda, 2018). En su investigación (De Los Ángeles et al., 2017) menciona que los virus son agentes infecciosos obligados que dependen de las células huésped para su replicación. Su estructura simple,

compuesta por material genético y una cubierta proteica, les permite invadir una amplia variedad de organismos. La infección viral puede tener consecuencias devastadoras para la célula huésped y el organismo en su conjunto, causando enfermedades que van desde leves hasta mortales.

2.1.9.3. Hongos.

Los hongos son organismos fascinantes que presentan una dualidad en su interacción con el mundo que les rodea. Por un lado, son esenciales para el equilibrio de los ecosistemas, desempeñando un papel fundamental en la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Esta capacidad ha sido aprovechada por el ser humano desde tiempos ancestrales, utilizándolos en la producción de alimentos y en procesos industriales. Sin embargo, los hongos también pueden tener un impacto negativo, causando enfermedades en plantas y animales, incluyendo al ser humano. Esta dualidad refleja la compleja evolución de los hongos y su profunda influencia en la vida en la Tierra (Cuevas, 2016).

Según (De Los Ángeles et al., 2017) los hongos presentan una gran diversidad en cuanto a su estructura y forma de vida. Algunos, como las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), son unicelulares y desempeñan un papel fundamental en la producción de alimentos como el pan y la cerveza. Otros, como los champiñones, son pluricelulares y forman cuerpos filamentosos. El hongo proporciona agua y minerales al alga, mientras que el alga suministra al hongo los hidratos de carbono que produce mediante la fotosíntesis. Así mismo, (Cuevas, 2016) indica que el reino de los hongos está formado por organismos eucariotas heterótrofos que exhiben una variedad de estructuras, funciones, formas de crecimiento y estilos de vida; Sus más de 1,5 millones de miembros tienen un impacto positivo o negativo en todas las formas de vida existentes y por tanto en todos los ecosistemas.

2.1.9.4. Parásitos.

Los parásitos son organismos fascinantes porque han determinado su supervivencia, reproducción y propagación de la vida a expensas de otros animales (llamados huéspedes), incluidos los humanos. Representan uno de los tipos de vida más exitosos en la tierra, se estima que más de la mitad de todos los organismos existentes son parásitos. Algunos viven del huésped, como piojos, pulgas y garrapatas; otros lo hacen en casa. Un parásito puede convertirse en un patógeno si el daño al huésped provoca una enfermedad. Por tanto, el parasitismo también se considera una forma de depredación (De Los Ángeles et al., 2017).

El parásito recibe nutrientes y protección física sin contribuir a la supervivencia del huésped; de esta manera sólo se benefician los parásitos. En algunos casos, es posible que la especie huésped no se vea afectada; en otros, sufre diversas consecuencias provocadas por el parásito. Su tamaño puede ser pequeño y sólo observarse al microscopio (microparásitos), pero algunos también pueden medir desde unos pocos centímetros hasta varios metros (llamados macroparásitos). Los microparásitos incluyen una amplia variedad de bacterias, virus, hongos y protozoos que han adaptado sus mecanismos nutricionales a expensas de animales, plantas e incluso otros microorganismos (De Los Ángeles et al., 2017).

2.1.10. Bacterias patógenas

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) afirma que los patógenos transmitidos por los alimentos pueden afectar gravemente a cualquier persona, siendo los principales *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Salmonella spp* (FDA, 2018). Según la Organización Mundial de la Salud (OPS), las bacterias son la causa más común de enfermedades transmitidas por los alimentos. La multiplicación de bacterias se denomina crecimiento bacteriano y puede ser un problema potencial de particular interés para la seguridad alimentaria (PAHO, 2017).

2.1.10.1. Escherichia coli.

De acuerdo con (Soto-García & Rosales-Castro, 2016) la bacteria *Escherichia coli* se caracteriza por ser un bacilo Gram negativo, anaeróbico facultativo, generalmente móvil mediante flagelos peritricos, cuyo hábitat es el intestino de los animales de sangre caliente, esta bacteria se utiliza como indicador de posible contaminación fecal y presencia de patógenos en el agua y los alimentos, debido a que es abundante en las heces humanas y animales. Algunas cepas de *Escherichia coli* han adquirido factores de virulencia que las hacen patógenas, denominándose cepas diarreógenas o patógenas. Algunas cepas de *Escherichia coli* han adquirido factores de virulencia que las hacen patógenas, denominándose cepas diarreógenas o patógenas. (Lucas et al., 2016).

2.1.10.2. Salmonella spp.

Según el Instituto Chileno de Salud Pública (ISPCH), la *salmonella* es un género bacteriano de gran relevancia en salud pública, pertenece a la familia Enterobacteriaceae. Estas bacterias, gramnegativas y con forma de bastón, se desarrollan óptimamente a temperaturas de 35 - 37°C y un rango de 5 - 46°C, similares a las del cuerpo humano. Desde un punto de vista epidemiológico, la *salmonella* presenta una amplia distribución en la naturaleza,

infectando tanto a animales como a humanos. La mayoría de los serotipos que causan salmonelosis en humanos son zoonóticos, es decir, se transmiten de animales a personas, las aves de corral y sus productos son una fuente común de infección, lo que ha llevado a numerosos brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ISPCH, 2016).

En su trabajo investigativo (Soto-García & Rosales-Castro, 2016) indica que la *salmonella* tiene un gran impacto en la salud pública, los datos epidemiológicos muestran que la gastroenteritis y la fiebre tifoidea son comunes en todo el mundo y ocurren tanto en países desarrollados como en países subdesarrollados. Los productos alimenticios en los que se detectó el patógeno fueron principalmente pollo, cerdo, pavo, productos cárnicos crudos, huevos y jamón de cerdo.

2.1.10.3. Distintos patógenos principales.

La Tabla 5 destaca los 14 principales patógenos transmitidos por los alimentos y proporciona información detallada sobre los más comunes transmitidos por los alimentos:

Tabla 5

Principales características de los patógenos alimentarios más comunes

Patógeno	Conceptos básicos	Fuentes	Síntomas	Incubación	Duración
<i>Campylobacter jejuni</i>	Es la causa más común de diarrea de origen bacteriano en los Estados Unidos.	Leche cruda, agua no tratada, carne de res, pollo o pescados crudos y no bien cocidos.	Diarrea, calambres estomacales, fiebre, dolores musculares, dolor de cabeza y náuseas.	Por lo general, entre 2 y 5 días después de consumir comida contaminada.	2 a 10 días.
<i>Clostridium botulinum</i>	Puede encontrarse en comida húmeda y con poco ácido. Produce una toxina que provoca el botulismo.	Alimentos enlatados del hogar, alimentos envasados al vacío y envueltos en forma hermética, productos derivados de carne de res, pescados.	Sequedad en la boca, visión doble seguida de náuseas, vómitos y diarrea.	12 a 72 horas después de consumir comida contaminada. En los bebés 3 a 30 días.	La recuperación puede durar entre 1 semana y un año entero.

Patógeno	Conceptos básicos	Fuentes	Síntomas	Incubación	Duración
<i>Clostridium perfringens</i>	Bacteria que produce esporas resistentes al calor, que pueden crecer en alimentos que no están bien cocidos o que quedan fuera del refrigerador a temperatura ambiente.	Carne de res y productos derivados de ella.	Dolor abdominal, diarrea y, en algunos casos, náuseas y vómitos.	8 a 16 horas después de consumir comida contaminada.	Normalmente , 1 día o menos.
<i>Escherichia coli (E. coli) patogénica</i>	Grupo de bacterias que puede producir diversas toxinas mortales.	Carne de res, productos frescos no cocidos, leche cruda, jugo sin pasteurizar y agua contaminada.	Calambres estomacales agudos, diarrea con sangre y náuseas.	Normalmente , 3 a 4 días después de la ingestión.	5 a 10 días.
<i>Listeria monocytogenes</i>	Bacteria que puede crecer lentamente a temperaturas de refrigerador.	Alimentos refrigerados, listos para consumir.	Fiebre, dolor de cabeza, cansancio, dolores musculares, náuseas, vómitos, diarrea.	9 a 48 horas después de la ingestión.	Varía
<i>Norovirus (Virus del tipo Norwalk)</i>	Virus que se está convirtiendo en una amenaza para la salud.	Ostras/mariscos crudos, ensalada de repollo, ensaladas, productos horneados, glaseados, agua contaminada y hielo.	Diarrea, náuseas, vómitos, calambres estomacales , dolor de cabeza y fiebre.	24 a 48 horas después de la ingestión, pero puede aparecer más rápidamente, a las 12 horas.	1 a 3 días.
<i>Salmonella enteritidis</i>	Bacteria que puede infectar los ovarios de gallinas	Huevos crudos o que no estén bien cocidos, carne de res,	Diarrea, fiebre, vómitos, dolor de	12 a 72 horas después de consumir	4 a 7 días.

Patógeno	Conceptos básicos	Fuentes	Síntomas	Incubación	Duración
	aparentemente saludables e infectar internamente los huevos antes de que sean puestos.	pollo, pescados y mariscos crudos, leche cruda, productos lácteos y productos frescos.	cabeza, náuseas y calambres estomacales	comida contaminada.	

FUENTE: (FDA, 2018)

ELABORADO: AUTOR

2.1.11. Agentes antimicrobianos

La creciente resistencia de las bacterias a los antibióticos representa una de las mayores amenazas para la salud pública a nivel mundial. Esta situación exige una investigación intensiva para descubrir y desarrollar nuevos agentes antimicrobianos capaces de combatir las cepas bacterianas resistentes, solo así se podrá garantizar la salud pública y prevenir futuras pandemias causadas por patógenos resistentes (Prescott et al., 2004).

De acuerdo con (Prescott et al., 2004) los agentes antimicrobianos pueden clasificarse según su efecto sobre los microorganismos en bactericidas y bacteriostáticos. Los agentes bactericidas son aquellos que causan la muerte de las bacterias, mientras que los bacteriostáticos inhiben su crecimiento y multiplicación. Además, la eficacia de un agente antimicrobiano puede variar dependiendo de su concentración y de la fase de crecimiento de las bacterias.

Los agentes antimicrobianos ejercen su acción a través de diversos mecanismos que interfieren con los procesos vitales de las bacterias, algunos agentes dañan la pared celular bacteriana, otros inhiben la síntesis de proteínas o ácidos nucleicos, alteran la estructura de las membranas biológicas o bloquean vías metabólicas esenciales. La comprensión de estos mecanismos de acción es fundamental para el desarrollo de nuevos antimicrobianos y para optimizar el uso de los existentes (Prescott et al., 2004).

2.1.12. Actividad antimicrobiana de los polifenoles

Para estimular el uso de agentes antimicrobianos de origen natural, muchos autores han investigado la actividad antimicrobiana de compuestos fenólicos identificados en muchas especies de plantas, a los que se les atribuye actividad antimicrobiana contra diversas

bacterias Gram positivas y Gram negativas. y también inhibe el crecimiento de microorganismos resistentes al frío, coliformes y coliformes fecales (Pokorny et al., 2004).

De acuerdo con (Barranco, 2004) se cree que la posición y el número de grupos hidroxilo en el grupo fenólico están relacionados con la toxicidad de los polifenoles para los microorganismos. (Pokorny et al., 2005) en su investigación establecen que la mayoría de los ácidos fenólicos tienen actividad antimicrobiana, así mismo, se ha informado que los ácidos fenólicos como el ácido cafeico y el ácido vainílico pueden inhibir el crecimiento de *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*.

2.1.13. Determinación de la actividad antimicrobiana

2.1.13.1. Método de difusión en agar o en disco.

Esta técnica consiste en impregnar un disco de papel en una placa de agar inoculada con bacterias con una cantidad conocida de la sustancia a evaluar. El diámetro del halo de inhibición que se forma alrededor del disco o pozo es directamente proporcional a la capacidad de la sustancia para inhibir el crecimiento bacteriano (Ramirez & Marin, 2009).

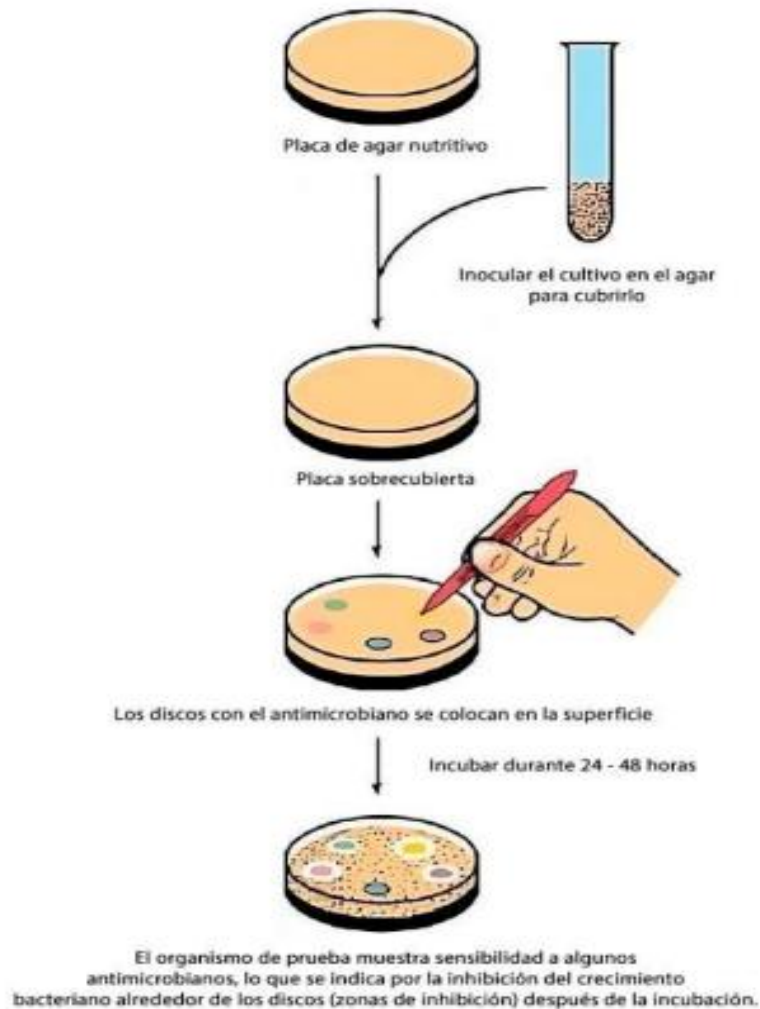
El método de prueba de difusión en agar propuesta por (Naveda, 2010) implica una cuidadosa serie de pasos diseñados para evaluar la eficacia de los antimicrobianos frente a cepas bacterianas específicas, se detalla a continuación y se muestran en la Figura 5.

1. Primero, preparar una placa Petri que contenga medio sólido, preferiblemente agar Mueller-Hinton, porque contiene propiedades nutricionales que favorecen el crecimiento bacteriano, luego utilizar el cultivo para obtener el inóculo bacteriano, en el caldo del microorganismo investigado, agregar solución salina estéril para asegurar una concentración uniforme; después combinar cuidadosamente este inóculo estandarizado con el agar y vertir en la placa Petri que se preparó en el primer paso.
2. Sobre la superficie sólida colocar discos de papel impregnados con cantidades predeterminadas del agente antimicrobiano que se desea examinar.
3. Seguido la placa se incuba a 35 °C durante 24 horas, esto permite que las bacterias se desarrollen y propaguen.
4. Al final del proceso de incubación, se mide el diámetro del área donde las bacterias no crecen alrededor de cada disco. Este tamaño nos indica qué tan bien funciona el

antimicrobiano, y depende de varias características del compuesto, como su concentración, solubilidad y capacidad para moverse a través del agar.

Figura 5

Guía visual del proceso de difusión en medio agar nutritivo



Nota. Tomada de (Madigan et al., 1993).

2.2. Marco referencial

Existe un gran interés en el mundo entero por los subproductos procedentes del plátano y su uso en los diferentes campos agroindustriales. (Padam et al., 2014), manifiesta que los subproductos del plátano tales como la cáscara, el pseudotallo, el rizoma, las hojas, etc., son fuentes de recursos renovables que pueden convertirse en materias primas o productos que tengan la capacidad potencial de ser reciclables y de fácil biodegradabilidad, aceptable para el medio ambiente y de viabilidad comercial.

