



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA**
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACION

Trabajo de Integración Curricular, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

“Obtención de ácido ferúlico a partir de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) mediante extracción asistida por métodos verdes”.

AUTORA:

Alisson Noemi Huacon López

TUTORA:

Ing. Agr. Alexandra Yomar Gómez Pereira, MSc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2025



UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y

VETERINARIA

CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACION

Trabajo de Integración Curricular, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

“Obtención de ácido ferúlico a partir de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) mediante extracción asistida por métodos verdes “.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. David Mayorga Arias, Mg. IA.

PRESIDENTE

Ing. Adriana Mejía González, MSc.

PRIMER VOCAL

Ing. Andy Ronquillo Morán, Msc.

SEGUNDO VOCAL

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su amor incondicional, por ser mi guía y ejemplo de esfuerzo constante.

A mi hija, motor de mis sueños, razón de cada paso y fortaleza en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, quienes con su apoyo y compañía han sido parte fundamental de este camino.

Y a mis sobrinos, fuente de alegría e inspiración, que con sus sonrisas me recordaron siempre que todo esfuerzo vale la pena.

Este logro es también de ustedes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante.

Extiendo mi agradecimiento a mis docentes y tutora, quienes con sus enseñanzas, orientación y paciencia contribuyeron de manera significativa a la realización de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una u otra manera, aportaron con su apoyo, consejos y compañía para que este trabajo académico fuera posible.

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

El suscrito, Huacon López Alisson Noemi portador de cédula de ciudadanía número 1208324580, libre y voluntariamente declaro que el Informe final del trabajo de integración curricular titulado: “Obtención de ácido ferúlico a partir de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) mediante extracción asistida por métodos verdes “.” es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica

Alisson Huacon.

Certificación del tutor (ORIGINAL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO

FECHA: 31/8/2025
HORA: 21:45

SR(A).
ING. EDWIN AMADO MENDOZA HIDALGO
COORDINADOR DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
EN SU DESPACHO.-

DE MI CONSIDERACIÓN:

EN ATENCIÓN A LA DESIGNACIÓN COMO DOCENTE TUTOR PARA GUIAR EL TRABAJO DE TITULACIÓN
CON EL TEMA:

MODALIDAD	FASE	TEMA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	OBTENCIÓN DE ÁCIDO FERÚLICO A PARTIR DE SALVADO DE ARROZ (ORYZA SATIVA L.) MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MÉTODOS VERDES.

PERTENECIENTE A EL/LOS ESTUDIANTES:

FACULTAD	CARRERA	ESTUDIANTE
FACIAG	AGROPECUARIA (REDISEÑADA)	HUACON LOPEZ ALISSON NOEMI

AL RESPECTO TENGO A BIEN INFORMAR QUE EL/LOS ESTUDIANTES HAN CUMPLIDO CON LAS DISPOSICIONES ESTABLECIDAS EN EL REGLAMENTO E INSTRUCTIVO DE TITULACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO, EN LOS TIEMPOS ESTABLECIDOS PARA EL EFECTO.

POR LO ANTERIORMENTE EXPUESTO, EL TRABAJO DE TITULACIÓN ES APROBADO POR QUIEN SUSCRIBE, AUTORIZANDO CONTINUAR CON EL PROCESO LEGAL PERTINENTE

POR LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA DAR AL PRESENTE ME SUSCRIBO.

ATENTAMENTE,


ALEXANDRA YOMAR GÓMEZ PEREIRA
DOCENTE TUTOR DEL EQUIPO DE TITULACIÓN

Acta de Calificación del TIC (ORIGINAL)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO



FECHA: 14/9/2025
HORA: 21:33

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIDAD DE TITULACIÓN

SEGUIMIENTO DE PROYECTOS DE TITULACIÓN

DOCENTE TUTOR: GÓMEZ PEREIRA ALEXANDRA YOMAR
ESTUDIANTES: HUACON LOPEZ ALISSON NOEMI
PERIODO TITULACIÓN: ABRIL 2025 - SEPTIEMBRE 2025
MODALIDAD DE TITULACIÓN: TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
FASE DE MODALIDAD: INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PROYECTO DE TITULACIÓN: OBTENCIÓN DE ÁCIDO FERÚLICO A PARTIR DE SALVADO DE ARROZ (ORYZA SATIVA L.) MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MÉTODOS VERDES.

INFORMACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

OBTENCIÓN DE ÁCIDO FERÚLICO A PARTIR DE SALVADO DE ARROZ (ORYZA SATIVA L.) MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MÉTODOS VERDES.

FASE	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	2025-07-01	2025-09-14	TERMINADO	100%	HABILITADO

INFORMACIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

CAPITULO I - CONTEXTUALIZACIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA PLANTIAMIENTO DEL PROBLEMA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO I - JUSTIFICACIÓN

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA JUSTIFICACIÓN	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO I - OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA OBJETIVOS	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO I - HIPÓTESIS

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO II - ANTECEDENTES

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO II - BASES TEÓRICAS

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA BASESE TEORICAS	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO III - TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO

TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO
---------	------------	------------	-----------	------	------------

CAPITULO III - OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO III - POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA POBLACIÓN Y MUESTRA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO III - TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO III - PROCESAMIENTO DE DATOS

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA PROCESAMIENTO DE DATOS	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO III - ASPECTOS ÉTICOS

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA ASPECTOS ETICOS	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO IV - RESULTADOS

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO IV - DISCUSION

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA DISCUSIÓN	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO V - CONCLUSIONES

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA CONCLUSIONES	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

CAPITULO V - RECOMENDACIONES

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA RECOMENDACIONES	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

REFERENCIAS

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO

ANEXOS

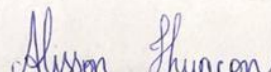
ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO

TRABAJO FINAL

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA TRABAJO FINAL	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO
TRABAJO FINAL OBSERVACIONES	2025-09-14	2025-09-14	TERMINADO	100%	HABILITADO

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

ACTIVIDAD	F. INICIO	F. FIN	PROCESO	PORC.	ESTADO
TUTORIA PALABRAS CLAVES	2025-08-28	2025-08-31	TERMINADO	100%	HABILITADO


 HUACÓN LOPEZ ALISSÓN NOEMI


 GÓMEZ PEREIRA ALEXANDRA YOMAR

Informe final del sistema Anti-plagio (ORIGINAL)



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Proyecto Final Alisson Noemi Huacon Lopez

7%
Textos
sospechosos



< 1% Similitudes (ignorado)
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

7% Idiomas no reconocidos

30% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Proyecto Final Alisson Noemi Huacon Lopez.docx
ID del documento: 4dB915945a409a1669f44156bc2873593d848c00
Tamaño del documento original: 1,39 MB