Algunos estudios previos investigaron la actividad antibacteriana del extracto de cáscara de plátano y encontraron resultados positivos. Un estudio realizado por (Ortiz Hernández et al., 2021), demostró que el extracto de cáscara de plátano muestra actividad antibacteriana contra bacterias como *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Salmonella*.

(Niamah, 2015), en su investigación extrajo los compuestos bioactivos presentes en la cáscara de banano (*Musa accuminata*) mediante varios solventes diferentes para determinar la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas de diversos extractos siendo el metanol y el etanol los que presentaron mejor rendimiento de extracción.

(Ehiowemwenguan et al., 2014), mencionan que los extractos etanólicos de las cáscaras de plátano tienen mejor eficiencia antibacteriana contra bacterias como *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus* y *Salmonella*. Así mismo (Mokbel & Hashinaga, 2005), diagnosticaron la capacidad antibacteriana y antioxidante de las cáscaras de plátano, tratando las muestras con diversos disolventes.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Biología y Microbiología perteneciente al Campus “La María” de la UTEQ Cantón Mocache, Km 7 vía Quevedo – El Empalme.

Figura 6

Ubicación geográfica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo – Campus “La María”



Nota. La UTEQ – Campus “La María” está localizada en el km 7 ½ de la vía Quevedo - Mocache, situada al sureste del Anillo Vial y al suroeste del corporativo Oriental, a una latitud de -1,080109° o 1° 4' 48" S y una longitud de -79,501362° o 79° 30' 4" W. Tomado de (Google Maps, 2023).

3.1.1. Materia Prima

La materia prima para emplearse es plátano maduro tipo dominico (*Musa paradisiaca*), obtenida de la finca familiar del señor Vidal Suarez ubicada en la provincia de Los Ríos, recinto “La Germania”; cantón Buena Fe.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación exploratoria

Se seleccionó este enfoque debido a la limitada disponibilidad de referencias científicas consolidadas sobre los polifenoles presentes en la cáscara de plátano maduro. Esta investigación permitió recopilar información esencial para identificar el potencial de los extractos como alternativas naturales frente a microorganismos patógenos, sentando las bases para futuras aplicaciones. Asimismo, esta aproximación fue clave para delimitar y

definir el problema de estudio, proporcionando un marco claro y fundamentado que guió las etapas iniciales de la investigación y permitió estructurar una metodología precisa y adaptada al objetivo principal del trabajo.

3.2.2. Investigación experimental

Después de llevar a cabo la extracción de polifenoles a partir de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) por el método de maceración con agitación, se evaluaron sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Para determinar las diferencias significativas entre los extractos obtenidos, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de pruebas de comparación múltiple como Tukey; este enfoque estadístico permitió diferenciar e identificar de manera precisa el efecto de la técnica de extracción sobre la capacidad biológica de los polifenoles.

3.2.3. Investigación analítica

En el marco de esta investigación, se realizaron análisis específicos con el objetivo de honrar en los resultados obtenidos. Estos análisis incluyeron la aplicación de técnicas estadísticas para evaluar la significancia de las diferencias entre los tratamientos, así como la identificación de tendencias y patrones en los datos recolectados. Este enfoque exhaustivo permitió una comprensión integral de la efectividad de la extracción, así como de los impactos sobre la capacidad biológica de los polifenoles, proporcionando una base sólida para las conclusiones de la investigación sobre las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*).

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método inductivo-deductivo

La aplicación de este método se sustentó en dos enfoques complementarios. Primero, utilizando un enfoque inductivo, se decidió recopilar datos empíricos sobre los compuestos bioactivos de los polifenoles extraídos mediante maceración con agitación. La observación sistemática y detallada de estos datos permitió identificar regularidades y patrones en la eficacia de la extracción y la actividad de los compuestos obtenidos. Se formularon hipótesis que posteriormente fueron sometidas a pruebas específicas bajo el enfoque deductivo con base a estos patrones. Este enfoque partió de premisas generales sobre las propiedades de los polifenoles y utilizó razonamiento lógico para derivar conclusiones particulares sobre la capacidad antioxidante y antimicrobiana, validando así los hallazgos inductivos con un proceso organizado e inflexible.

3.3.2. Método estadístico

Su empleo implicó una serie de procedimientos secuenciales para manejar los datos obtenidos de los métodos de extracción y maceración con agitación. Inicialmente, se llevó a cabo la recolección sistemática de datos sobre la eficacia de extracción y las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de los compuestos, en donde dichos datos fueron sometidos a análisis estadístico por ANOVA con prueba de significancia de Tukey en el software estadístico STATGRAPHICS, permitiendo tabular, organizar y representar de manera visual los datos recolectados de los métodos de extracción, lo que facilitó la identificación de variaciones significativas en la actividad antimicrobiana y antioxidante de los polifenoles extraídos mediante ambos métodos. Posteriormente, se procedió al tratamiento, presentación y análisis interpretativo de los resultados obtenidos, lo que permitió llegar a conclusiones fundamentadas en evidencia cuantitativa, proporcionando así una base sólida para la investigación.

3.4. Fuentes de recopilación de información

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se empleó fuentes de recopilación de información del tipo primarias y secundarias.

3.4.1. Fuentes primarias

Las principales fuentes de información que se aplicaron estuvieron compuestas por labor de campo y pruebas de laboratorio utilizando:

- Recolección de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) y extracción de compuestos bioactivos.
- Exámenes preliminares de investigación.
- Evaluación de la actividad antibacteriana y antioxidante.

3.4.2. Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias empleadas en esta investigación incluyeron una variedad de literatura especializada, la cual constituyó un recurso esencial para el desarrollo metodológico y teórico de este proyecto de investigación, así como para la interpretación y análisis de los resultados obtenidos. Dichas fuentes corresponden a las siguientes:

- Artículos científicos.
- Revistas científicas.

- Libros especializados.
- Tesis de pregrado.
- Tesis de doctorados.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante parte con la evaluación del efecto del contenido polifenólico que se obtuvo bajo el método de extracción y diferentes concentraciones etanólicas de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), para ello se empleó un diseño experimental Completamente al Azar, con una significancia del 95 %, además se aplicarán comparaciones múltiples de medias Tukey ($P \leq 0.05$), estos análisis se realizarán en el software estadístico STATGRAPHICS; versión 16.1.03. Con ello se planteó las siguientes hipótesis experimentales:

- **Factor A – Tipo de extracto**

H₀: El tipo de extracto no tiene efecto significativo sobre la capacidad antimicrobiana.

H₁: El tipo de extracto tiene efecto significativo sobre la capacidad antimicrobiana.

- **Factor B – Concentración de extracto**

H₀: La concentración de extracto no tiene efecto significativo sobre la capacidad antimicrobiana.

H₁: La concentración de extracto tiene efecto significativo sobre la capacidad antimicrobiana.

Para la obtención de resultados confiables, se realizó la cuantificación del contenido polifenólico con una repetitividad de tres réplicas por cada extracto obtenido con diferentes concentraciones etanólicas.

3.5.1.1. Esquema del ANOVA

Tabla 6

Esquema del análisis de varianza (DCA) para las variables en estudio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza
Tratamientos	SC _T	T-1	CM _T	CMT/ CME
Error	SC _E	(r-1) * (a*b-1)	CM _E	

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza
Total	SC _T	(n-1)	CM _T	

Nota. FA = Tipo de extracto, FB = Concentración de extracto.

ELABORADO: AUTOR

3.5.1.2. Características del diseño experimental

Tabla 7

Descripción de los factores de estudio que intervienen en la evaluación de la capacidad antimicrobiana de la cáscara de plátano.

Factores de estudio	Simbología	Descripción
A: Tipo de extracto	a ₀	Extracto etanólico
	a ₁	Extracto acuoso
B: Concentración de extracto	b ₀	96 %
	b ₁	75 %
	b ₂	50 %
	b ₃	25 %

ELABORADO: AUTOR

Tabla 8

Descripción de los tratamientos propuestos para la evaluación de la capacidad antimicrobiana de la cáscara de plátano (Musa paradisiaca).

Tratamiento	Descripción
T1	Extracción etanólica + Concentración 96 %
T2	Extracción etanólica + Concentración 75 %
T3	Extracción etanólica + Concentración 50 %
T4	Extracción etanólica + Concentración 25 %
T5	Extracción acuosa

ELABORADO: AUTOR

3.6. Instrumentos de investigación

3.6.1. Muestreo

Para la obtención de las muestras de cáscaras de plátano maduro tipo dominico (*Musa paradisiaca*) se realizó la recolección en la finca familiar del señor Vidal Suarez ubicada en la provincia de Los Ríos, recinto “La Germania”; cantón Buena Fe. Seleccionando la materia prima con un índice de madurez comercial, posteriormente se procedió con el provecho del vegetal y se fue recolectando las cáscaras.

3.6.2. Manejo poscosecha

El proceso poscosecha de las muestras de cáscaras de plátano maduro tipo dominico (*Musa paradisiaca*), se realizó en el laboratorio de agro alimentos de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo – Campus “La María”, ubicado en el cantón Mocache provincia de Los Ríos. Los vegetales se abrieron con ayuda de un cuchillo y las cáscaras fueron cuidadosamente abiertas y sometidas a un lavado con agua destilada para eliminar impurezas externas. Posteriormente, las cáscaras se secaron a temperatura ambiente en condiciones controladas de humedad y ventilación para evitar el desarrollo microbiano no deseado.

3.6.3. Preparación de las muestras

Luego que se cumplió con el manejo poscosecha, se pesa la muestra para obtener el peso inicial de la cáscara, enseguida se procede a cortar las cáscaras en fragmentos pequeños 0,5 cm aproximadamente. Las muestras vegetales son distribuidas en recipientes de aluminio y colocadas en la estufa durante 26 horas a 65 °C, posterior a ello los fragmentos de cáscara secos, se colocan en el molino manual, para obtener una masa pulverizada de partícula gruesa, luego la masa pulverizada se pasa por un set de tamices, obteniendo un polvo homogéneo, el mismo que se almacena en bolsas Ziploc hasta su uso; las bolsas se guardarán en un lugar fresco y seco para prevenir la absorción de humedad, garantizando condiciones adecuadas para mantener la calidad.

3.6.4. Extracción de compuestos bioactivos

Para la extracción del compuesto fenólico de la muestra de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) se utilizó como guía los métodos comunes para la extracción de productos de origen vegetal, junto con la adaptación del proceso descrito por (Naveda, 2010), se empleó una maceración en relación s/v de 1:10, en base a esto, se preparó cuatro soluciones de 300

ml con diferentes concentraciones etanólicas (96 %, 75 %, 50 % y 25 %) y se adicionó en un matraz que contenía 30 g de la muestra de cáscaras molidas previamente pesadas, los matraces se cubrieron con papel de aluminio para evitar la oxidación del compuesto bioactivo durante el proceso y pasó a colocarse en el equipo respectivo al método de extracción sugerido en cada tratamiento. Al transcurrir el tiempo de maceración se procedió a filtrar cada extracto con papel filtro por tres ocasiones para evitar la presencia de sedimentos, luego se procedió a concentrar el extracto en el rotavapor de marca Heidolph a 61 °C; a 115 rpm con la finalidad de recuperar el solvente de etanol al 25 %, 50 %, 75 % y 96 %, al final del proceso se obtuvo un volumen de 60 mL de extracto puro al 96 % , 105 mL de extracto puro en etanol al 75 %; así mismo se obtuvo 120 mL de extracto puro al 50 % y 120 mL de extracto puro al 25 %. Los productos obtenidos se almacenaron en frascos ámbar y en refrigeración a 4 °C.

3.6.5. Actividad antioxidante

Antes de realizar el análisis de capacidad antioxidante mediante el método ABTS⁺, se procedió a cuantificar los polifenoles presentes en los extractos dado que la capacidad antioxidante está directamente relacionada con la concentración de estos compuestos en la muestra. Para ello, se utilizó la espectrofotometría UV-visible, para lo que se empleó un espectrofotómetro Thermo Scientific, Genesys 10S UV-Vis, en la cual se verificó inicialmente la difusión adecuada para obtener el pico de absorbancia. Se comenzó con la colocación de un blanco antes de medir el espectro de los extractos, siguiendo la metodología propuesta por (García Martínez et al., 2015). Para asegurar la precisión en el volumen de las soluciones, se utilizó una micropipeta con un conjunto de puntas desechables, lo que facilitó la toma y adición de las muestras a las celdas de cuarzo previamente limpias.

Cargadas las muestras se activó el espectrofotómetro, que generó los datos indispensables, los cuales fueron registrados, incluyendo los valores de absorbancia y longitud de onda para su posterior análisis. La actividad antioxidante se evaluó en los tratamientos con mayor contenido de polifenoles, empleando para ello el método de decoloración del catión radical ABTS⁺, en el cual se preparó una fuente de radicales utilizando una disolución de persulfato de potasio (2,45 mM) y disolución de ABTS⁺ (7 mM) en una relación 1:1, se dejó reposar por 16 horas en oscuridad a temperatura ambiente.

A partir de la fuente de radicales se preparó una disolución de trabajo en una proporción 1:25 con una disolución amortiguadora de fosfatos a pH 7,0 (75 mmol• L⁻¹ fosfato de sodio

monobásico $0,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ y fosfato de sodio dibásico $0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), hasta obtener una lectura de absorbancia de $1,1 \pm 0,01$ a 734 nm. Para la determinación de la actividad antioxidante se trasladó en un tubo de vidrio un volumen de 200 μL de extracto bruto debidamente diluido con 3800 μL de la disolución de trabajo. Se homogenizó los tubos con ayuda de un agitador y se dejó reposar durante 45 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó por espectrofotometría UV-VIS frente a una curva estándar de Trolox ($0\text{-}800 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$). Los resultados se expresan como $\mu\text{M TE} \cdot \text{mL}^{-1}$ de muestra.

3.6.6. Actividad antimicrobiana

Se llevó a cabo una prueba de sensibilidad utilizando el método de Kirby-Bauer adaptado por (Naveda, 2010), lo que facilitó la evaluación de la presencia o falta de inhibición del extracto puro en las dos cepas estudiadas; para esto, se prepararon medios de cultivo para el estudio conforme a las indicaciones proporcionadas por el fabricante. En este caso, se utilizó PDA para las bacterias *Salmonella* y *Escherichia coli*. Finalizada la preparación, los medios de cultivo junto a las cajas Petri se sometieron a un proceso de esterilización en autoclave a 121°C durante 20 minutos. Después, los matraces Erlenmeyer que contenían los medios esterilizados se mantuvieron tapados y colocados sobre una plancha calentadora a 60°C .

En cada caja Petri se distribuyeron previamente 10 ml del medio de cultivo esterilizado correspondiente a las cepas bacterianas, éstas se dejaron solidificar en una cabina de flujo laminar durante 30 minutos. Seguido, se vertieron otros 10 ml del medio de cultivo, previamente inoculados con 1 ml de la solución final de cada microorganismo sobre la capa solidificada. Se prepararon diluciones del extracto madre, a su vez éstas se impregnaron cuidadosamente en discos redondos de papel filtro y luego se colocaron en las placas. Antes de ser sometidas a incubación las cajas Petri se dejaron en un periodo de predifusión. Finalmente, las placas se colocaron en una estufa a 35°C durante 48 horas. Tras el periodo de incubación, se retiraron las cajas del ambiente controlado y se procedió a medir los diámetros de los halos de inhibición en cada una de ellas.

3.7. Variables a medirse

3.7.1. Métodos utilizados

- Se obtuvo la determinación de pH utilizando la metodología empleada por (Millán Marrero et al., 2018), teniendo en cuenta que algunos

microorganismos tienen preferencias específicas del mismo para su crecimiento en la evaluación *in vitro* de la capacidad antimicrobiana, su importancia radica en la calidad y estabilidad de productos, además de su impacto en procesos biológicos.