Depositante: Alexandra Gomez Pereira
Fecha de depósito: 30/8/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 30/8/2025

Número de palabras: 7031
Número de caracteres: 47.895

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	GUIA DEL TRABAJO FINAL DE TESIS KARLA VII.docx GUIA DEL TRABAJO... #2a0818 Viene de de mi grupo 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (67 palabras)
2	ciad.repositorioinstitucional.mx https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/91/1/Ignacio_Pacheco_Moisés.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	repositorio.unsa.edu.pe Compuestos fenólicos obtenidos del subproducto de ... http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4641 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contextualización de la situación problemática	1
1.1.1. Contexto Internacional	1
1.1.2. Contexto Nacional.....	1
1.1.3. Contexto local	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. HIPÓTESIS	6
CAPITULO II.- MARCO TEORICO	7
2.1. Antecedentes.....	8
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1 Generalidades	9
2.2.1.1. El arroz y su disponibilidad en Ecuador.....	9
2.2.1.2. Composición química del salvado de arroz	10

2.2.1.3. Producción del salvado de arroz	11
2.2.1.4. Acido ferúlico.	12
2.2.1.5. Origen y fuentes naturales del ácido ferúlico	13
2.2.1.6. Propiedades antioxidantes y bioactivas.....	14
2.2.1.7. Estructura Química del Ácido Ferúlico.....	15
2.2.1.8. Métodos verdes de extracción de compuestos fenólicos.....	16
CAPITULO III. METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	18
3.1.2. Diseño de investigación	18
3.2. Operacionalización de variables	19
3.3. Población y muestra	19
3.4. Técnicas e instrumento de medición	20
3.4.1. Técnicas	20
3.4.2. Instrumentos	22
3.4.3. Equipos de laboratorio	22
3.4.3.2. Reactivos e insumos	24
3.4.3.3. Materia prima	25
3.4.3.4. Preparación de la Materia Prima.....	25
3.5. Métodos de Extracción Evaluados.....	25
3.5.1. Extracción por licuadora (método mecánico).....	25
3.5.2. Extracción en baño María (método térmico)	26
3.6. Procesamiento de datos	27
3.6.1. Tratamientos	27
3.6.2. Análisis de varianza.....	27
3.7. Datos evaluados.....	28

1.1. Aspectos éticos.....	32
CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Resultados.....	33
4.2. Discusión.....	37
CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
5.1. Conclusiones.....	39
5.2. Recomendaciones	40
REFERENCIAS	41
ANEXOS.....	XVII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variable.....	19
Tabla 2 Tratamientos.	27
Tabla 3 Fuentes de variación y grados de libertad.	28
Tabla 4 Curva estándar solución madre.....	29
Tabla 5 Resultados arreglo factorial para las variables Contenido de ácido ferúlico y potencial antioxidante.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Contenido de ácido ferúlico según método de extracción.....</i>	34
Figura 2 <i>Capacidad antioxidante según método de extracción.</i>	35
Figura 3 <i>Salvado de arroz, extendida en bandejas para su pre tratamiento.</i>	
<i>Paso clave para eliminar exceso de humedad.</i>	XVII
Figura 4 <i>Secado del salvado de arroz (Oryza sativa L.) en estufa convección a temperatura controlada.</i>	XVII
Figura 5 <i>Proceso de pesaje del Salvado e arroz previamente secado, utilizando una balanza digital de precisión</i>	XVIII
Figura 6 <i>Preparación del solvente para la extracción de ácido ferúlico a partir de salvado de arroz.....</i>	XVIII
Figura 7 <i>Proceso de preparación y protección de matraces Erlenmeyer para su posterior uso en experimentos, asegurando condiciones controladas y evitando contaminación.....</i>	XIX
Figura 8 <i>Proceso de filtrado de extracto obtenido a partir de salvado</i>	XIX
Figura 9 <i>Evaluación de las muestras a analizar, utilizando rodajas de manzana como sustrato aplicando el extracto.</i>	XX
Figura 10 <i>Proceso de toma y registro de datos obtenidos durante la evaluación de las muestras.....</i>	XX

RESUMEN

El salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) un subproducto que tiene compuestos fenólicos de relevancia, como el ácido ferúlico, conocido por sus usos en diversas aplicaciones, así como por sus características antioxidantes. En Ecuador, gran parte de este residuo no se aprovecha, lo que limita su potencial como recurso funcional. Esta investigación tuvo como objetivo la obtención ácido ferúlico a través de métodos de extracción verde e identificar su capacidad antioxidante. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con dos factores: método de extracción (licuadora, baño maría a 60 °C y 100 °C) y tiempo de extracción (20 y 30 minutos), con cinco réplicas por tratamiento. Se cuantificó el contenido de ácido ferúlico (mg/g) y se determinó la capacidad antioxidante (%) mediante ensayos de inhibición del pardeamiento. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre métodos, diferencias significativas para el tiempo ($p < 0,05$) y una interacción método \times tiempo ($p < 0,05$). El mayor contenido de ácido ferúlico se obtuvo al baño maría a 100 °C (1,73 mg/g), mientras que el menor se obtuvo al usar una licuadora (0,58 mg/g). En cuanto al potencial antioxidante, los mayores porcentajes se registraron al usar baño maría a 100 °C y 60 °C durante 30 minutos (40,40 % y 39,40 %). Se concluye que los métodos térmicos favorecen la liberación de ácido ferúlico y aumentan la actividad antioxidante, lo cual evidencia que es posible utilizar el salvado de arroz como un recurso sostenible para obtener compuestos bioactivos.

Palabras clave: ácido ferúlico, antioxidante, métodos verdes, salvado de arroz.

ABSTRACT

Rice bran (*Oryza sativa* L.) is a byproduct containing important phenolic compounds, such as ferulic acid, known for its uses in various applications and for its antioxidant properties. In Ecuador, much of this residue is unused, limiting its potential as a functional resource. This research aimed to obtain ferulic acid through green extraction methods and identify its antioxidant capacity. A completely randomized design was used with two factors: extraction method (blender, double boiler at 60°C and 100°C) and extraction time (20 and 30 minutes), with five replicates per treatment. Ferulic acid content (mg/g) was quantified, and antioxidant capacity (%) was determined using browning inhibition assays. Analysis of variance revealed highly significant differences ($p < 0.01$) between methods, significant differences for time ($p < 0.05$), and a method \times time interaction ($p < 0.05$). The highest ferulic acid content was obtained in a bain-marie at 100 °C (1.73 mg/g), while the lowest was obtained using a blender (0.58 mg/g). Regarding antioxidant potential, the highest percentages were recorded using a bain-marie at 100 °C and 60 °C for 30 minutes (40.40% and 39.40%). It is concluded that thermal methods favor the release of ferulic acid and increase antioxidant activity, which shows that it is possible to use rice bran as a sustainable resource to obtain bioactive compounds.