- Se realizó la evaluación de polifenoles totales mezclando la muestra (extracto) con el reactivo de Folin-Ciocalteu para medir la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda específica utilizando el espectrofotómetro, según lo propuesto por (García et al., 2015), además se empleó este método para determinar el rendimiento de extracción de metabolitos secundarios de los extractos de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*).
- Para realizar la evaluación de actividad antioxidante se empleó la metodología sugerida por (Kuskoski et al., 2005), para corroborar la presencia y el impacto de compuestos antioxidantes en los extractos de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), la muestra se mezcló con un reactivo específico y se mide la absorbancia en un espectrofotómetro.
- El antibiograma por difusión en discos es una técnica microbiológica utilizada para evaluar la sensibilidad de una bacteria a distintos antibióticos, se empleó la metodología sugerida por (Naveda, 2010); esta prueba es fundamental en microbiología para seleccionar el tratamiento adecuado contra infecciones bacterianas y para monitorear la resistencia a los antibióticos.
- El porcentaje de concentración mínima de inhibición se utilizó para evaluar la capacidad de una sustancia para frenar un proceso biológico o químico, siguiendo la metodología propuesta por (Naveda, 2010). Este análisis se aplica en estudios de pruebas antimicrobianas ayudando a determinar la eficacia de los extractos en la inhibición de procesos no deseados, como la proliferación microbiana o el daño oxidativo, se calcula restando el porcentaje de crecimiento de un elemento a 100 ($\% \text{ de inhibición} = 100 - \% \text{ de crecimiento}$).

3.8. Tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos se llevó a cabo utilizando el software STATGRAPHICS versión 16.1.03, aplicando un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de significancia Tukey en un diseño Completamente al Azar. Este enfoque permitió analizar la capacidad

antimicrobiana de los extractos de cáscara de plátano maduro, considerando los tipos de bacterias evaluadas y las diferentes concentraciones aplicadas.

3.9. Recursos humanos y materiales

Tabla 4

Recursos humanos y materiales para la realización del proyecto de investigación.

Recursos humanos	
Tesista: Alejandro Suarez Darwin Javier	
Tutor: Ing. Rojas Uribe Loguard Smith, Msc.	
Colaborador: Ing. Cedeño Moreira Ángel Virgilio, Msc.	
Materia prima	Reactivos
• Cáscara de plátano	• Folin-Ciocalteu • ABTS • Agua destilada • Medio de cultivo • Etanol
Equipos	Materiales (varios)
• Balanza analítica • Estufa • Espectrofotómetro UV-Visible • Molino manual • Rotavapor • Agita tubos (vortex)	• Asa estéril • Cuchillo • Cuaderno • Funda Ziploc • Material de acero inoxidable • Material de vidrio de laboratorio • Agua destilada • Recipientes de aluminio • Papel filtro • Cajas Petri • Hisopos estériles • Mechero de bunsen • Pinza estéril para discos

ELABORADO: AUTOR

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Preparación de las cáscaras de plátano maduro: Secado

El análisis de humedad de la cáscara de plátano se realiza calculando el porcentaje de humedad cada 3 horas de acuerdo en la fórmula 1, de donde se obtuvo $86,5 \pm 0,41$ % de humedad para la cáscara antes del secado; posterior al secado adquirió peso constante después de 26 horas de secado, dando un valor de humedad de $13,5 \pm 0,43$ % como se muestra en la tabla 10.

$$H = \frac{m-m1}{m} * 100 \quad (1)$$

Siendo:

H = Humedad en porcentaje de masa.

m = Masa inicial de la muestra a analizar, g.

m1 = Masa de la muestra después del secado, g.

4.1.1. Proceso de secado de las cáscaras

Tabla 9

Variación del porcentaje de humedad de cáscara de plátano maduro con el tiempo de secado ⁽¹⁾

TIEMPO (h)	$\bar{X}$	DS
0	86,5 %	$\pm 0,41$ %
3	62,2 %	$\pm 1,21$ %
6	51,9 %	$\pm 1,41$ %
9	44,6 %	$\pm 1,27$ %
12	38,3 %	$\pm 1,14$ %
15	32,2 %	$\pm 0,92$ %
18	26,7 %	$\pm 0,73$ %
21	20,4%	$\pm 0,65$ %
24	16.1 %	$\pm 0,50$ %
26	13,5 %	$\pm 0,43$ %

Nota. El porcentaje de humedad de la cáscara está dado por $\bar{X}$ = Media y DS = Desviación estándar basado en tres réplicas (n = 3); ⁽¹⁾ Condiciones de secado: 65 °C con un flujo de aire de 4,2 m/s.

ELABORADO: AUTOR

La información presentada en la Tabla 9 muestra que el contenido de humedad de las cáscaras de plátano puede reducirse de 85 % a 15 % (0,15 g de agua/g de materia seca) tras un proceso de secado en estufa a una temperatura de 65 °C y con un flujo de aire de 4,2 m/s, durante un tiempo estimado de 26 horas. Los datos indican que la mayor eliminación de humedad ocurre en las primeras 12 horas del proceso, momento en el cual la tasa de deshidratación es significativamente alta. Posteriormente, esta tasa disminuye progresivamente y el contenido de humedad se estabiliza en valores relativamente bajos hasta las 26 horas.

Tabla 10

Humedad de cáscaras de plátano maduro en materia prima fresca y seca

Materia prima	Materia prima húmeda	Materia prima seca	Tiempo total de secado
	H _f (%)	H _s (%)	Tiempo (h)
Cáscara de plátano maduro	86,5 ± 0,41 %	13,5 ± 0,43 %	26

Nota. H_f= Humedad de la cáscara fresca, antes de ingresar a la estufa; H_s = Humedad de la cáscara seca.

ELABORADO: AUTOR

4.1.2. Discusión.

Inicialmente, las cáscaras presentaban un alto contenido de humedad (86,5 ± 0,41 %), un valor característico de la materia prima fresca, que pone de manifiesto la necesidad de un proceso de deshidratación eficiente para garantizar su conservación; los resultados muestran que en las primeras 3 horas de secado la humedad disminuyó drásticamente en un 28 % (de 86,5 % a 62,2 %). Después de 26 horas de secado a una temperatura constante de 65 °C y un flujo de aire de 4,2 m/s, el contenido de humedad final se redujo significativamente a 13,5 ± 0,43 %, resultado que se asocia a lo mencionado por (Gutiérrez-Aguirre et al., 2023) en el cual se empleó el método en horno con aire caliente, logrando obtener un contenido de humedad del 8,5 ± 0,3 %.

El análisis de humedad de las cáscaras de plátano permitió evaluar la eficacia del proceso de secado al evidenciar una disminución progresiva del contenido de agua en función del tiempo. De manera notable, se confirma que las condiciones operativas empleadas fueron efectivas para alcanzar niveles adecuados de deshidratación, demostrando la idoneidad del método utilizado.

4.2. Rendimiento de extractos vegetales

4.2.1. Macerado.

El rendimiento del extracto obtenido en cada tratamiento luego de la etapa de maceración y la filtración de sólidos correspondiente se calculó de acuerdo a la ecuación 2.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad de extracto filtrado}}{\text{Cantidad de extracto macerado}} * 100 \quad (2)$$

Tabla 11

Análisis de varianza para el rendimiento del macerado de los tratamientos en estudio

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	1830,70	4	457,67	264,04	<0,0001
Error	26,00	15	1,73		
Total	1856,70	19			

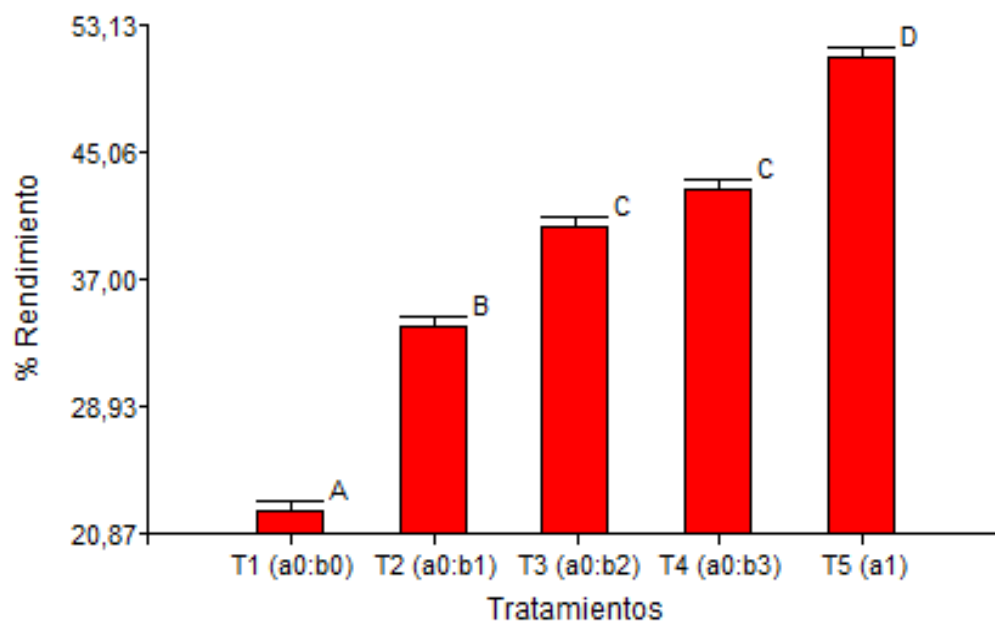
Nota. Factor A = Tipo de extracto (etanólico, acuoso), Factor B = Concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

Los resultados del análisis de varianza se muestran en la tabla 11, donde se indica el rendimiento en cada tratamiento post-maceración, se observa que en el análisis basado en un Diseño Completamente al Azar, se encontró que el tipo de extracto presentó un valor F de 264,04 con un $P < 0,0001$; lo que indica una diferencia altamente significativa entre los extractos etanólicos y acuosos. Asimismo, la concentración del extracto influyó significativamente en el rendimiento del macerado, evidenciando que las diferentes concentraciones evaluadas (96 %, 75 %, 50 %, 25 %) afectan de manera significativa el proceso.

El componente de error es bajo (1,73), lo que indica que el modelo se ajusta bien a las observaciones, estos resultados sugieren que las propiedades fisicoquímicas del solvente (alcohol o agua) y la cantidad de extracciones disponibles juegan un papel clave en la eficiencia de la maceración.

Figura 7

Efecto de los factores de estudio en el porcentaje de rendimiento del extracto macerado



En la figura 7 se evidencia el gráfico de barras que muestra el rendimiento del macerado para los diferentes tratamientos evaluados, expresado como una combinación específica de tipo de extracto (factor A) y concentración (factor B). Se observaron diferencias significativamente en el rendimiento y los tratamientos, el tratamiento T5 (a1); extracto acuoso presentó el mayor rendimiento, alcanzando un promedio de 51 %, significativamente superior a los demás tratamientos (letra D). En contraste, el tratamiento T1 (a0:b0); extracto etanólico al 96 % arrojó el menor rendimiento con un promedio de 22,33 % (letra A).

El tratamiento con extracto acuoso (a1) mostró rendimiento más alto en comparación con los extractos etanólicos (a0) independientemente de la concentración, lo que confirma el efecto significativo del factor A, como se identificó en el análisis de varianza.

4.2.2. Destilado.

El rendimiento del extracto puro de la destilación del alcohol en el rotavapor se calcula según la ecuación 3.

$$\% \text{ **Rendimiento** } = \frac{\text{Cantidad de extracto destilado}}{\text{Cantidad de extracto macerado}} * 100 \quad (3)$$

Tabla 12

Análisis de varianza para el rendimiento del extracto destilado en los tratamientos de estudio

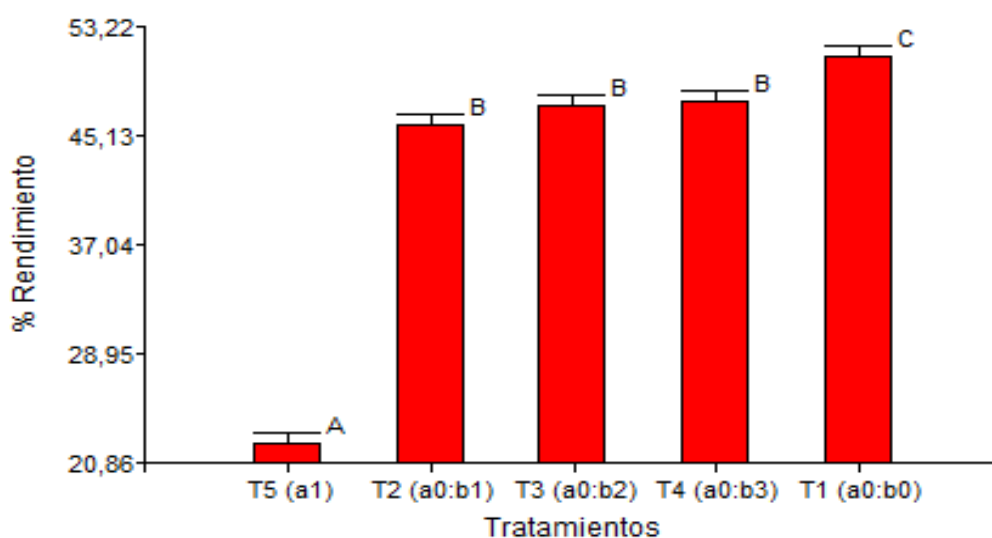
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	2162,45	4	540,61	238,51	<0,0001
Error	34,00	15	2,27		
Total	2196,45	19			

Nota. Factor A = Tipo de extracto (etanólico, acuoso), Factor B = Concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

La tabla 12 evidencia el análisis de varianza realizado para evaluar el desempeño de los extractos destilados, mostrando cómo los factores influyen en los resultados obtenidos. El análisis reveló que el tipo de extracto tuvo un efecto altamente significativo, con un valor F de 238,51 y un $P < 0,0001$; lo que indica una diferencia notable entre los extractos etanólicos y acuosos, siendo el primero más eficiente. Del mismo modo, la concentración del extracto (96 %, 75 %, 50 % y 25 %) también tuvo un impacto significativo en el rendimiento del destilado, reflejando que las distintas concentraciones influyen directamente en la cantidad de compuestos extraídos. El componente de error fue bajo, con una suma de cuadrados de 34,00 y una media cuadrática de 2,27, lo que indica que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos observados y explica la mayor parte de la variabilidad total (SC total = 2196,45).

Figura 8

Efecto de los factores de estudio en el porcentaje de rendimiento del extracto destilado



La figura 8 muestra el rendimiento porcentual de los tratamientos evaluados, resaltando las diferencias significativas entre ellos. El tratamiento T1 (a0:b0) alcanzó el valor más alto (51 %), seguido de los tratamientos T4 (a0:b3) con un valor de 47,67 %; T3 (a0:b2) alcanzó el 47,33 % y T2 (a0:b1) el 46 %; resultados similares y estadísticamente significativos (letra B). En el otro extremo, el tratamiento T5 (a1) tuvo el rendimiento más bajo (22,33 %), siendo significativamente inferior al de los otros tratamientos, esto indica que el extracto de tipo acuoso no fue efectivo para extraer los compuestos de interés en comparación con los extractos etanólicos.

Los resultados mostraron que el tipo de extracto (Factor A) influyó significativamente en el rendimiento, ya que los tratamientos con extractos etanólicos siempre fueron más efectivos que el acuoso en todas las concentraciones evaluadas. Además, el tipo de extracto y la concentración fue crucial, ya que los mayores rendimientos se obtuvieron con extractos etanólicos combinados con concentraciones medias a altas (50 % a 96 %). Este análisis destaca la importancia de elegir el solvente y la concentración adecuada para maximizar la eficiencia del proceso.

4.2.3. Discusión.

El análisis de varianza del resultado del proceso de extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano maduro (*Musa paradisiaca*) mostró que el tipo de solvente (factor A) y su concentración (factor B), tienen un efecto estadísticamente significativo en el resultado del proceso de extracción. Estudios previos como el de (Morales, 2020) han reportado que una mayor eficiencia de extracción garantiza que haya más compuestos bioactivos disponibles para inhibir *Escherichia coli* y *Salmonella*, de esta manera se afirma que es primordial utilizar extractos apropiados y optimizar las concentraciones para aumentar su efectividad. Los porcentajes de rendimiento de ambos tipos de extracto (etanólico y acuoso) variaron de 51 %, a 22,33 %; siendo el acuoso el más bajo, esto contrasta marcadamente con los resultados de la investigación de (Carrillo et al., 2011), quienes reportaron un rendimiento más bajo del extracto etanólico (41,83 %) y más alto para el extracto acuoso (51,83 %); en este estudio puede atribuirse a la mayor capacidad del etanol para solubilizar fitoquímicos no polares, como fenoles y flavonoides, que tienen propiedades antimicrobianas documentadas; estos resultados permiten analizar la eficiencia del proceso de extracción, así como su potencial impacto en la actividad antimicrobiana.