Keywords: ferulic acid, rice bran, green methods, antioxidant.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Contextualización de la situación problemática

1.1.1. Contexto Internacional

Un área de creciente interés de la industria agrícola mundial es la revalorización de residuos, como el salvado de arroz, esto se lo realiza mediante métodos ecológicos para extraer los compuestos bioactivos presentes. Según González et al., (2022), la aplicación de métodos como la extracción asistida por disolventes naturales posibilita la generación de ácido ferúlico de alta calidad, reduciendo el impacto en el medio ambiente y optimizando la utilización de recursos agrícolas. Esto refleja una tendencia mundial hacia la agricultura sustentable, que persigue incrementar el valor de los subproductos y así logramos disminuir los desechos.

En este campo, la valorización de subproductos como el salvado de arroz ha demostrado su rica composición nutricional incluyendo proteínas, fibra, lípidos y compuestos fenólicos con alta actividad antioxidante, en lo que destaca al ácido ferúlico. Gracias a estas ventajas, lo consideramos una opción muy valiosa para la obtención de ingredientes funcionales con un alto valor añadido, lo que lo convierte en una materia prima atractiva para la obtención de ingredientes funcionales de alto valor añadido. Numerosos estudios han evidenciado que su uso apoya prácticas sostenibles, conforme a los principios de la economía circular (Pérez et al., 2023).

1.1.2. Contexto Nacional

Una de las principales actividades agrícolas en Ecuador es la producción de arroz, que produce una cantidad considerable de alimentos almacenados que se utilizan en tecnologías emergentes. La ingeniería agrícola nacional ha comenzado a centrarse en el desarrollo de procesos verdes para extraer compuestos de alto valor, como el ácido ferúlico, de subproductos agrícolas. Este

subproducto, que se produce principalmente en regiones arroceras como Los Ríos y Guayas, posee propiedades antioxidantes que podrían ser útiles en la producción de productos agrícolas. Sin embargo, su uso efectivo requiere procedimientos de estabilización postcosecha que evitan la degradación enzimática. (Silva & Vidal, 2012).

La adopción de tecnologías verdes en la agroindustria del Ecuador es una reacción positiva a la creciente necesidad de diversificar los sistemas productivos, al mismo tiempo que se incrementa la sostenibilidad ambiental del país. La utilización de los residuos agrícolas, en particular cuando nos referimos a los generados durante el proceso de producción de arroz, se ha visto como un elemento estratégico crucial. Si no conseguimos aumentar significativamente la competitividad del sector agrícola, este método no solo ayudará a reducir el impacto ambiental, sino que también contribuirá a su reducción (INEAC, 2022).

1.1.3. Contexto local

En la provincia de Los Ríos, y específicamente en el cantón de Babahoyo, el arroz es uno de los cultivos más importantes, ya que gran parte de la economía local depende de la agricultura. Esta gramínea no solo es esencial para la dieta ecuatoriana, sino que también sustenta el funcionamiento de los molinos de la región, generando un flujo constante de producción. A lo largo de este proceso, se obtienen subproductos como la cascarilla y el salvado, que a menudo se desperdician a pesar de su alto valor agregado. El salvado, en particular, es reconocido por su contenido de compuestos bioactivos potencialmente útiles en diversos sectores. Por lo tanto, su uso adecuado puede convertir a Babahoyo en un referente de innovación, impulsando nuevas alternativas para el desarrollo económico, la investigación y el desarrollo social mediante el uso de derivados del arroz.

El distrito hidrográfico de Babahoyo, ubicado en la provincia de Los Ríos, representa un activo fundamental para la economía y las interacciones sociales

de la región. Sin embargo, una parte importante de muchos productos durante el ciclo de producción se gestiona de forma deficiente y no se conservan intactos ni son duraderos en nuevas opciones de uso. La ingeniería agrícola de la región está vinculada a la posibilidad de implementar técnicas de extracción ecológica para convertir estos residuos en productos valiosos a lo largo del año, como el ácido ferúlico, que se emplea en diversos ámbitos, siendo motor para el crecimiento sostenible en el área (Gobierno Provincial de Los Ríos, 2023). El respaldo a esta tecnología puede potenciar las cadenas de producción agrícola y fomentar una economía circular en la región.

Investigaciones a nivel local ha demostrado opción no solo es un avance innovador en el ámbito agrícola, sino que también ofrece nuevas posibilidades de negocio para los campesinos en Babahoyo (Torres y Pérez, 2021). El uso de tecnología eco compatible en la gestión del cultivo contribuye significativamente a la mejora del equipamiento. Además, mediante una iniciativa comunitaria, se fomenta la concienciación de la población sobre la importancia del medio ambiente. Si se promueve un modelo agrícola más responsable, se puede mantener un equilibrio entre la productividad y la conservación de los recursos naturales.

1.2. Planteamiento del problema

Si bien Los Ríos se consideran una de las regiones arroceras más importantes de Ecuador, la región aún enfrenta importantes desafíos para controlar a sus productores, especialmente en la industria arrocera. Este material, rico en compuestos bioactivos como el ácido ferúlico, suele desecharse sin aprovechar sus propiedades funcionales y nutricionales. La falta de métodos efectivos de recuperación limita industrias como la alimentaria, la cosmética y la farmacéutica. A nivel mundial, entre el 25 % y el 33 % de los alimentos producidos se pierde o desperdicia, lo que genera errores en la cadena de producción y consumo. Esta situación genera no solo pérdidas económicas, sino también un impacto ambiental negativo, acumulando residuos que pueden afectar la calidad del suelo y el agua. Por lo tanto, es importante desarrollar

estrategias para obtener y utilizar compuestos bioactivos, optimizar recursos y reducir el desperdicio. Su uso integrado con el producto puede generar beneficios ambientales, económicos y sociales, a la vez que promueve la innovación y fortalece la sostenibilidad en las zonas arroceras provinciales.

El crecimiento constante de la agricultura genera problemas para el planeta, y la economía desperdicia enormes cantidades de recursos cuando no se gestionan con cuidado y no se utilizan ampliamente. Esto simplemente empeora aún más la condición de la naturaleza. Entidades como el Banco Mundial y la FAO comentan que los desechos sólidos podrían crecer hasta un 70 % en el año 2050. Por lo que se podría estimar que entre el 25 % y el 33 % de los alimentos ya se pierden a nivel global en el presente. Un buen ejemplo es el del salvado de arroz, que se suele desechar sin ningún proceso, aunque tiene componentes de gran calidad que podrían ser recuperados mediante metodologías de extracción sostenibles (Almeida, 2024).