En cuanto a los resultados obtenidos para la destilación de los extractos se obtuvo que el etanólico presenta su mejor rendimiento en un 51 %, y el extracto acuoso a 22,33 %, esto se asemeja a lo publicado por (Benítez-Benítez et al., 2020) quienes en su investigación indican que los extractos etanólicos destilados presentan rendimientos entre 37,6 % y 73,81 %, dependiendo de las condiciones experimentales, así mismo, el destilado acuoso refleja valores significativamente menores que los etanólicos con variaciones, dependiendo del material vegetal y método. El tipo de extracto utilizado en la destilación fue la principal fuente de variación en el rendimiento ($F = 238,51$; $P < 0,0001$), destacando que los solventes etanólicos produjeron rendimientos significativamente mayores que los solventes acuosos. Por otro lado, los extractos acuosos mostraron rendimientos significativamente menores en todas las concentraciones evaluadas, lo que puede limitar su actividad antimicrobiana al reducir la cantidad de compuestos bioactivos disponibles, estos resultados fueron confirmados por (Malpica-Acosta et al., 2024), quienes indican que los rendimientos acuosos fueron más bajos debido a la naturaleza polar del agua y su limitada solubilidad de ciertos compuestos.

4.3. Análisis del pH en diferentes concentraciones de extractos etanólicos y acuosos

En este análisis se consideraron los siguientes valores evaluados para el pH asociados a cada factor, los valores se detallan a continuación:

Tabla 13

Análisis de varianza para el pH de los extractos en los tratamientos de estudio

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,30	4	0,08	64,75	<0,0001
Error	0,02	15	0,0012		
Total	0,32	19			

Nota. Factor A = Tipo de extracto (etanólico, acuoso), Factor B = Concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

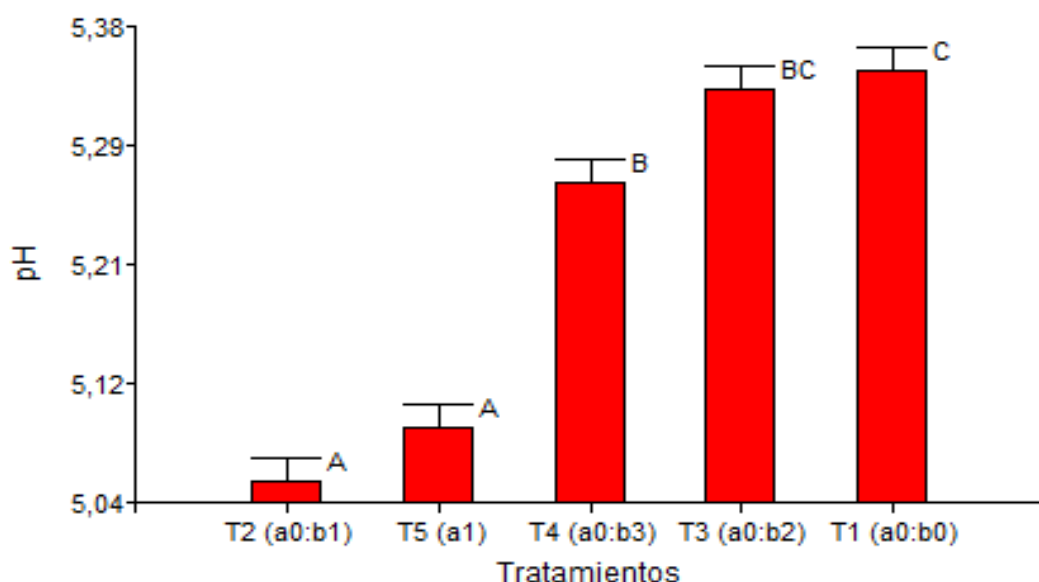
La Tabla 13 presenta los resultados del análisis de varianza para el pH de los extractos en los tratamientos evaluados. El análisis exhibió diferencias estadísticamente significativas en función del tipo de extracto, con un valor F de 64,75 y un $p < 0,0001$; estos resultados indican una diferencia notable tanto en los tipos de extractos como las diferentes concentraciones tienen un efecto significativo sobre el pH de los extractos. Asimismo, el valor obtenido para el error residual (0,02) y su coherencia con el modelo validan la precisión en la recolección

de datos y la confiabilidad de los resultados del análisis estadístico. La significancia observada en los tratamientos resalta la importancia de evaluar ambos parámetros conjuntamente para optimizar las condiciones de extracción. En particular, los resultados mostraron que el pH de los extractos no solo depende del tipo de extracto empleado, sino también de la concentración aplicada, lo cual podría estar relacionado con la solubilidad diferencial de los compuestos presentes en cada extracto.

4.3.1. Variación del pH en extractos según los tratamientos aplicados

Figura 9

Efecto de los factores de estudio en el pH de los extractos destilados



La figura 9 muestra el efecto de los factores de estudio en el pH de los extractos destilados, destacando diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos T2 (a0:b1) y T5 (a1) presentaron los valores más bajos de pH 5,05 - 5,09 respectivamente, clasificándose en el nivel de significancia "A", lo que indica una menor variabilidad entre ellos. Por otro lado, el tratamiento T4 (a0:b3) mostró un aumento significativo del pH (5,26); agrupándose en el nivel "B", mientras que el tratamiento T3 (a0:b2) presentó un valor aún mayor (5,33), situándose entre los niveles "B" y "C". Finalmente, el tratamiento T1 (a0:b0) alcanzó el valor más alto de pH (5,34), clasificándose en el nivel de significancia "C". Estos resultados muestran que la combinación de factores influye directamente en el pH del extracto, siendo la interacción entre el tipo y la concentración del extracto un factor determinante en la variación observada.

4.3.1.1. Discusión.

El análisis de varianza para los datos obtenidos reveló diferencias estadísticamente significativas en el pH de los extractos en función de los tratamientos en estudio. El hecho de que todos los factores presenten valores de $p < 0,0001$; con un valor F de 64,75 indica que tanto el extracto empleado como su concentración son determinantes en la modificación del pH del extracto final, lo cual está respaldado por investigaciones previas desarrolladas por (Spigno & De Faveri, 2007) quienes destacan la influencia de las propiedades químicas del material vegetal y del método de extracción en los resultados obtenidos.

El tipo de extracto utilizado (acuoso o etanólico) obtuvo un impacto significativo en los resultados, el extracto etanólico presentó mayor variabilidad en el pH, con valores más altos, esto podría deberse a que el etanol es más eficiente para extraer compuestos fenólicos y ligeramente ácidos, como lo sugieren trabajos de (Barreira et al., 2008). Por el contrario, el extracto acuoso presentó menor variabilidad en el pH, lo que concuerda con la estabilidad química de los compuestos extraídos según investigaciones previas de (Shahidi et al., 2003).

En cuanto a la concentración del extracto, se observó que las concentraciones más altas generaron valores de pH más altos, este resultado sugiere que una mayor proporción de solvente puede extraer compuestos ácidos en mayor cantidad, lo que está en línea con estudios que destacan cómo la polaridad del solvente y su concentración influyen en la composición química del extracto final (Spigno & De Faveri, 2007). Por otro lado, las concentraciones más bajas permitieron un aumento progresivo en el pH, este comportamiento puede explicarse por una menor extracción de compuestos ácidos, como lo han reportado autores como (Pinelo et al., 2004) quienes mencionan que los cambios en las condiciones de extracción pueden modificar la solubilidad de ciertos compuestos.

El tipo de extracto y la concentración refuerzan la necesidad de considerar ambos factores en conjunto para optimizar las características finales del extracto, este efecto interactivo es evidente en el contraste entre los tratamientos T5 (a1) y T1 (a0:b0), donde las combinaciones específicas de solvente y concentración generan diferencias marcadas en el pH. En particular, el menor valor de pH en T1 podría atribuirse a la mayor presencia de compuestos ácidos o a una menor capacidad de tamponamiento del solvente utilizado en este tratamiento, así mismo; factores como la solubilidad diferencial de los compuestos según la polaridad del solvente y la posible degradación de ciertos metabolitos durante la extracción pueden influir en esta variación.

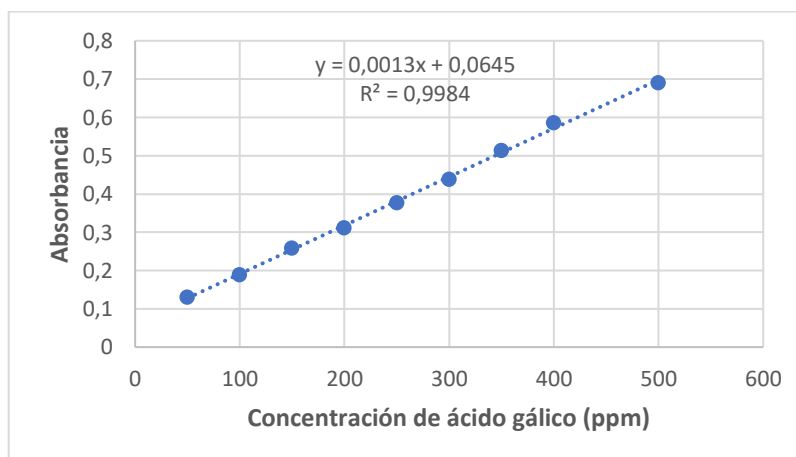
Estudios previos han demostrado que los extractos obtenidos con ciertos solventes pueden arrastrar diferentes perfiles de compuestos ácidos y básicos, afectando directamente el pH final del producto (Laouini et al., 2016). De igual manera (Barreira et al., 2008) han destacado que las interacciones entre solvente, concentración y material vegetal son cruciales para obtener resultados reproducibles y ajustados a los objetivos del proceso.

4.4. Determinación del contenido de polifenoles totales

La figura muestra la curva de calibrado correspondiente, preparada a partir de los valores de absorbancia obtenidos a una longitud de onda de 775 nm para una concentración de ácido gálico utilizada para cuantificar el contenido de polifenoles de las muestras en estudio.

Figura 10

Curva de calibración promedio para la determinación del contenido polifenólico por Folin-Ciocalteau. Concentración de 1000 ppm



A continuación, se detallan los valores obtenidos en el presente análisis tomando en cuenta el contenido de polifenoles asociados a cada factor, mismos que se detallan a continuación:

Tabla 14

Análisis de varianza para el contenido polifenólico de los tratamientos del diseño experimental

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	2106,64	4	526,66	4816,87	<0,0001
Error	1,64	15	0,11		
Total	2108,28	19			

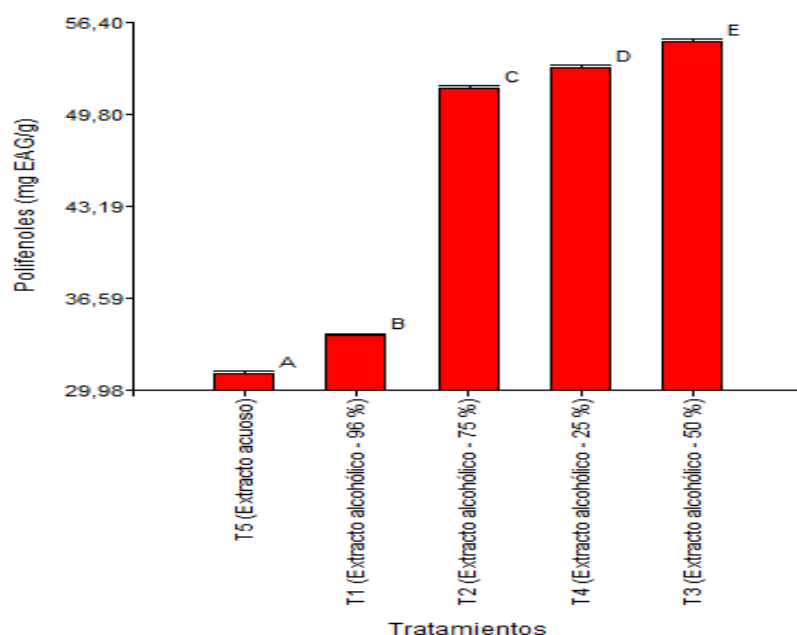
Nota. Factor A = Tipo de extracto (etanólico, acuoso), Factor B = Concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

En la tabla 14 se observa el análisis de varianza realizado sobre el contenido de polifenoles, el cual demuestra que tanto el tipo de extracto como la concentración tienen un efecto altamente significativo en los resultados. El Factor A, que corresponde al tipo de extracto (etanólico o acuoso), presenta un valor F de 4816,87 con un P-valor menor a 0,0001; esto indica que las diferencias en el contenido de polifenoles entre los extractos no son al azar, sino que son altamente relevantes desde un punto de vista estadístico. Por otro lado, el Factor B, que representa la concentración del extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %), tiene un efecto altamente significativo, lo que confirma que la concentración de los extractos influye de manera considerable en el contenido de polifenoles, así mismo los resultados obtenidos indican que existió normalidad en la toma de datos a cada uno de los tratamientos.

4.4.1. Tipo de extracto vs. Concentración de extracto

Figura 11

Contenido de polifenoles bajo la prueba de Tukey HSD ($P < 0,05$) considerando los factores A y B



Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que el contenido de polifenoles en la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en su estado inicial de maduración varió, dependiendo del solvente de extracción, se observó que la mayor concentración de polifenoles se obtuvo utilizando etanol al 50% (55,08 mg EAG/g), seguido de etanol al 25% (53,23 mg EAG/g) y etanol al 75% (51,96 mg EAG/g); la menor concentración se obtuvo en el extracto acuoso (31,26 mg EAG/g) y en el etanol absoluto al 96% (34,11 mg EAG/g). Estos valores están dentro del rango esperado para cáscaras de plátano en maduración

temprana, lo que confirma que este subproducto representa una fuente significativa de polifenoles.

4.4.1.1. Discusión.

El presente análisis evaluó el efecto del tipo de extracto (etanólico y acuoso) y la concentración (96 %, 75 %, 50 %, 25 %) sobre el contenido polifenólico, los resultados obtenidos reflejan que tanto el tipo de extracto como la concentración son factores determinantes en la cantidad de polifenoles obtenidos, aunque el tipo de extracto parece tener un impacto más significativo. Los extractos etanólicos son considerablemente más efectivos que los acuosos para la extracción de polifenoles, lo que concuerda con lo planteado por (Morales, 2020), quien menciona que esto puede atribuirse a la mayor capacidad del alcohol para romper las estructuras de la matriz vegetal y extraer compuestos fenólicos.

(Sulaiman et al., 2011) analizaron el contenido de polifenoles en ocho cultivares de plátano en Malasia y encontraron que los extractos de cáscara presentaban concentraciones superiores a los de la pulpa, con un máximo de 76,37 mg GAE/g en la variedad Raja. Aunque este valor es superior a los obtenidos en este estudio, se debe considerar que su método de extracción incluyó liofilización y extracción secuencial con solventes de diferente polaridad, lo que podría haber optimizado la recuperación de polifenoles. En este estudio, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por (Sulaiman et al., 2011) (31,26 a 55,08 mg EAG/g), lo que confirma que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) posee un contenido significativo de polifenoles en comparación con otras variedades.

De la misma manera, (Pham et al., 2022) estudiaron la influencia del estado de maduración en la concentración de polifenoles en cáscaras de *Musa paradisiaca*, reportaron que las cáscaras de plátanos en la fase de transición del verde al amarillo contenían 9,93 mg EAG/g, utilizando etanol al 50 % como solvente óptimo y un tiempo de extracción de 1,5 h a 60 °C. Comparando con este estudio, el contenido de polifenoles de las cascara de *Musa paradisiaca* fue significativamente mayor (55,08 mg EAG/g con etanol al 50 %), una de las razones es que los tiempos de extracción también fueron mayores (26 horas), en lo que sugiere que el tiempo de extracción en esta variedad presenta un mayor potencial antioxidante en su fase inicial de maduración. En contraste, los extractos acuosos presentan una extracción más limitada, lo que se observa claramente en los valores de contenido de polifenoles obtenidos en los tratamientos.