El posible salvado de arroz es un tipo de desechos de arroz que tiene muchas sustancias bioactivas de interés. Sin embargo, las personas a menudo no lo aprovechan de una manera adecuada Pérez, (2018) indica que necesitamos usar tecnología que no cambie la función natural de los compuestos y que se pueda mezclar con otras cosas para diferentes propósitos. Aunque estos métodos suenan muy bien, todavía hay una gran brecha entre lo que se supone que sucederá y lo que realmente sucede cuando se usan en entornos del mundo real, como el arroz agrícola.

En Ecuador y otros países con alta producción de arroz, aún no se han implementado ampliamente tecnologías limpias que permitan el aprovechamiento completo del subproducto. Esto no solo genera el desperdicio de recursos valiosos, sino que también representa una oportunidad perdida para el desarrollo de diversas aplicaciones ecológicas y sostenibles. Por lo tanto, es necesario investigar y validar métodos de extracción que no solo sean respetuosos con el medio ambiente, sino que también garanticen la calidad funcional del ácido ferúlico obtenido.

1.3. Justificación

A pesar de que el salvado de arroz es sencillo de localizar, todavía no se utiliza adecuadamente. Posee una considerable cantidad de compuestos bioactivos para sus usos en el sector agropecuario. Pérez (2018) habla sobre la necesidad de usar formas de sacar estos elementos que no dañen el medio ambiente, para que los compuestos sean útiles en varias áreas. Pero, aunque esta idea puede ser muy buena, hay un gran trecho entre lo que se espera hacer y lo que realmente se hace donde se cultiva el arroz.

La bioeconomía y la protección del medio ambiente se beneficiarán del uso de nuevas tecnologías en la obtención de compuestos bioactivos. La inclusión de métodos ecológicos mencionados por Gato (2019), no solamente ha mejorado la extracción de compuestos fenólicos, sino que han reducido el uso de disolventes químicos. Promueve la creación de biofragmentos bioactivos de excelente calidad y con menor impacto ecológico, además incrementa la exactitud y la limpieza en la producción de ácido ferúlico.

Los estudios también tienen un impacto significativo en la sociedad y el medio ambiente, ya que buscan mejorar el uso del salvado de arroz en productos que a menudo se desechan o simplemente se consideran parte del balance agroindustrial. No solo ayudan a reducir la generación de residuos, sino que también contribuyen a una economía circular que puede beneficiar directamente a las comunidades arroceras de la provincia de Los Ríos. Además, el uso de métodos de extracción ecológicos garantiza un proceso más respetuoso con el medio ambiente, en línea con las tendencias contemporáneas que favorecen la reducción del uso de compuestos tóxicos y la preservación de los recursos naturales. Esto demuestra la dedicación a esta investigación, centrada en el desarrollo responsable y sostenible.

En resumen, esta investigación destaca por proponer una nueva metodología para la producción de ácido ferúlico a partir de arroz prensado mediante procesos orgánicos. Esta propuesta no solo optimiza el sector científico, sino que también ofrece posibles aplicaciones en las industrias agrícola del país. Esta innovación presenta una opción distintiva y sostenible al combinarse con un enfoque ecológico, en comparación con los procesos convencionales. Refuerza su importancia y su potencial para aportar beneficios a la ciencia y a la sociedad en general.

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivo general

Obtener ácido ferúlico a partir de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) mediante extracción asistida por métodos verdes.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar el contenido de ácido ferúlico presente en el salvado de arroz de origen local.
- Comparar la eficiencia de diferentes métodos verdes de extracción para la obtención de ácido ferúlico.
- Evaluar el potencial antioxidante del ácido ferúlico extraído para su posible uso en el campo agropecuario.

1.5. Hipótesis

Hipótesis nula

Ho: El uso de métodos verdes de extracción no mejora significativamente la obtención de ácido ferúlico a partir del salvado del arroz.

Hipótesis alterna

Ha: Los métodos verdes de extracción permiten una mayor eficiencia en la obtención de ácido ferúlico a partir del salvado de arroz.

CAPITULO II.- MARCO TEORICO

Diversos estudios recientes han resaltado la importancia del salvado de arroz como fuente de compuestos fenólicos y antioxidantes de gran interés agroindustrial. Por ejemplo, Pérez et al., (2017) demostraron que los metabolitos derivados del ácido ferúlico obtenidos de un extracto enzimático de salvado de arroz presentan alta biodisponibilidad en modelos animales, así como efectos biológicos directos en la inhibición de especies reactivas de oxígeno, confirmando el potencial nutracéutico de estos compuestos. De igual forma, Truong et al. (2017) evaluaron la combinación de tratamiento alcalino con ultrasonido como estrategia innovadora para mejorar el rendimiento en la recuperación de γ -orizanol y ácido ferúlico, observando que el incremento de temperatura favoreció significativamente la liberación del compuesto.

Por otra parte, Le et al. (2019) evidenciaron que la fermentación del salvado de arroz con bacterias lácticas incrementa el contenido de ácido ferúlico, ácido p-cumárico y γ -orizanol, aumentando de forma significativa la actividad antioxidante medida mediante diferentes ensayos (DPPH, ABTS, óxido nítrico). También Wongwaiwech et al. (2023) demostraron que aceites crudos de salvado de arroz obtenidos mediante extracción verde contienen mayores concentraciones de γ -orizanol, fitosteroles y policosanoles, en comparación con métodos convencionales, lo que refuerza el papel del salvado como insumo de alto valor funcional.

Finalmente, Gharat & Rathod (2023) reportaron que el uso de disolventes eutécticos profundos (NADES) asistidos por ultrasonido alcanzó rendimientos de 9,34 mg/g de ácido ferúlico, casi tres veces superiores a los métodos convencionales, confirmando que la optimización tecnológica puede potenciar la eficiencia del proceso. Incluso métodos enzimáticos como los descritos por Gao et al., (2017) y Zhang et al. (2014) permiten obtener ácido ferúlico de alta pureza (>98%), constituyendo alternativas sostenibles frente a técnicas químicas tradicionales.

2.1. Antecedentes

La búsqueda de componentes bioactivos naturales ha despertado un interés cada vez mayor en el ácido ferúlico, un fenólico antioxidante presente en el salvado de arroz. En los últimos años, esta sustancia se ha recuperado de varias maneras ecológicas. Así, Martillanes (2021) en su tesis doctoral determinó cómo diferentes modos limpios, como la extracción asistida por microondas y ultrasonido, pueden ser útiles para la recuperación de los compuestos fenólicos del salvado de arroz. La eficacia de las técnicas de limpieza de los recuperativos ha demostrado no solo incrementos en la economía circular, sino que también mantiene las propiedades antioxidantes del ácido ferúlico, lo cual es positivo para la industria.

Las biorrefinerías cumplen una función crucial, ya que este posibilita el uso de subproductos generados en la agricultura y en diversas industrias, convirtiéndolos así en compuestos valiosos. Iniciativas como el proyecto europeo H2020 AGRIMAX han demostrado el potencial de obtener esta sustancia a partir de residuos de la industria alimentaria —por ejemplo, cáscaras de cereales y otros subproductos— mediante procesos sostenibles que reducen el impacto ambiental. El ácido ferúlico también tiene numerosas aplicaciones, desde su incorporación en alimentos funcionales hasta su uso en el desarrollo de nuevas tecnologías. En este contexto, las biorrefinerías no solo aportan beneficios ambientales, sino que también aumentan la eficiencia y la competitividad del sector agroalimentario, demostrando que la gestión responsable de los recursos puede coexistir con el crecimiento económico (Villanueva et al., 2022).

Un estudio realizado por Rentería et al., (2021) tuvo como propósito evaluar el impacto del ácido ferúlico en el rendimiento y en los metabolitos presentes en la orina de becerros sometidos a destete precoz, se utilizaron 29 animales, las cuales fueron asignados aleatoriamente a cuatro corrales, comparando un grupo control y otro suplementado con AF (10 ppm/kg PV) durante 9 días. Se registro el peso, el consumo de alimento y se tomaron

muestras de orina al inicio y al final del ensayo. Los análisis mediante HPLC-DAD no mostraron diferencias significativas en el rendimiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Generalidades

2.2.1.1. El arroz y su disponibilidad en Ecuador

Desde 2016, la producción de arroz en Ecuador ha demostrado un aumento permanente de aproximadamente el 8% anual y ha nominado al país como uno de los productores más importantes de la región. Para 2025, se espera que la cosecha nacional alcance aproximadamente 300,000 toneladas, con Guai y ríos como provincias con la mayor contribución. Para 2023, estas dos provincias representaron aproximadamente el 87% de todos los arroces producidos en el país. Este crecimiento ha preferido expandir las áreas cultivadas y mejorar el año. Ja. En particular, GUAL ha sido un factor clave para aumentar la producción, lo que contribuye significativamente a la cantidad total del país. (Correa & Rivera, 2024)

Las zonas productoras de arroz más importantes se ubican en las provincias de Guayas, Manabí, Los Ríos y Oro. El clima y el suelo de estas regiones son ideales para el cultivo de estos granos. Estas provincias se han consolidado como pilares fundamentales de la actividad agrícola, aglutinando a productores de diversos tamaños que contribuyen a la economía local. El uso eficiente del riego y la transmisión de conocimientos de generación en generación permiten una producción constante, capaz de satisfacer la demanda nacional y garantizar que estos granos sean un alimento básico en la dieta diaria de los ecuatorianos.

Para Ecuador, el arroz es mucho más que un cultivo: es un alimento básico en la dieta diaria de la población y un actor muy significativo en la economía agrícola del país. Con una superficie cultivada que ha promediado las 309.000 hectáreas en los últimos años, este cereal se ha consolidado como una de las principales fuentes de energía en la dieta nacional (Forbes 2024).

2.2.1.2. Composición química del salvado de arroz

El salvado de arroz, subproducto generado durante el proceso de pulido del grano (*Oryza sativa* L.), representa una fracción rica en compuestos bioactivos y nutrientes esenciales. Está compuesto principalmente por carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra dietética, minerales y una diversidad de metabolitos secundarios.

Es una fuente importante de lípidos, los cuales constituyen cerca del 18% de su composición. Una parte significativa de estos lípidos es la fracción insaponificable, que incluye una variedad de compuestos bioactivos. En esta porción, los ácidos grasos poliinsaturados representan aproximadamente el 43%, los monoinsaturados el 37% y los saturados el 20% (Correa & Rivera, 2024). El salvado de arroz posee un conjunto exclusivo de antioxidantes, como los tocotrienoles, tocoferoles y orizanoles, que son famosos por sus beneficios para la salud. Al proporcionar ventajas significativas para la salud, estos compuestos ayudan a resguardar las células ante el daño oxidativo. Por esta razón, el salvado de arroz no solo es sobresaliente por la cantidad de lípidos que contiene, sino también por la abundancia de compuestos bioactivos que tienen un impacto positivo en el cuerpo.

Por lo tanto, este subproducto destaca por su contenido significativo de proteínas (14,18%), fibra (29,24%), lípidos (17,50) y cenizas (9,19%). Es rico en ácidos grasos beneficiosos, como los monoinsaturados y poliinsaturados: oleico (18:1 n9), linoleico (18:2 n6) y linolénico (18:3 n3), lo cual lo convierte en una materia prima funcional para alimentos saludables. En países como Argentina, la producción ha crecido notablemente, alcanzando 1,6 millones de toneladas anuales (Mutuberría et al., 2025).

2.2.1.3. Producción del salvado de arroz

La industria arrocera se centra en el proceso de molienda, donde se extraen los granos enteros y se pule para producir arroz blanco separado por reducción, incluyendo la cáscara y el almidón. Este último representa aproximadamente el 8% del peso del arroz integral, mientras que la cáscara puede representar hasta el 20%. La cáscara está compuesta por las capas externas del grano y las partes germinales, lo que le confiere un alto valor nutricional y la convierte en un importante compuesto bioactivo, además de ser de interés para la producción de aceite vegetal. Sin embargo, la producción presenta desafíos relacionados con la resistencia de las raíces debido a los efectos de las enzimas lipasas, lo que requiere una estabilización inmediata después de la molienda para mantener su calidad (Fedna Foundation, 2020; Cerisuelo, 2023).

El Salvado de arroz que se compone mayoritariamente por lignocelulosa se logra durante el proceso del cultivo de arroz. En el país, se genera 123 millones de toneladas, esto equivale entre el 20 y 25% de la producción total de cereales, tiene una textura dura, leñosa y abrasiva, lo que hace resistente frente a los efectos del clima y otros factores ambientales. Debido a su elevado contenido de sílice, eso hace que no sea apta para el consumo humano durante todo el ciclo del crecimiento (Áraque et al., 2020).

En Ecuador, el salvado de arroz ha experimentado un crecimiento significativo, tanto en producción como en uso. Sus productos se utilizan en áreas como la alimentación animal, la promoción de la biodigestión, la producción de bioenergía y la depuración ambiental. Como resultado, el salvado de arroz se considera un recurso valioso para la agricultura nacional, promoviendo prácticas más sostenibles y la reutilización de residuos agrícolas.