Además, (Espinosa & Santacruz, 2017) observaron una reducción progresiva del contenido fenólico con el avance de la maduración. Esto concuerda con la tendencia esperada, donde la actividad de enzimas como el polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD) degradan estos compuestos con el tiempo. Por lo tanto, los resultados del estudio refuerzan la importancia de aprovechar las cáscaras de plátano en su estado inicial de maduración, antes de que se reduzca su contenido bioactivo. Aunque el etanol al 25 % y al 75 % también mostraron buenos resultados, las concentraciones de polifenoles fueron ligeramente menores que con el etanol al 50 %, lo cual indica que el equilibrio de polaridad en la mezcla de etanol y agua es crucial para una extracción eficiente. Las concentraciones muy bajas de etanol (menor al 25 %) o muy altas (superior al 75 %) podrían no ser tan efectivas porque el etanol pierde su capacidad de solubilizar compuestos fenólicos de manera eficiente, afectando la extracción.

Los extractos acuosos y con etanol al 96 % mostraron las concentraciones más bajas de polifenoles, esto concuerda con investigaciones previas como la de (Pham et al., 2022) quienes han señalado que los extractos acuosos no son tan efectivos como los etanólicos para extraer compuestos fenólicos. Además, el etanol al 96 % podría ser demasiado concentrado, extrayendo más compuestos no fenólicos o provocando la descomposición de algunos polifenoles. En contraste se destaca que el etanol al 50 % fue el solvente más eficiente, lo que coincide con estudios previos que indican que una proporción equilibrada de agua y etanol facilita la extracción de polifenoles de distinta polaridad, de la misma manera el contenido de polifenoles en *Musa paradisiaca* es comparable al de otras variedades estudiadas en la literatura, lo que indica que esta variedad tiene un alto potencial antioxidante.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas, confirmando que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en su etapa inicial de maduración es una fuente rica en polifenoles. Además, la maduración influye en la cantidad de polifenoles, y se confirma que las cáscaras en su etapa inicial presentan mayores concentraciones, lo que respalda la importancia de su aprovechamiento temprano. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar el estado de maduración y las condiciones de extracción al evaluar el contenido fenólico en plátanos. En futuras investigaciones, sería recomendable analizar la composición específica de los polifenoles y evaluar su actividad antioxidante funcional en diferentes aplicaciones.

4.5. Determinación de la actividad antioxidante

Para el análisis de la actividad antioxidante se eligió a los mejores tratamientos en función del extracto etanólico que dió un mayor contenido de polifenoles, siendo así que los tratamientos con dicha extracción permitieron además la comparación entre los dos tipos de extracto y las concentraciones de extracción en estudio, mismos que consisten en T3 (Extracción etanólica + Concentración 50 %), T4 (Extracción etanólica + Concentración 25 %). La determinación de la capacidad antioxidante de los extractos seleccionados se realiza por un análisis bajo el método ABTS+.

Tabla 15

Análisis de varianza para la capacidad antioxidante de los tratamientos seleccionados

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	3282,76	4	820,69	42097,52	<0,0001
Error	0,29	15	0,02		
Total	3283,06	19			

Nota. Factor A = Tipo de extracto (etanólico, acuoso), Factor B = Concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

En la Tabla 15 se presenta el análisis de varianza aplicado a los tratamientos para evaluar la capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de plátano maduro, los resultados muestran que los factores analizados son altamente significativos, con un valor F de 42097,52 y un $P < 0,0001$; lo que indica que tanto el tipo de extracto como su concentración tienen un impacto sustancial en la capacidad antioxidante. La suma de cuadrados de los tratamientos ($SC = 3282,76$) confirma una diferencia significativa entre los extractos etanólico y acuoso, reflejando además un alto valor de la media cuadrática ($CM = 820,69$). Asimismo, el error residual obtenido ($SC = 0,29$; $CM = 0,02$) es bajo, lo que indica una alta precisión en los datos y refuerza la confiabilidad del modelo estadístico empleado. Finalmente, la combinación específica del tipo de extracto y la concentración influye directamente en la capacidad antioxidante.

Tabla 16*Capacidad antioxidante de los extractos seleccionados*

Extracto seleccionado	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol ET/100 g}$)
T5: (Extracción acuosa)	9,15 ^A
T4: (Extracción etanólica + Concentración 25 %)	16,70 ^B
T3: (Extracción etanólica + Concentración 50 %)	19,77 ^C
T2: (Extracción etanólica + Concentración 75 %)	28,84 ^D
T1: (Extracción etanólica + Concentración 96 %)	46,49 ^E

Los datos obtenidos en la Tabla 16 muestran los valores de capacidad antioxidante de diferentes combinaciones de extractos y concentraciones. En primer lugar, los tratamientos T5 (extracción acuosa) y T4 (extracción etanólica con concentración del 25 %) presentan valores de capacidad antioxidante de 9,15 y 16,70 $\mu\text{mol ET/100 g}$, respectivamente. Ambos comparten letras superíndices diferentes (A y B), lo que indica que sí existe una diferencia significativa entre estos dos tratamientos. Esto sugiere que, para los extractos acuosos, aumentar la concentración del 25 % mejora notablemente la capacidad antioxidante. En contraste, el tratamiento T3 (extracción etanólica con concentración del 50 %) muestra un valor aún mayor de 19,77 $\mu\text{mol ET/100 g}$, con la letra superíndice C, lo que indica una diferencia significativa respecto a los tratamientos anteriores.

Por otro lado, el tratamiento T2 (extracción etanólica con concentración del 75 %) alcanza una capacidad antioxidante de 28,84 $\mu\text{mol ET/100 g}$, asignándose la letra superíndice D, lo que sugiere que el aumento de la concentración sigue mejorando significativamente la capacidad antioxidante en los extractos acuosos. Finalmente, el tratamiento T1 (extracción etanólica con concentración del 96 %) presenta el valor más alto de capacidad antioxidante, 46,49 $\mu\text{mol ET/100 g}$, y se le asigna la letra superíndice E, indicando que es significativamente mayor que los demás tratamientos, la extracción etanólica, especialmente a concentraciones elevadas, mejora sustancialmente la capacidad antioxidante, alcanzando su punto máximo en esta combinación de tipo de extracto y concentración.

4.5.1. Discusión.

En el análisis de la capacidad antioxidante de los extractos seleccionados de cáscara de plátano maduro, se observó que tanto el tipo de extracto (etanólico vs. acuoso) como la

concentración del extracto juegan un papel fundamental en la actividad antioxidante, los resultados obtenidos en este estudio muestran una tendencia clara, donde los extractos etanólicos, especialmente a concentraciones más altas (96 %), demostraron una capacidad antioxidante significativamente mayor; este hallazgo coincide con otros estudios que han abordado la extracción de compuestos bioactivos de plantas utilizando diferentes solventes y concentraciones. Concretamente, un estudio de (Borges et al., 2017) donde investigaron la actividad antioxidante de extractos de cáscara de plátano utilizando solventes como etanol y agua, concluyeron que los extractos etanólicos presentaban una mayor concentración de polifenoles y una mayor actividad antioxidante en comparación con los extractos acuosos; este hallazgo es consistente con lo observado en este estudio, donde el extracto etanólico, particularmente a concentraciones del 75 % y 96 %, mostró valores significativamente más altos en capacidad antioxidante en comparación con los extractos acuosos. Los resultados de (Borges et al., 2017) sugieren que el etanol es un solvente más eficiente para la extracción de compuestos fenólicos, lo que está relacionado con su capacidad para disolver una mayor variedad de compuestos bioactivos presentes en las cáscaras de frutas como el plátano.

De manera similar, un estudio realizado por (Muñoz et al., 2015) sobre la actividad antioxidante de extractos de frutas tropicales utilizando diferentes concentraciones de etanol reportó que, a medida que aumentaba la concentración de etanol, también lo hacía la capacidad antioxidante de los extractos. Este patrón fue particularmente notable en concentraciones superiores al 50 %, lo que respalda los resultados de nuestro estudio, donde el tratamiento con extracción etanólica al 96 % (T1) mostró la mayor capacidad antioxidante, según (Muñoz et al., 2015), el etanol a concentraciones más altas favorece la extracción de flavonoides y otros compuestos fenólicos, que son conocidos por su actividad antioxidante.

En contraste, el extracto acuoso (T5) mostró una capacidad antioxidante significativamente menor (9,15 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$), lo que se ha reportado también en investigaciones previas, (Dos Santos & Fernández, 2014), en su estudio sobre la extracción de antioxidantes de plátano, indicaron que los extractos acuosos presentan una menor eficiencia en la extracción de compuestos antioxidantes en comparación con los extractos etanólicos, esto se debe a que el agua, aunque es un solvente polar, tiene una capacidad limitada para disolver ciertos compuestos fenólicos, lo que limita la concentración de antioxidantes presentes en el extracto. Estudios previos como el de (Duarte et al., 2020) concluyeron que la combinación de extractos etanólicos y concentraciones mayores de solvente no solo aumenta la cantidad de compuestos fenólicos, sino también la actividad antioxidante en términos de su capacidad

para neutralizar radicales libres, los resultados de este estudio también coinciden con la investigación.

4.6. Determinación de la actividad antimicrobiana

4.6.1. Ensayo de sensibilidad o antibiograma

La determinación de la actividad antimicrobiana se basa en pruebas cualitativas del espectro antimicrobiano utilizando extractos puros (sin diluir) para determinar la susceptibilidad o resistencia de los microorganismos probados al agente antimicrobiano y con base en los resultados obtener pruebas cuantitativas que brinden información sobre la inhibición, el crecimiento bacteriano, información sobre la concentración requerida del extracto. Para este propósito, elegimos el extracto con mayor contenido de polifenoles debido a que este extracto tiene una potencial actividad antimicrobiana, capaz de alterar las membranas microbianas, inhibir enzimas e interferir en el metabolismo microbiano, a diferencia de los extractos basados en capacidad antioxidante, que neutralizan o previenen radicales libres, la formación de radicales, que son moléculas altamente reactivas que pueden dañar las células y los tejidos. Según la elección, la prueba se basa en la medición de un halo inhibidor del crecimiento en la superficie de una placa de agar que contiene un medio adecuado, inoculado uniformemente con las bacterias de prueba y sobre la cual se coloca un disco (papel filtro), éste se impregna con los extractos lo que permite que el agente antimicrobiano se difunda en el medio.

Tabla 17

Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 96 % de cáscara de plátano maduro

Bacterias	Diámetro del halo de inhibición (mm)		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	19,84 ± 0,08	19,72 ± 0,17	19,15 ± 0,21
<i>Salmonella</i>	7,13 ± 0,35	6,47 ± 0,25	6,32 ± 0,15

Tabla 18

Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 96 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas

Bacterias	Bioactividad		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	3+	3+	3+
<i>Salmonella</i>	2+	2+	2+

Nota. Diámetros de los halos de inhibición: (-) < 6 mm ninguna actividad; (1+) 6-8 mm poca actividad; (2+) 8-10 mm mediana actividad; (3+) > 10 mm alta actividad. Especificaciones adoptadas de (Coronado et al., 2015)

Conforme a los resultados obtenidos en la Tabla 18, el extracto etanólico de cáscara de plátano maduro al 96 % presentó actividad antimicrobiana contra las cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella*. Se observó que la actividad del extracto varía dependiendo de la cepa utilizada, siendo más efectiva contra *Escherichia coli*, ya que presentó una alta actividad (3+) a lo largo de las tres mediciones (24, 48 y 72 horas), con diámetros de inhibición mayores a 10 mm según la Tabla 17.

En detalle, el diámetro del halo de inhibición para *Escherichia coli* fue de $19,84 \pm 0,08$ mm a las 24 horas; $19,72 \pm 0,17$ mm a las 48 horas y $19,15 \pm 0,21$ mm a las 72 horas. Estos valores indican una inhibición significativa y constante en el tiempo, lo que confirma la fuerte actividad antimicrobiana del extracto. En contraste, la actividad del extracto frente a *Salmonella* fue moderada, presentando una bioactividad clasificada como mediana (2+) a lo largo de las mediciones. Los diámetros del halo de inhibición fueron de $7,13 \pm 0,35$ mm a las 24 horas; $6,47 \pm 0,25$ mm a las 48 horas y $6,32 \pm 0,15$ mm a las 72 horas. Estos resultados indican que el extracto es menos efectivo contra *Salmonella* en comparación con *Escherichia coli*, aunque aún presenta una actividad antimicrobiana mediana.

Tabla 19

Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 75 % de cáscara de plátano maduro

Bacterias	Diámetro del halo de inhibición (mm)		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	18,53 ± 0,22	18,34 ± 0,17	17,85 ± 0,12
<i>Salmonella</i>	7,13 ± 0,35	6,47 ± 0,25	6,32 ± 0,15

Tabla 20

Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 75 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas

Bacterias	Bioactividad		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	3+	3+	3+
<i>Salmonella</i>	1+	1+	1+

Nota. Diámetros de los halos de inhibición: (-) < 6 mm ninguna actividad; (1+) 6-8 mm poca actividad; (2+) 8-10 mm mediana actividad; (3+) > 10 mm alta actividad. Especificaciones adoptadas de (Coronado et al., 2015)

Según los resultados presentados en la Tabla 20, el extracto de etanol al 75% de cáscara de plátano maduro obtuvo actividad antimicrobiana contra cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella*. Se observó que la actividad de los extractos varió dependiendo de la cepa utilizada y fue más efectiva frente a *Escherichia coli* ya que mostró alta actividad en tres mediciones (24, 48 y 72 horas) (3+) con un diámetro de inhibición mayor a 10 mm como se muestra en la Tabla 19. En concreto, el diámetro de la zona de inhibición para *Escherichia coli* fue de 18,53 ± 0,22 mm después de 24 horas, 18,34 ± 0,17 mm después de 48 horas y 17,85 ± 0,12 mm después de 72 horas. Estos valores mostraron un efecto inhibidor significativo y duradero en el tiempo, confirmando la potente actividad antimicrobiana del extracto. Por el contrario, los extractos fueron menos activos contra *Salmonella* y mostraron baja bioactividad durante las mediciones (1+). El diámetro de la zona de inhibición fue de 7,13 ± 0,35 mm después de 24 horas, 6,47 ± 0,25 mm después de 48 horas y 6,32 ± 0,15 mm después de 72 horas. En contexto el extracto fue menos eficaz para *Salmonella* que contra *Escherichia coli*, aunque todavía tenía cierta actividad antimicrobiana.

Tabla 21

Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 50 % de cáscara de plátano maduro

Bacterias	Diámetro del halo de inhibición (mm)		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	12,67 ± 0,12	12, 23 ± 0,20	11,55 ± 0,08
<i>Salmonella</i>	6,21 ± 0,15	5,77 ± 0,30	5,16 ± 0,14

Tabla 22

Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 50 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas

Bacterias	Bioactividad		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	3+	3+	3+
<i>Salmonella</i>	1+	-	-

Nota. Diámetros de los halos de inhibición: (-) < 6 mm ninguna actividad; (1+) 6-8 mm poca actividad; (2+) 8-10 mm mediana actividad; (3+) > 10 mm alta actividad. Especificaciones adoptadas de (Coronado et al., 2015)

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 22, el extracto etanólico al 50% de cáscara de plátano maduro tuvo actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli*, pero muy baja actividad frente a *Salmonella*. Se observó que el extracto fue altamente efectivo contra *Escherichia coli* y su actividad fue clasificada como alta (3+) en tres mediciones (24, 48 y 72 horas) con un diámetro de inhibición mayor a 10 mm según la Tabla 21. Específicamente, el diámetro de las zonas de inhibición de *Escherichia coli* fue de 12,67 ± 0,12 mm después de 24 horas, 12,23 ± 0,20 mm después de 48 horas y 11,55 ± 0,08 mm después de 72 horas. Aunque la actividad antimicrobiana disminuyó ligeramente con el tiempo, siguió siendo significativa, lo que indica que el extracto tuvo un efecto duradero. Por otro lado, el impacto sobre la *Salmonella* fue mínimo. Después de 24 horas, su zona de inhibición fue de 6,21 ± 0,15 mm, clasificada como de baja actividad (1+), pero después de 48 horas, la zona de inhibición disminuyó a 5,77 ± 0,30 mm, y después de 72 horas, disminuyó a 5,16 ± 0,14 mm, indicando que ya no mostraba actividad. Comparando estos resultados con los de extractos de mayor concentración, se confirmó que la eficacia del extracto de cáscara de

plátano maduro contra *Escherichia coli* se mantuvo alta incluso a una concentración del 50%, mientras que su efecto contra *Salmonella* disminuyó significativamente.