2.2.1.4. Acido ferúlico.

El ácido ferúlico es un compuesto fenólico de considerable importancia en diversas áreas científicas, desde las ciencias naturales hasta la nutrición, pasando por otras áreas aplicadas. Destaca por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y conservantes, derivadas de su composición química y de los grupos funcionales que posee en su estructura molecular. La naturaleza química del compuesto marca el rumbo de la presentación, facilitando tanto la comprensión de cada párrafo como un análisis crítico de su estructura. El objetivo de este apartado es introducir los aspectos generales del ácido ferúlico para, a continuación, detallar sus propiedades físicas, métodos de síntesis, reactividad química, funciones biológicas, aplicaciones y estudios de toxicidad (Hernández, 2025).

Esta función antioxidante no solo preserva la calidad de los componentes alimentarios, sino que también mejora la de los productos derivados del arroz y otros cereales. Por lo tanto, estudios realizados por, el salvado de arroz se considera un ingrediente funcional con importantes beneficios para el consumo alimentario y la nutrición humana. Además, su inclusión ayuda a mejorar el valor nutricional de los alimentos al preservar compuestos importantes que, de otro modo, podrían deteriorarse. El efecto protector de este ácido ferúlico aumenta su interés en la industria alimentaria, donde la demanda de ingredientes naturales con propiedades funcionales aumenta constantemente. Así, el salvado de arroz no solo es una fuente de fibra y nutrientes, sino también un aditivo natural que promueve la estabilidad y la calidad de los alimentos.

El ácido 3-metoxi-4-hidroxicinámico exhibe una solubilidad moderada en agua, mientras que es claramente soluble en disolventes polares y en bases diluidas. En forma sólida, aparece como páginas blancas o beige con ligero olor aromático. La combinación de propiedades en la estructura genera un amplio espectro de funciones en la molécula. La naturaleza química del compuesto condiciona el desarrollo de varios aspectos, desde las propiedades físicas,

pasando por los métodos de síntesis y la reactividad química, hasta las funciones biológicas, las aplicaciones y los estudios de toxicidad (Fermín,2022).

Estudios recientes han demostrado que el ácido ferúlico puede ayudar a las plantas a afrontar estreses como la salinidad o la exposición a rayos UV. Estudios realizados en cebada han demostrado que este compuesto contribuye a la acumulación de prolina y otros metabolitos fenólicos, ayudando así a equilibrar los procesos redox y a reducir los efectos negativos del estrés crómico (Khan et al., 2024). Estos resultados demuestran que el ácido ferúlico puede utilizarse como estimulante biológico natural para aumentar la resistencia de los cultivos a condiciones adversas.

2.2.1.5. Origen y fuentes naturales del ácido ferúlico

El ácido ferúlico (NO) es un compuesto fenólico que se encuentra en las paredes de varias células vegetales, promoviendo la estructura y protección del tejido vegetal. Este ácido es particularmente rico en cultivos de alta fibra, como arroz, maíz y trigo, y se reconoce como propiedades antioxidantes y bioactivas. En Ecuador, Rice Bran ha sido identificado como una fuente importante, teniendo en cuenta su disponibilidad y que puede lograrse fácilmente como un producto de la industria del arroz. Según Almeida (2024), la concentración de ácido ferúlico en el puerto de arroz varía de 20.1 a 24.6 mg/kg dependiendo del tipo de equilibrio y los métodos de extracción utilizados. Muestra que Bran no es solo los restos de la industrial temprana, sino también un recurso valioso con el potencial de producir compuestos bioactivos aplicables a los negocios agrícolas y los alimentos funcionales.

El ácido ferúlico es un antioxidante natural que forma parte del grupo de los ácidos hidroxicinámicos. Se encuentra principalmente en las paredes celulares de las plantas, asociándose a hidratos de carbono y proteína de la pared celular. Otros ácidos derivados del ácido ferúlico, como el ácido 5-hidroxiferúlico y el ácido 5-metoxi ferúlico, también pueden estar presentes en concentraciones variables. La composición de methoxy y hydroxyl en el ácido

ferúlico contribuye a su capacidad para capturar radicales libres y actuar como agente antioxidante, además de inhibir procesos de peroxidación lipídica (Zárate et al., 2021).

La identificación del ácido ferúlico (NO) de fuentes naturales en Ecuador es importante debido a que este compuesto posee propiedades bioactivas que le confieren efectos antioxidantes y antiinflamatorios, valorados tanto en la salud vegetal como en el consumo humano. Estas cualidades están despertando un creciente interés en diversos sectores, como la industria alimentaria. Donde puede incorporarse como ingrediente funcional. Según Medrano (2023), el ácido ferúlico es el compuesto fenólico más rico entre los ácidos hidroxicinámicos presentes en las plantas, y su síntesis se realiza mediante la vía del shikimato, utilizando la fenilalanina como precursor. Esta información demuestra su potencial no solo en la fisiología vegetal, sino también como un recurso estratégico para el desarrollo de productos que se beneficien de los compuestos naturales suministrados por las empresas agrícolas.

El ácido ferúlico se ha aislado en numerosas frutas, verduras, cereales y fuentes naturales. Entre las más importantes se encuentran el arroz, el trigo, la manzana, la zanahoria, la remolacha, los rábanos, los tomates, la naranja, el maíz, el apio, la cebolla, la cebada, la palma aceitera, el sorgo y el mijo. Además, puede ser descompuesto en forma solubilizada a través del proceso de fotosíntesis en presencia de la enzima ferulato descarboxilasa. La abundancia y distribución de este compuesto en una amplia variedad de organismos vegetales subrayan su importancia en la naturaleza y su potencial utilidad en aplicaciones agrícolas y nutricionales (Gato & José, 2021).

2.2.1.6. Propiedades antioxidantes y bioactivas.

El salvado de arroz se ha convertido en un gran interés en el componente, gracias a la riqueza de los compuestos bioactivos, lo que hace que, entre los cuales los ácidos fenólicos como Ferlex, P-Cumar y Caffaik, así como flavonoides, antocianinas, y-carzanol y varias formas inflamatorias de vitamina

E. del cuerpo. Estudios recientes han indicado que los extractos de juego, especialmente las variedades pigmentadas, son muy efectivos para neutralizar los radicales libres, reducir el daño oxidativo y los metales de combustión. También se ha observado que contribuyen a la reducción de moléculas dañinas, como las especies reactivas de oxígeno y citocinas inflamatorias (IL-6, TNF-A), lo que indica un papel protector contra las enfermedades asociadas con el estrés oxidativo y la inflamación crónica (Saji et al., 2020).

El estudio de la bioaccesibilidad del CSADI y sus hidrolizados reveló un significativo aumento en su capacidad antioxidante y antihipertensiva, especialmente en el hidrolizado obtenido después de 120 minutos de hidrólisis con proteasa en cuanto al análisis de la fracción bioaccesible, se identificó y cuantificó la presencia de ácido ferúlico y ácido gálico. Se observó un aumento en el contenido de ácido ferúlico en la fracción. (Bonifacino, 2014). Estos hallazgos manifiestan la capacidad del ácido ferúlico como sustancia bioactiva, subrayando su importancia en usos funcionales.