Tabla 23

Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto puro al 25 % de cáscara de plátano maduro

Bacterias	Diámetro del halo de inhibición (mm)		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	8,90 ± 0,38	7,85 ± 0,07	7,08 ± 0,31
<i>Salmonella</i>	5,43 ± 0,17	5,02 ± 0,29	4,83 ± 0,25

Tabla 24

Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto etanólico al 25 % de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas

Bacterias	Bioactividad		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	2+	1+	1+
<i>Salmonella</i>	-	-	-

Nota. Diámetros de los halos de inhibición: (-) < 6 mm ninguna actividad; (1+) 6-8 mm poca actividad; (2+) 8-10 mm mediana actividad; (3+) > 10 mm alta actividad. Especificaciones adoptadas de (Coronado et al., 2015)

Los resultados presentados en la Tabla 24 evidencian que el extracto etanólico al 25 % de cáscara de plátano maduro mostró una actividad antimicrobiana limitada, con mayor impacto sobre *Escherichia coli* y sin efecto significativo sobre *Salmonella*. En el caso de *Escherichia coli*, se observó una actividad moderada (2+) a las 24 horas, la cual disminuyó a poca actividad (1+) en las mediciones posteriores a las 48 y 72 horas, de acuerdo con los diámetros de inhibición reportados en la Tabla 23. Específicamente, los halos de inhibición para *Escherichia coli* fueron de 8,90 ± 0,38 mm a las 24 horas, reduciéndose a 7,85 ± 0,07 mm a las 48 horas y 7,08 ± 0,31 mm a las 72 horas. Esta reducción progresiva sugiere que la efectividad del extracto disminuye con el tiempo. Por otro lado, en el caso de *Salmonella*, los diámetros del halo de inhibición estuvieron por debajo de los 6 mm en todas las mediciones (5,43 ± 0,17 mm a las 24 horas; 5,02 ± 0,29 mm a las 48 horas y 4,83 ± 0,25 mm

a las 72 horas), lo que indica la ausencia de actividad antimicrobiana detectable (-) a lo largo del experimento.

Tabla 25

Diámetros del halo de inhibición para las bacterias de estudio frente al extracto acuoso de cáscara de plátano maduro

Bacterias	Diámetro del halo de inhibición (mm)		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	5,47 ± 0,20	4,79 ± 0,19	4,35 ± 0,23
<i>Salmonella</i>	4,62 ± 0,33	3,57 ± 0,25	2,8 ± 0,25

Tabla 26

Actividad antimicrobiana mostrada por el extracto acuoso de cáscara de plátano maduro frente a las cepas utilizadas

Bacterias	Bioactividad		
	24 h	48 h	72 h
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-
<i>Salmonella</i>	-	-	-

Nota. Diámetros de los halos de inhibición: (-) < 6 mm ninguna actividad; (1+) 6-8 mm poca actividad; (2+) 8-10 mm mediana actividad; (3+) > 10 mm alta actividad. Especificaciones adoptadas de (Coronado et al., 2015)

Los resultados obtenidos en la Tabla 26 muestran que el extracto acuoso de cáscara de plátano maduro no mostró actividad antimicrobiana detectable frente a *Escherichia coli* o *Salmonella* en ninguna de las mediciones realizadas. Esto se refleja en los diámetros de inhibición que se muestran en la Tabla 25, éstos son menores que el umbral mínimo de 6 mm requerido para considerarse actividad antimicrobiana, el halo de inhibición registrado para *Escherichia coli* después de 24 horas fue de 5,47 ± 0,20 mm, que disminuyó gradualmente a 4,79 ± 0,19 mm después de 48 horas y 4,35 ± 0,23 mm después de 72 horas. De manera similar, los valores de *Salmonella* fueron incluso más bajos con un diámetro de 4,62 ± 0,33 mm después de 24 horas, 3,57 ± 0,25 mm después de 48 horas y 2,8 ± 0,25 mm después de 72 horas. Estos datos indican que los extractos acuosos no tuvieron un efecto inhibitorio

significativo sobre las bacterias evaluadas, mientras que los extractos etanólicos tuvieron diferentes grados de actividad antimicrobiana a diferentes concentraciones.

4.6.1.1. Discusión.

Los resultados obtenidos mediante pruebas sensidiscos en la evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y acuosos de cáscara de plátano maduro (*Musa paradisiaca*) frente a *Escherichia coli* y *Salmonella* revelan diferencias significativas en su eficacia, esto indica que el tipo de extracto empleado para la obtención de los compuestos bioactivos juega un papel fundamental en su actividad antimicrobiana. Los extractos etanólicos al 96 %, 75 % y 50 % de cáscara de plátano maduro demostraron actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* en todas las concentraciones evaluadas, con halos de inhibición superiores a 10 mm, lo que, según (Coronado et al., 2015), indica una alta actividad antimicrobiana. En particular, el extracto al 96 % mostró un halo de inhibición de hasta 19,84 mm a las 24 horas, evidenciando un fuerte potencial antibacteriano. Estos hallazgos coinciden con los reportados en estudios como el de (Pilco et al., 2018), en los que se documentó la actividad antimicrobiana del extracto etanólico de cáscara de plátano maduro frente a diversas bacterias patógenas.

Por otro lado, la actividad frente a *Salmonella* fue menor en comparación con *Escherichia coli*, con valores de inhibición en el rango de 6 a 8 mm en los extractos etanólicos más concentrados, lo que se considera una actividad antimicrobiana baja a moderada. Esto es consistente con lo reportado en el estudio de (Morales, 2020), donde se indica que la efectividad de los extractos de cáscara de plátano puede depender tanto de la cepa bacteriana evaluada como de la concentración de los compuestos bioactivos presentes.

En cuanto a los extractos acuosos, los resultados fueron notablemente inferiores en comparación con los extractos etanólicos; los halos de inhibición para *Escherichia coli* y *Salmonella* no superaron los 6 mm en ninguna de las mediciones realizadas, lo que indica ausencia de actividad antimicrobiana según los criterios de (Coronado et al., 2015). Esta falta de eficacia podría explicarse por la menor solubilidad en agua de los compuestos antimicrobianos presentes en la cáscara de plátano, lo que también ha sido documentado en estudios como el de (Pachay & Otero, 2022). Dichos estudios concluyen que los extractos acuosos presentan menor efectividad en comparación con los etanólicos debido a la limitada extracción de metabolitos secundarios con potencial antibacteriano.

Estos resultados refuerzan la importancia del tipo de extracto en la obtención de compuestos con actividad antimicrobiana, la mayor eficacia de los extractos etanólicos podría atribuirse a su capacidad para solubilizar una amplia gama de metabolitos secundarios, como flavonoides, fenoles y alcaloides, que han sido identificados en estudios previos como responsables de la acción antimicrobiana. Además, la disminución progresiva del halo de inhibición a medida que transcurren las 72 horas sugiere una posible degradación o reducción en la concentración efectiva de los compuestos activos con el tiempo. Al comparar estos datos con los obtenidos en extractos de mayor concentración, se confirma que la reducción del porcentaje del extracto disminuye su eficacia, especialmente contra *Salmonella*, que en concentraciones más bajas no mostró inhibición. En el caso de *Escherichia coli*, aunque inicialmente hubo una respuesta positiva, esta disminuyó con el tiempo, lo que sugiere que concentraciones más bajas pueden no ser suficientes para una acción antimicrobiana prolongada. Estos resultados indican que la cáscara de plátano maduro podría ser una fuente potencial de compuestos con acción antimicrobiana, especialmente cuando se emplea un solvente adecuado como el etanol.

4.6.2. Porcentaje de concentración mínima de inhibición.

Tabla 27

Análisis de varianza para el porcentaje de inhibición de las concentraciones de extracto

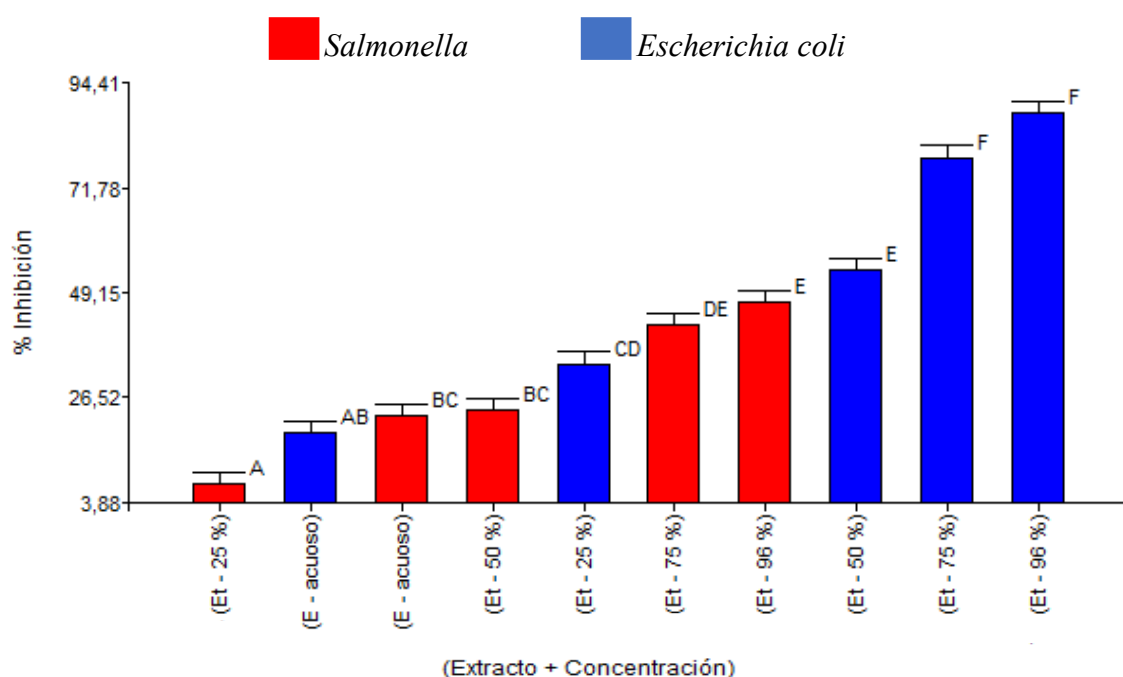
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	4056,03	4	1014,01	55,90	<0,0001
Error	272,09	15	18,14		
Total	4328,12	19			

Nota. Factor A = Tipo de extracto (etanólico, acuoso), Factor B = Concentración de extracto (96 %, 75 %, 50 %, 25 %).

La Tabla 27 presenta los resultados del análisis de varianza para la variable porcentaje de concentración mínima de inhibición en función de los tratamientos en estudio, se observa que existió una diferencia significativa con un valor F de 55,90 y un p-valor < 0,0001; esto indica que ambas variables de los tratamientos influyeron significativamente en el porcentaje de inhibición. Estos resultados destacan la importancia de considerar tanto el tipo de extracto como su concentración para optimizar la actividad inhibitoria, ya que su combinación genera efectos diferenciados en la respuesta obtenida.

Figura 12

Porcentaje de inhibición frente a Escherichia coli y Salmonella a partir de concentraciones de extractos etanólicos y acuoso



De acuerdo con la gráfica, se observa que el porcentaje de inhibición aumenta conforme se incrementa la concentración del extracto, evidenciando una relación directa entre ambos factores. Los tratamientos T6 y T7, con las concentraciones más altas (96 % y 75 %), presentan los valores de inhibición más elevados, destacándose particularmente el tratamiento con extracto etanólico al 96 % (T6), que alcanza el mayor porcentaje de inhibición 87,78 %. Por otro lado, el tratamiento con la concentración más baja fue el tratamiento etanólico al 25 % (T4), el cual obtuvo un valor de 8 %, muestra una menor capacidad inhibitoria, lo que sugiere que, a bajas concentraciones, la eficacia del extracto se reduce significativamente. Además, se aprecia que el tipo de extracto influye en la inhibición, pues los tratamientos con extracto etanólico (*Escherichia coli*) tienden a mostrar una mayor actividad inhibitoria en comparación con los de extracto acuoso (*Salmonella*) en la mayoría de las concentraciones evaluadas. Estos resultados indican que el tipo y la concentración del extracto son factores determinantes en la capacidad antimicrobiana, siendo más efectiva a concentraciones elevadas; esto sugiere que una mayor cantidad de compuestos bioactivos en el extracto potencia su acción inhibitoria sobre el crecimiento microbiano.

4.6.2.3. *Discusión.*

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que tanto el tipo de extracto como su concentración son factores determinantes en la capacidad inhibitoria sobre el crecimiento bacteriano; las concentraciones más altas de extracto, especialmente al 96 %, presentaron los mayores porcentajes de inhibición, lo que indica una relación directa entre la cantidad de extracto y su eficacia antimicrobiana. De acuerdo con los resultados previamente mencionados sobre inhibición, se determinó que *Escherichia coli* es más vulnerable en comparación con *Salmonella*, debido a aspectos como su fisiología y su reacción ante los compuestos bioactivos presentes en el extracto, según las investigaciones de (González & Otero, 2019) y (Marchetti et al., 2011), en términos de fisiología y características genéticas; *Escherichia coli* puede ser más proclive a ser afectada porque presenta una capa de peptidoglicano más delgada en su pared celular, además de exhibir niveles superiores de porinas en la membrana externa, lo que facilita la entrada de agentes antimicrobianos en su interior. En contraste, *Salmonella* cuenta con una membrana externa más robusta y compacta, sirviendo como una barrera más eficaz contra sustancias extrañas. Adicionalmente, esta bacteria presenta mecanismos de defensa como bombas de eflujo que sacan toxinas de la célula o cambios estructurales que evitan que los compuestos antimicrobianos se adhieran.

Los extractos etanólicos mostraron una mayor capacidad inhibitoria en comparación con los extractos acuosos en la mayoría de las concentraciones evaluadas, este resultado es consistente con investigaciones previas que han reportado que los solventes orgánicos, como el etanol, pueden extraer una mayor cantidad de compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas. El estudio propuesto por (Mosquera, 2018) sobre extractos etanólicos demostró que concentraciones al 96 % presentaban una inhibición significativa contra bacterias como *Escherichia coli*, mientras que concentraciones al 75 % eran más efectivas frente a *Salmonella*. De manera similar, otra investigación propuesta por (Jaramillo, 2019) acerca del extracto hidroalcohólico reveló que concentraciones elevadas durante 24 horas presentaban el mayor porcentaje de inhibición.

El mecanismo de acción de los compuestos presentes en los extractos etanólicos podría estar relacionado con su mayor solubilidad en este medio, permitiendo la extracción de metabolitos secundarios como fenoles y flavonoides, los cuales han demostrado poseer actividad antimicrobiana (Mata-Balderas et al., 2023). En contraste, los extractos acuosos

pueden contener una menor concentración de estos compuestos debido a su menor afinidad por el agua, lo que explicaría la menor eficacia observada en este estudio. Además, los resultados evidenciaron que las concentraciones más bajas del extracto (25 %) presentaron una actividad inhibitoria significativamente reducida, lo que indica que la eficacia del extracto depende de la concentración de compuestos bioactivos presentes en la muestra. Este hallazgo coincide con investigaciones previas que han reportado una disminución de la actividad antimicrobiana en concentraciones más bajas, probablemente debido a una menor disponibilidad de moléculas activas para afectar el crecimiento bacteriano.

Así mismo, los compuestos bioactivos hallados en el extracto de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) pueden tener un impacto similar, ya que basados en investigaciones anteriores, como la de (Reddy et al., 2008); éstos evidenciaron que la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides en los extractos de plantas aumenta su eficacia antimicrobiana. Estos compuestos fenólicos que se encuentran en el extracto son particularmente efectivos contra *Escherichia coli*, puesto que poseen la capacidad de dañar la membrana celular y alterar funciones cruciales. Además, la presencia de ácidos orgánicos puede generar un medio ácido que no favorece su proliferación, esta afirmación se respalda con el estudio de (Takó et al., 2020), donde se indicó que los extractos que son ricos en polifenoles pueden infiltrarse en la membrana externa de *Escherichia coli*, interfiriendo en la síntesis de proteínas y en el ADN de la bacteria. De forma adicional, la resistencia que se ha observado en extractos acuosos, incluso frente a altas concentraciones, según lo indicado por (Spector & Kenyon, 2012), podría ser atribuida a mecanismos de adaptación tales como cambios en sus rutas metabólicas que disminuyen la efectividad de los compuestos bioactivos que actúan como agentes antimicrobianos en este extracto.

Los hallazgos de este estudio refuerzan la idea de que la concentración y el tipo de extracto influyen significativamente en la actividad antimicrobiana, lo que concuerda con investigaciones previas en las que extractos etanólicos han mostrado una mayor eficacia en comparación con los acuosos. Estos resultados pueden contribuir al desarrollo de alternativas naturales para el control de microorganismos patógenos, con aplicaciones potenciales en la industria alimentaria.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se lograron obtener extractos vegetales a partir de la cáscara de plátano maduro (*Musa paradisiaca*) mediante el método de maceración con agitación y posterior rotavaporado, se determinó que el extracto etanólico presentó un mayor rendimiento en comparación con el extracto acuoso, alcanzando valores promedio del 53,32 % en maceración y 53,41 % en destilación. Estos resultados resaltan la importancia del procedimiento de extracción y la influencia del solvente en la eficiencia de recuperación de compuestos bioactivos. Así, la selección adecuada de la técnica y la proporción de solvente se presentan como factores clave para optimizar la extracción de metabolitos secundarios de origen vegetal.
- Las pruebas de actividad antimicrobiana mediante la técnica de sensidiscos permitieron evaluar la eficacia de los extractos etanólico y acuoso frente a *Escherichia coli* y *Salmonella*, se observó que el extracto etanólico a 96 %, 75 % y 50 % mostró una mayor capacidad inhibitoria contra *Escherichia coli*, con halos de inhibición superiores a 10 mm, mientras que frente a *Salmonella* la actividad antimicrobiana fue menor, con valores de inhibición entre 6 y 8 mm en los extractos más concentrados, clasificándose como actividad baja a moderada. En contraste, el extracto acuoso mostró una inhibición notablemente inferior, sin superar los 6 mm en ninguna de las mediciones, lo que indica una ausencia significativa de actividad antimicrobiana; estos hallazgos respaldan el potencial del extracto etanólico de *Musa paradisiaca* como fuente de compuestos antimicrobianos con aplicaciones potenciales en el control de microorganismos patógenos.
- La evaluación *in vitro* confirmó que el extracto etanólico de cáscara de plátano posee actividad antimicrobiana significativa contra *Escherichia coli* y, en menor medida, contra *Salmonella*. El extracto etanólico al 96 % mostró los mayores halos de inhibición, con un promedio de $19,15 \pm 0,21$ mm para *Escherichia coli* y $6,32 \pm 0,15$ mm para *Salmonella*. Sin embargo, la capacidad inhibitoria disminuyó progresivamente con la reducción de la concentración de etanol (75 %, 50 %, 25 %). Aunque el extracto acuoso también presentó cierta actividad antimicrobiana, esta fue considerablemente menor en comparación con el extracto etanólico. El análisis de varianza confirmó diferencias significativas en el porcentaje de inhibición entre los extractos evaluados, reforzando la idea de que los compuestos bioactivos presentes en el extracto etanólico podrían ser utilizados en el desarrollo de estrategias antimicrobianas más seguras y naturales para la industria alimentaria.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de los diferentes métodos de extracción, como la maceración y la destilación, con un enfoque en la optimización de variables clave, incluyendo la proporción solvente/sólido, el tiempo y la temperatura de extracción.
- Dado que el extracto etanólico mostró un mayor potencial, se sugiere experimentar con distintas concentraciones de etanol para identificar la proporción óptima que maximice la extracción de compuestos bioactivos y su actividad antimicrobiana.
- Aunque se evaluó el contenido de polifenoles, es fundamental realizar un análisis más detallado de la composición química de los extractos, identificando y cuantificando los principales compuestos bioactivos, como flavonoides y taninos; esto permitiría establecer una correlación más precisa entre la composición química y la actividad antimicrobiana del extracto.
- Dado que este estudio se enfocó en *Escherichia coli* y *Salmonella*, se recomienda ampliar el espectro de microorganismos analizados, incluyendo otras bacterias Gram-positivas y Gram-negativas de interés en la industria alimentaria, así como hongos y levaduras.
- Antes de considerar la aplicación de los extractos de cáscara de plátano en la industria alimentaria, es esencial realizar estudios de toxicidad, tanto *in vitro* como *in vivo*, para garantizar su seguridad y confirmar su viabilidad para el consumo humano.
- Se sugiere llevar a cabo un análisis costo-beneficio de la producción de extractos de cáscara de plátano, considerando factores como la disponibilidad de materia prima, el costo de los solventes, el equipo requerido y el consumo energético. Asimismo, se recomienda realizar un análisis de ciclo de vida para evaluar la sostenibilidad ambiental del proceso.
- Finalmente, se propone un estudio comparativo que evalúe la eficacia de los extractos de cáscara de plátano frente a los conservantes sintéticos comúnmente utilizados en la industria alimentaria; este análisis sería clave para determinar su viabilidad como una alternativa natural y competitiva.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

- Alarcón, D. S., & Ojeda, R. (2018). Virus: pequeños gigantes que dominan el planeta. *Ciencia*, 69.
- Amaguaña, F. J., & Churuchumbi, E. (2018). *Estandarización fitoquímica del extracto de caléndula (Calendula officinalis)*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (Musa Paradisiaca). *Revista Chilena de Nutrición*, 43(4), 394–399. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>
- Armenta, S., Garrigues, S., & de la Guardia, M. (2008). Green Analytical Chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 27(6), 497–511. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2008.05.003>
- Arruda, H. S., Neri-Numa, I. A., Kido, L. A., Maróstica Júnior, M. R., & Pastore, G. M. (2020). Recent advances and possibilities for the use of plant phenolic compounds to manage ageing-related diseases. *Journal of Functional Foods*, 75, 104203. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.104203>
- Arteaga, F. J. (2015). *Origen y evolución del banano*.
- Ayala, Y., Rojas, A., & Lombana, Y. (2011, May 6). *La química del plátano: Composición química*.
- Barranco, S. M. (2004). Búsqueda de compuestos antimicrobianos en *Heterotheca inuloides*, *Gnaphalium oxyphyllum*, *Passiflora incarnata*, *Rosmarinus officinalis* y *Ruta graveolens*. *Universidad de Las Américas Puebla*.
- Barreira, J. C. M., Ferreira, I. C. F. R., Oliveira, M. B. P. P., & Pereira, J. A. (2008). Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit. *Food Chemistry*, 107(3), 1106–1113. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.09.030>
- Bendicho, C., De La Calle, I., Pena, F., Costas, M., Cabaleiro, N., & Lavilla, I. (2012). Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 31, 50–60. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2011.06.018>

- Benítez-Benítez, R., Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A., Pérez Pacheco, N. O., Álvarez Sandoval, J. H., & Giraldo Aristizabal, C. I. (2020). Obtención y rendimiento del extracto etanólico de dos plantas medicinales. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(1), 31–40. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3597>
- Blasco López, G., & Gómez Montaña, F. J. (2014). *Propiedades funcionales del plátano (Musa sp)*.
- Boligon, A. A. (2014). Technical evaluation of antioxidant activity. *Medicinal Chemistry*, 4(7). <https://doi.org/10.4172/2161-0444.1000188>
- Borges, Minatel, I. O., Ferreira, M. I., Gomez, H. A. G., Chen, C.-Y. O., & Lima, G. P. (2017). Phenolic compounds: functional properties, impact of processing and bioavailability. In *Phenolic Compounds - Biological Activity*. InTech. <https://doi.org/10.5772/66368>
- Borges, P., Rodríguez, J. L., Vives, Y., & Roncal, E. (2016). Estudio de conservación de un extracto alcohólico de cúrcuma. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26(1), 18.
- Carrasco, Z., Renato, I., Lozano, C., Zúñiga Carrasco Av. Tecnológico Mz, R., del Carmen, P., de Solidaridad, M., & Roo Dirección, Q. (2017). Enfermedades transmitidas por los alimentos: una mirada puntual para el personal de salud. In *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* (Vol. 37, Issue 3).
- Carrillo, M. L., Castillo, L. N., & Mauricio, R. (2011). Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos de propóleos de la huasteca potosina (México). *Información Tecnológica*, 22(5), 21–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000500004>
- Carrión, A. V., & García, C. R. (2010). *Preparación de extractos vegetales*. Universidad de Cuenca.
- Casallas, L. F. (2010). Evaluación del análisis fisicoquímico del banano común (musa sapientum l) transformado por acción de la levadura Candida guilliermondii. *Pontificia Universidad Javeriana*.
- Castillo-Henríquez, L., Alfaro-Aguilar, K., Ugalde-Álvarez, J., Vega-Fernández, L., de Oca-Vásquez, G. M., & Vega-Baudrit, J. R. (2020). Green synthesis of gold

- and silver nanoparticles from plant extracts and their possible applications as antimicrobial agents in the agricultural area. In *Nanomaterials* (Vol. 10, Issue 9, pp. 1–24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nano10091763>
- Cevallos, B. (2018). *El origen del banano*.
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2010.11.023>
- Coronado, W., González, L., & D'Armas, H. (2015). *Tamizaje fitoquímico y actividad antibacteriana preliminar de los extractos de la macroalga*. 27, 61–66.
- Cuevas, J. A. (2016). Los hongos: héroes y villanos de la prosperidad humana. *Revista Digital Universitaria*, 17. <http://www.revista.unam.mx/vol.17/num9/art69/>
- Da Porto, C., Porretto, E., & Decorti, D. (2013). Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1076–1080. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2012.12.002>
- De Los Ángeles, M., Contreras, S., Flores, T. G., Del Rosario, T., Talavera, A., Evangelista Martínez, Z., Aracely, N., & López, P. (2017). *¿Qué son los microbios?*
- Díaz, M. (2016). *Propiedades del plátano*. HFE Life.
- Dos Santos, L., & Fernández, A. (2014). Enseñanza del enlace químico desde una perspectiva situación-problema. *Formación Universitaria*, 7(6), 45–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062014000600006>
- Duarte, A. S., Jiménez-Forero, J. A., Pineda-Insuasti, J., González-Trujillo, C. A., & García-Juárez, M. (2020). Extraction of bioactive substances from *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) by dynamic maceration. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 61–74. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.72409>
- Ehiowemwenguan, *, Emoghene, & Inetianbor, *. (2014). Antibacterial and phytochemical analysis of banana fruit peel. In *IOSR Journal of Pharmacy* (Vol. 4, Issue 8). www.iosrphr.org

- Espinosa, A., & Santacruz, S. (2017). *Phenolic compounds from the peel of Musa cavendish, Musa acuminata and Musa cavandanaish*.
- FDA. (2018). Los 14 patógenos principales transmitidos por los alimentos de seguridad alimentaria para futuras mamás. In *FDA*.
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu. *Etsiamn*.
- García Martínez, E. M., Fernández Segovia, I., & Fuentes López, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/52056>
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370–1373. <https://doi.org/10.1021/jf048396b>
- Gonzales, A. A. (2004). *Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2800>
- González, C., & Otero, M. (2019). *Microbiota nativo del tracto reproductor bovino (TRB): Caracterización de cepas de Escherichia Coli patogénicas y sensibilidad frente a extractos vegetales*.
- Google Maps. (2023). *Universidad Técnica Estatal de Quevedo - Campus “La María.”* Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES). <https://maps.app.goo.gl/4nX5qXaHniCDZRSp8>
- Guevara, T. L. (2011). *Elaboración y determinación de eficacia in vivo de un gel para el acné a base de calaguala (Campyloneurum amphostenon)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gutiérrez-Aguirre, Y., Ozuna-López, C., Abraham-Juárez, Ma. D. R., Acosta-Castillo, M. G. L., Rocha-Mendoza, M. A., & Mares-Mares, E. (2023). Diseño de pretratamientos antioxidantes para el secado de cascara de plátano con infrarrojo y aire caliente. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1). <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.106>

- Hernández, G. I., & Meléndez, M. A. (2010). *Propuesta para la implementación de buenas prácticas de manufactura de alimentos preparados en sección de cocina en el Mercado Municipal San Miguelito*. Universidad de El Salvador.
- Infoagro. (2005). *El cultivo del plátano (banano)*.
- INIFAP. (2021). *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos*.
- INTA. (2016). *Ficha del cultivo del banano*.
- ISPCH. (2016). *Salmonella spp.*
- Jaramillo, A. S. (2019). *Efecto inhibitorio del extracto hidroalcohólico de allium sativum (ajo) a diferentes concentraciones sobre streptococcus mutans y porphyromonas gingivalis*.
- Kuklinski, C. (2003). *Farmacognosia* (Editorial OMEGA S.A).
- Kuskoski, M., Asuero, A., Troncoso, A., & Mancini, J. (2005). *Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos*.
- Laouini, S. E., Berra, D., & Ouahrani, M. (2016). *Solvent pH extraction effect on phytochemical composition and antioxidant properties of Algerian Matricaria Pubescens*. <http://jprsolutions.info>
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Hernández, C., González-Aguilar, G. A., Basilio-Heredia, J., Lizárraga-Velázquez, C. E., Hernández, C., González-Aguilar, G. A., & Basilio-Heredia, J. (2006). Propiedades antioxidantes e inmunoestimulantes de polifenoles en peces carnívoros de cultivo. *CienciaUAT*, 12(2), 127–136. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100127&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- López, G., & Gómez, F. (2014). Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). *Facultad de Nutrición Xalapa, Universidad Veracruzana*, 1–5. www.uv.mx/rm
- Lucas, J. R., Salazar, E. P., Eslava, C., Alvarado, D., & Morales, S. (2016). Contaminación por Escherichia Coli Shigatoxigénica en puestos de expendio de carne de pollo en un distrito de Lima. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 27(3), 618–625. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i3.12000>

- Ly, J. (2004). *Bananas y plátanos para alimentar cerdos: aspectos de la composición química de las frutas y de su palatabilidad* (Vol. 11).
<https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/BANANAS%20Y%20PLATANOS%20PARA%20ALIMENTAR%20CERDOS%20ASPECTOS%20DE%20LA%20COMPOSICION%20QUIMICA%20DE%20LAS%20FRUTAS%20Y%20DE%20SU%20PALATABILIDAD.pdf>
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (1993). *Biología de los Microorganismos* (M. M. Romo, Ed.).
- Malpica-Acosta, S. B., Acosta-Osorio, A. A., Benedito-Fort, J. J., & Castillo-Zamudio, R. I. (2024). Efecto de tres métodos de extracción en el rendimiento, actividad antioxidante, fenoles totales y estabilidad de extractos de hojas de *Plectranthus amboinicus*. *CienciaUAT*, 91–106.
<https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i2.1797>
- Marchetti, M., Errecalde, J., & Mestorino, N. (2011). Resistencia bacteriana a los antimicrobianos ocasionada por bombas de eflujo. Impacto en la multirresistencia. *Analecta Vet*, 31(2), 40–53.
- Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-Ávila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C. N., & Teixeira, J. A. (2011). Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances*, 29(3), 365–373.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2011.01.008>
- Mata-Balderas, | J M, Rocha-Estrada, | A, Salcedo Martínez, | S M, Cruz-Hernández, | P, & Ortega-Nieblas, | M. (2023). Polibotánica. *Instituto Politécnico Nacional*, 17.
- Millán Marrero, F. C., Prato, J. G., La Cruz, Y., & Sánchez, A. (2018). Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost. *Revista Colombiana de Química*, 47(2).
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67338>
- Mokbel, M. S., & Hashinaga, F. (2005). Antibacterial and antioxidant activities of banana (Musa, aaa cv. cavendish) fruits peel. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 1(3), 125–131.
<https://thescipub.com/pdf/ajbbbsp.2005.125.131.pdf>