Miftahurrahmi et al., (2022) indican que presencia y proporción de compuestos bioactivos en el salvado de arroz varía según el tipo de grano, las condiciones de molienda y los métodos de estabilización utilizados. Además de su actividad antioxidante, se ha demostrado que este subproducto posee propiedades antiinflamatorias, lo que lo convierte en un ingrediente valioso en formulaciones de alimentos funcionales. Por lo tanto, su inclusión en la dieta humana puede contribuir positivamente tanto a la prevención de enfermedades crónicas como a la mejora de la calidad nutricional.

2.2.1.7. Estructura Química del Ácido Ferúlico.

El ácido ferúlico es un compuesto orgánico fenólico que se encuentra en la pared celular de las plantas. Pertenece a la familia de los hidroximetoxicinámicos y es un derivado del 4-hidroxicinnamato. Se puede sintetizar mediante la oxidación de la coniferilaldehído o mediante la

condensación de la vanillilacetona. El ácido ferúlico se encuentra como compuesto individual en las raíces de *Angelica sinensis* y, más comúnmente, está presente en la pared celular de las plantas como ácido ferúlico congénere (Escajeda, 2024).

Su fórmula molecular es $C_{10}H_{10}O_4$ y posee varias propiedades fisicoquímicas que reflejan su estructura. El ácido ferúlico es insoluble en agua y presenta un punto de fusión superior a 200 °C. Se caracteriza por un color blanco a amarillo, un olor penetrante y un sabor amargo. La actividad biológica del ácido ferúlico puede correlacionarse con la presencia de grupos funcionales específicos, en particular el grupo enol y el grupo p-metoxifenilo, que forman parte de su estructura química (Mendieta, 2024).

2.2.1.8. Métodos verdes de extracción de compuestos fenólicos.

La técnica de métodos verdes se ha vuelto una forma efectiva de extraer compuestos beneficiosos presentes en materiales vegetales. Este enfoque busca sustituir el uso de solventes tóxicos por etanol o agua, así minimizamos el impacto ambiental y el consumo de energía. Como se evidencia en otros artículos, el uso de agua caliente como disolvente se recomienda explícitamente en la literatura como uno de los métodos de extracción más sostenible. Pazo et al., (2021) demuestran el uso de agua de alta presión para extraer con éxito ácido ferúlico y otros compuestos funcionales del salvado de arroz. Estos autores destacan que, en condiciones controladas, la alta presión de agua facilita la liberación de estos compuestos de la materia prima, también ayuda a preservar antioxidantes.

Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran la extracción asistida por ultrasonido, la extracción asistida por microondas, las cuales han mostrado resultados favorables al aplicarse en residuos agrícolas como el salvado de arroz. En este residuo, la combinación de estas técnicas con solventes eutécticos profundos naturales (NADES) ha evidenciado un mejor rendimiento en la

recuperación de ácido ferúlico, un compuesto con alto valor antioxidante Bezerra et al., 2025). La extracción ultrasónica destaca por su bajo consumo de solventes, la reducción en los tiempos de operación y la adecuada preservación de moléculas sensibles. De igual manera, el uso de NADES aporta ventajas adicionales al ser biodegradables, fácil de obtener y ajustarse a los principios de la química verde, lo que facilita una extracción más selectiva y sostenible de polifenoles a partir de subproductos agrícolas (Zhou, 2023).

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Este presente trabajo de investigación se realizó dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo en el eje de Recursos Agropecuarios, Ambiente, Biodiversidad y Biotecnología. La siguiente investigación se desarrolló en laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo con una materia prima que proviene del campo y procesado en laboratorio. El enfoque principal de este estudio fue en la Obtención de ácido ferúlico con potencial cosmético a partir de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) mediante extracción asistida por métodos verdes en el cantón Babahoyo, enmarcándose dentro de la línea de Desarrollo agropecuario agroindustrial sostenible y sustentable, y en la sublínea de Agricultura sostenible y sustentable.

3.1.2. Diseño de investigación

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) con análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey al 5% para comparación de medias entre tratamientos. Se hizo uso de un diseño factorial para analizar la interacción entre factores importantes del experimento, el arreglo factorial consideró dos factores: el factor A Tratamiento y el factor B Minutos, en ello se evaluó tanto los efectos individuales como las posibles interacciones entre ambos factores dentro del marco del diseño experimental.

3.2. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variable.

Tipo de variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Tipo de medición	Instrumentos de medición
Independiente	Contenido de ácido ferúlico	Cantidad estimada de ácido ferúlico presente en el extracto	Concentración	Cuantitativa discreta	Cronometro
Dependiente	Actividad antioxidante	Capacidad el extracto de inhibir radicales libres	Porcentaje de inhibición	Cuantitativo	Ensayo antioxidante mediante ampollas de vitamina C como patrón, cronometro

Nota: La variable independiente es el contenido de ácido ferúlico medido en concentración, y la dependiente es la actividad antioxidante evaluada como porcentaje de inhibición de radicales libres usando ampollas de vitamina C como patrón.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio se conformó por el total de salvado de arroz generado como subproducto en los molinos arroceros del cantón Babahoyo, durante la cosecha correspondiente al segundo semestre del año 2025. Este

subproducto es considerado abundante y económicamente accesible, además de representar una fuente rica en compuestos fenólicos, como el ácido ferúlico, por lo que resulta idóneo para fines de extracción mediante métodos sostenibles.

3.3.2. Muestra

Debido a que no es viable trabajar con toda la población, se aplicó un muestreo no probabilístico por convivencia, seleccionando salvado de arroz. La muestra se utilizó para la ejecución del diseño experimental establecido, el cual contempla diferentes tratamientos de extracción asistida por métodos verdes.

Se emplearon 10 gramos de salvado de arroz para cada repetición y tratamiento, asegurando así una cantidad adecuada para el análisis sin poner en riesgo la exactitud de los resultados. La estimación total fue de alrededor de 400 gramos de arroz, tomando en cuenta un diseño que incluía 8 tratamientos y 5 repeticiones más para pruebas preliminares y validación. Las muestras se secaron, se tamizaron y se almacenaron en frascos sellados en condiciones controladas hasta que fueron procesadas

3.4. Técnicas e instrumento de medición

3.4.1. Técnicas

En este trabajo, se emplearon dos métodos de extracción basados en técnicas ecológicas o métodos verdes para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en la obtención de compuestos fenólicos del salvado de arroz. Estas estrategias se basan en el uso de solventes más seguros y sostenibles, la optimización del consumo de energía y condiciones que protegen la estabilidad y la actividad de los metabolitos bioactivos durante el proceso de extracción.