- Morales, A. R. (2020). *Evaluación in vitro de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólico y acuoso de la cáscara de plátano (Musa paradisiaca L.) frente a Propionibacterium acnés para uso en la elaboración de un gel antiacné* [Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18804>
- Moreira, K. (2013). *Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (musa paradisiaca) y plátanos (musa sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo humano*. Universidad de Guayaquil.
- Mosquera, N. D. (2018). *Efecto inhibitorio del extracto etanólico del schinus molle a diferentes concentraciones frente a streptococcus mutans y porphyromonas gingivalis*.
- Muñoz, W., Chávez, W., Pabón, L. C., Rendón, M. R., Patricia-Chaparro, M., & Otálvaro-Álvarez, Á. M. (2015). Extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante a partir de Champa (Campomanesia lineatifolia). In *Revista CENIC Ciencias Químicas* (Vol. 46).
- Nan, W., Kuang, F., Yu-Jie, F., Yuan-Gang, Z., Fang-Rong, C., Yung-Husan, C., Xiao-Lei, L., Yu, K., Wei, L., & Cheng-Bo, G. (2009). Antioxidant activities of extracts and main components of pigeonpea [Cajanus cajan (L.) Millsp.] leaves. *Molecules*, 14(3), 1032–1043. <https://doi.org/10.3390/molecules14031032>
- Naveda, G. F. (2010). *Establecimiento de un proceso de obtención de extracto de ruda (Ruta graveolens), con alto contenido de polifenoles*. Escuela Politécnica Nacional.
- Niamah, A. K. (2015). *Determination, identification of bio active compounds extracts from yellow banana peels and used in vitro as antimicrobial*.
<https://www.researchgate.net/publication/316841793>
- OMS. (2020). *Niños menores de 5 años representan casi un tercio de las muertes por enfermedades de transmisión alimentaria*. [who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety#:~:text=Salmonella%2C%20Campylobacter%20y%20Escherichia%20coli,vómitos%2C%20dolores%20abdominales%20y%20diarrea](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety#:~:text=Salmonella%2C%20Campylobacter%20y%20Escherichia%20coli,vómitos%2C%20dolores%20abdominales%20y%20diarrea).

- Ortiz Hernández, F., Privada Antenor Orrego Trujillo, U., Libertad PERÚ, L., & Espinoza Salcedo, M. V. (2021). Antibacterial effect of *Musa acuminata* (Musaceae) against *Enterococcus faecalis* ATCC 29212. *Arnaldoa*, 28(1), 125–138. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.281.28107>
- Pachay, N. A., & Otero, V. O. (2022). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de películas comestibles a base de harina de cáscara de plátano y extracto de cascara de CCN-51. *Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí*. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/4162>
- Padam, B. S., Tin, H. S., Chye, F. Y., & Abdullah, M. I. (2014). Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 51, Issue 12, pp. 3527–3545). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0861-2>
- PAHO. (2017). *Análisis de peligro y puntos críticos de control (HACCP)*. <https://www3.paho.org/hq/dmdocuments/2017/food-safety-hacpp-cha-analisis-peligros-puntos-criticos-control.pdf>
- Pardo Zapata, J. (2002). *Patentabilidad de los extractos vegetales*.
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. In *Bolivian Journal of Chemistry* (Vol. 31, Issue 2). <http://www.bolivianchemistryjournal.org>, <http://www.scribd.com/bolivianjournalofchemistry>
- Pérez, T. (2009). *Obtención de extractos a partir de plantas medicinales*.
- Pham, T. B. N., Nguyen, V. M., Pham, N. T. D., Tran, T. T., & Pham, T. N. (2022). Effects of ripeness and extraction conditions on the content of phenolic compounds in banana peels (*Musa paradisiaca* L.). *Food Research*, 6(1), 154–163. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(1\).152](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(1).152)
- Pilco, G., Borja, D., Goetschel, L., Andrade, P., Irazabal, J., Vargas-Jentzsch, P., Guerrero, J., Rueda, V., & Ramos, L. (2018). Caracterización bromatológica y evaluación de la actividad antimicrobiana en cáscara de banano Ecuatoriano (*Musa paradisiaca*). *UTE*, 2, 48–58. <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

- Pinelo, M., Rubilar, M., Sineiro, J., & Núñez, M. J. (2004). Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food Chemistry*, 85(2), 267–273.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2003.06.020>
- Pokorny, J., Gordon, M., & Yanishlieva, N. (2004). *Antioxidantes de los alimentos: Aplicaciones prácticas* (ACRIBIA).
- Pokorny, J., Vanishlieva, N., Gordon, M., & Aramayona, J. (2005). *Antioxidantes de los alimentos: aplicaciones prácticas* (ACRIBIA S.A.).
- Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. (2004). *Microbiología (Quinta edición)*. McGraw-Hill.
- Ramirez, L. S., & Marin, D. (2009). Metodologías para evaluar in vitro la actividad antibacteriana de compuestos de origen vegetal. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 15.
- 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 Simulación y Laboratorio*, 3, 1–45. www.ecorfan.org,
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237.
[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reddy, B. S., Boreddy Purushotham Reddy, Sapireddy Veer Raghavulu, Sistla Ramakrishna, Y., & Venkateswarlu, P. V. D. (2008). Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of *Soymida febrifuga* leaf extracts. *Phytotherapy Research*, 22, 943–947.
- Rincón, A. M., Pérez De R, N., Bou Rached, L., Romero, A., Bucarito, L. C., & Padilla, F. (2011). *Métodos para la determinación de la actividad antioxidante de vegetales*.
- Romero, T. (2017). *Caracterización bromatológica de la cáscara de banano (Musa paradisiaca) y posterior extracción e identificación de la fracción con mayor actividad antimicrobiana*.

- Rosales, O. L., Agama Acevedo, E., Aguirre Cruz, A., Bello Pérez, L. A., Dufour, D., & Gibert, O. (2014). Evaluación fisicoquímica de variedades de plátanos (*musa* sp.) de cocción y postre. In *Agrociencia* (Vol. 48).
- Sánchez, F. (2006). *II Segundo congreso internacional de plantas medicinales y aromáticas*.
- Schilder, W. H., Tanumihardja, E., Leferink, A. M., van den Berg, A., & Olthuis, W. (2020). Determining the antioxidant properties of various beverages using staircase voltammetry. *Heliyon*, 6(6), e04210.
<https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04210>
- Shahidi, F., Desilva, C., & Amarowicz, R. (2003). Antioxidant activity of extracts of defatted seeds of niger (*Guizotia abyssinica*). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(5), 443–450. <https://doi.org/10.1007/S11746-003-0718-9>
- Sharapin, N., Machado, L., Souza, E., Macedo, E., Rocha, E., & López, J. M. (2000). *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos* (R. Pinzón, Ed.; Ciencia y Tecnología).
- Shrinet, K., Singh, R. K., Chaurasia, A. K., Tripathi, A., & Kumar, A. (2021). Bioactive compounds and their future therapeutic applications. *Natural Bioactive Compounds: Technological Advancements*, 337–362.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820655-3.00017-3>
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis* y *Quercus sideroxyla*. *Maderas. Ciencia y Tecnología, ahead*, 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2016005000061>
- Spector, M. P., & Kenyon, W. J. (2012). Resistance and survival strategies of *Salmonella enterica* to environmental stresses. *Food Research International*, 45(2), 455–481. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.06.056>
- Spigno, G., & De Faveri, D. M. (2007). Antioxidants from grape stalks and marc: Influence of extraction procedure on yield, purity and antioxidant power of the extracts. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 793–801.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.11.020>

- Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. A. B., Supriatno, & Ooi, K. L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.04.005>
- Takó, M., Kerekes, E. B., Zambrano, C., Kotogán, A., Papp, T., Krisch, J., & Vágvölgyi, C. (2020). Plant phenolics and phenolic-enriched extracts as antimicrobial agents against food-contaminating microorganisms. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>
- Tecnofarma. (2013). Extracción. *Universidad Nacional de La Patagonia San Juan Bosco*.
- Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Carmen Bartolomé-Camacho, M., Martínez-Flores, H.-E., & García-Pérez, M.-E. (2016). *Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas Polyphenols: antioxidant and toxicological properties*.
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2019). Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*, 33–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>

CAPÍTULO VII
ANEXOS

Anexo 1

Manejo poscosecha



Recepción de materia prima (*Musa paradisiaca*)



Lavado de plátanos maduros



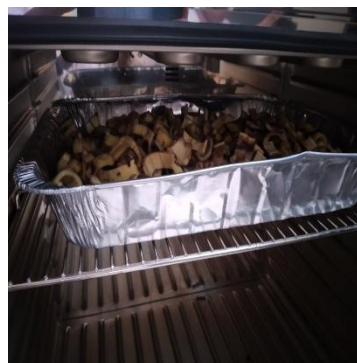
Pesado de cáscaras

Anexo 2

Preparación de las muestras



Troceado de cáscaras



Secado (65° C X 26 horas)



Muestras secas



Molido



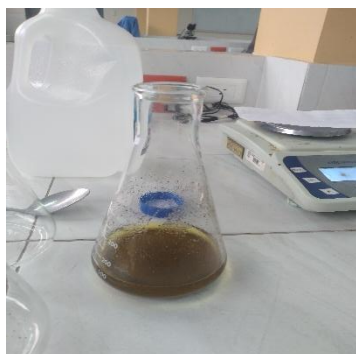
Pesado de cáscaras molidas



Almacenado (4° C)

Anexo 3

Extracción de compuestos bioactivos



Homogeneización de mezcla



Medición grados de etanol



Fermentación (48 horas)



Filtración



Destilación por rotavapor
(115 rpm, 61 °C, 45 minutos)



Extractos obtenidos a
diferentes concentraciones

Anexo 4

Análisis del contenido de polifenoles



Preparación de solución
(carbonato de sodio)



Preparado de disoluciones
patrón de ácido gálico



Adición de agua destilada
en la muestra



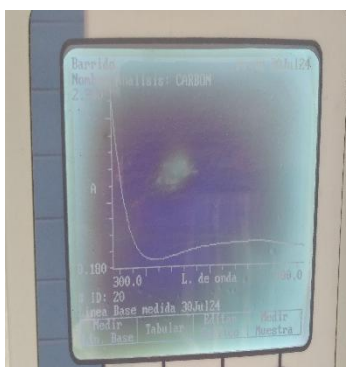
Adición de reactivo de Folin-Ciocalteu



Adición de la disolución de carbonato sódico



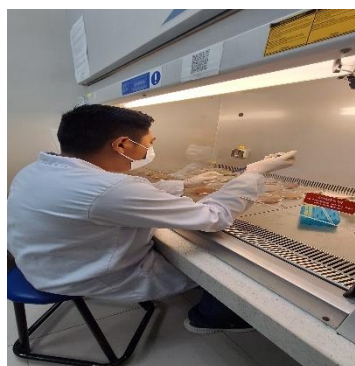
Muestras después de 2 horas en reposo



Gráfica referente a datos para determinación de la curva

Anexo 5

Prueba de sensibilidad antimicrobiana para Salmonella



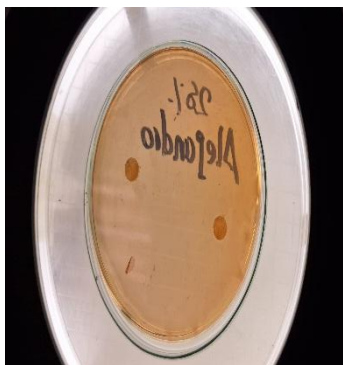
Toma de inóculo previamente preparado



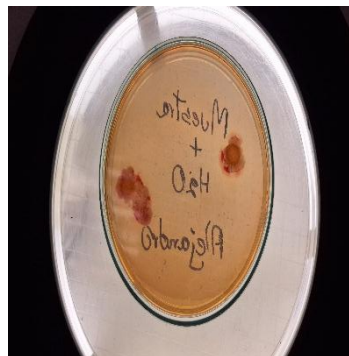
Adición del inóculo al medio de cultivo



Inoculación de cepa bacteriana



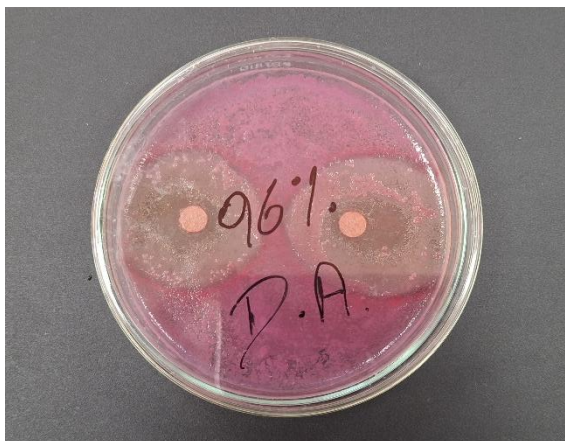
Diámetro de inhibición con
extracto etanólico al 25 %
transcurridas 48 horas



Diámetro de inhibición con
extracto acuoso + muestra
transcurridas 48 horas

Anexo 6

Prueba de sensibilidad antimicrobiana para Escherichia coli



Diámetro de inhibición con extracto etanólico al 96 %
transcurridas 48 horas



Diámetro de inhibición con extracto etanólico al 75 %
transcurridas 48 horas





Diámetros de inhibición con las diferentes concentraciones de extracto etanólico transcurridas 48 horas

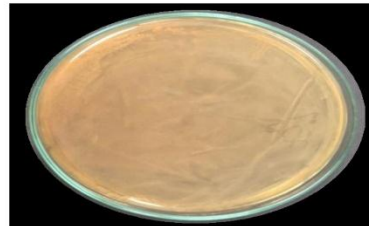
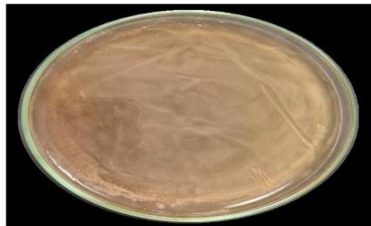
Anexo 7

Ensayo de concentración mínima inhibitoria (CMI)

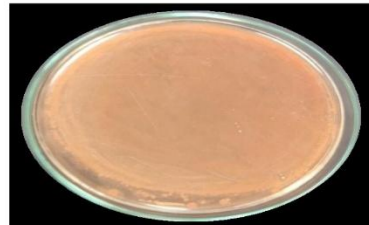
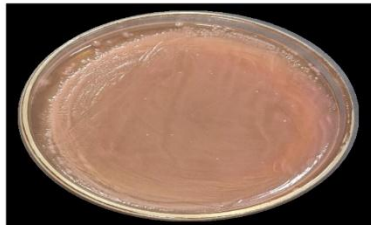
Concentración media al 96 %



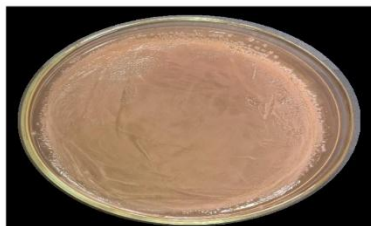
Concentración media al 75 %



Concentración media al 50 %



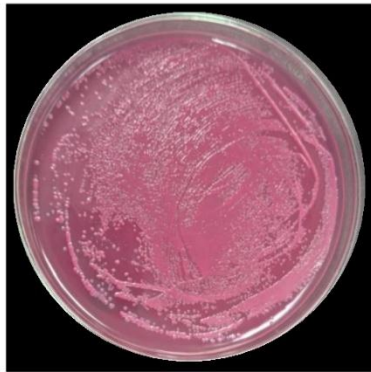
Concentración media al 25 %



Concentración media al 96 %



Concentración media al 75 %



Concentración media al 50 %



Concentración media al 25 %