Extracción por licuadora (mezcla mecánica): que incorporaba un grado de homogeneización con un disolvente orgánico elegido por medio de cuchillas en una licuadora casera. Este procedimiento mecánico favorece a las paredes celulares parcialmente dañadas, lo que posibilita la excreción de compuestos de fenol atrapados en la matriz vegetal. Esta técnica se ve favorecida por ser rápida, financiera y no necesitar equipos complejos. No obstante, su eficacia puede oscilar dependiendo del tiempo del líquido y de la magnitud de las partículas producidas.

La extracción por licuadora tiene como características la sencillez y el bajo costo, que son sus principales beneficios y la hacen posible incluso en laboratorios con recursos escasos. Esta técnica posibilita que el procedimiento se lleve a cabo de forma eficaz y rápida, porque es factible modificar las variables, como la velocidad de las aspas o el tiempo de licuado, dependiendo de lo que requiera el experimento. Sin embargo, también tiene algunas limitaciones: el calor por fricción puede ser generado por el movimiento continuo de las cuchillas y, combinado con la exposición al oxígeno, podría comprometer la estabilidad de los compuestos delicados, lo que reduciría la eficacia del proceso de extracción.

Extracción térmica por baño María Para optimizar la disolución y la liberación de ácido ferúlico, se aplicó calor húmedo durante este proceso. La línea de arroz se combinó con matraces de vidrio disolvente y se calentó continuamente hasta 60°C durante el tiempo establecido con una duración fija. Este procedimiento hace que la extracción sea más uniforme y controlada reduciendo las posibilidades de que el compuesto se degrade. Sin embargo, a diferencia de la técnica de licuadora requiere un período de tratamiento más largo para lograr resultados satisfactorios.

Se emplearon siguiendo un diseño completamente al azar con cinco repeticiones para cada tratamiento y 10 gramos de salvado de arroz por cada unidad experimental. Esta perspectiva permitió asegurar la fiabilidad de los resultados y disminuir las posibles deficiencias en la recolección de datos que se

habían presentado anteriormente. La selección de estas metodologías también tiene que ver con la utilización de procesos sustentables.

3.4.2. Instrumentos

Para realizar la ejecución de diferentes tratamientos experimentales y garantizar la cuantificación correcta del ácido ferúlico presente en las paredes del salvado de arroz, utilizando una serie de equipos, reactivos e instrumentos de laboratorio especialmente seleccionados, elementos que permiten desarrollar los procedimientos de manera precisa, segura y fiable, garantizando la obtención de resultados reproducibles y de alta calidad.

3.4.3. Equipos de laboratorio

Licadora de la marca Oster, con tres velocidades, Se empleó el equipo para combinar y desintegrar de manera uniforme el salvado de arroz con el disolvente seleccionado. La capacidad de modificar la velocidad permitió el control de la intensidad del proceso, previniendo así que se produjera un calor excesivo que pudiera poner en peligro la estabilidad de los compuestos fenólicos. Así, las partículas se disminuyeron en tamaño lo suficiente como para que el ácido ferúlico pudiera liberarse y la extracción tuviera un rendimiento óptimo.

Baño maría eléctrico con termostato digital, Este equipo se utilizó para extraer compuestos fenólicos mediante calor húmedo. El termostato digital mantuvo una temperatura estable y uniforme, importante para prevenir la formación de metabolitos sensibles. El equipo permite una programación precisa del clima de calentamiento, lo que garantiza la uniformidad en el tratamiento de cada muestra y contribuye a la reproducibilidad y fiabilidad de los resultados experimentales.

Balanza analítica digital se usó para calcular con precisión el salvado de arroz y los reactivos y los solventes utilizados durante la extracción. Es

importante hacer una medición precisa, ya que todas las diferencias en la cantidad mínima de solvente o muestra pueden afectar directamente la eficacia del ácido ferúlico, comprometiendo así la confiabilidad y estabilidad de los resultados logrados en el experimento. Esta precaución garantiza que cada intento se realice de manera controlada y reproducible.

3.4.3.1. Materiales de laboratorio

Tubos de ensayo: durante los procesos de análisis y extracción, las tuberías de prueba se usaron para almacenar pequeñas cantidades de muestras. Su transparencia y forma cilíndrica permiten observar directamente la solución de color o estructura, lo que hace que los compuestos de fenol funcionen. Además, el hecho garantiza que pueda soportar el calor y los solventes múltiples, la manipulación de muestras de forma segura, reduciendo la pérdida de material y evitando la contaminación mutua entre los experimentos.

Matraces Erlenmeyer la fase de extracción, Erlenmeyer se usó para mezclar arroz comprimido con solventes. Su diseño permite que la gerencia sea más segura y más práctica, ya que evita los desechos y promueve la agitación. También permite que el calor distribuya calor en procesos tales como un baño de agua, que promueve compuestos bioactivos que son más eficientes. Por otro lado, los matraces, cuando están cubiertos, contribuyen a la evaporación de solventes y la pérdida de compuestos volátiles; Esto le permite ser más eficiente.

Probeta para calcular con exactitud los volúmenes de soluciones y disolventes necesarios en cada fase del experimento. Esto permite obtener mediciones fiables gracias a su graduación minuciosa, la cual asegura que se mantenga la proporción correcta entre el disolvente y el salvado de arroz, lo que garantiza resultados reproducibles y consistentes. Asimismo, permite que se preparen soluciones patrón y que los extractos sean diluidos, factores necesarios para conseguir información exacta acerca del contenido de ácido ferúlico.

3.4.3.2. Reactivos e insumos

Etanol al 99% (grado analítico) como solvente de extracción verde. Este alcohol se usó como una solución de extracción verde debido a su capacidad para disolver los compuestos fenólicos, como el ácido ferúlico de arroz, que garantiza una extracción efectiva y segura. Además, el etanol se considera un disolvente ecológico con un bajo impacto ambiental y se recomienda ampliamente en los procesos al extraer los compuestos bioactivos de origen herbal. Se usó en concentraciones y condiciones controladas que redujeron la evaporación y la pérdida de la asociación.

Agua destilada Se utilizó para preparar soluciones estándar y lavar equipos de laboratorio. El agua destilada asegura que no haya contaminantes ni iones que puedan interferir con la reacción o absorber mediciones que garanticen la precisión y reproducción de los resultados. Además, se utilizó para hacer la dilución necesaria en la construcción de canastas de ácido ferulico estándar y la producción de blancos en pruebas analíticas.

Ampollas de vitamina C se utilizaron como un estándar de referencia para las pruebas antioxidantes, que permitieron evaluar la capacidad del antioxidante de ácido ferúlico extraído. La vitamina C, debido a su reconocida actividad antioxidante, sirve para comparar y confirmar la eficacia de los extractos obtenidos creando un parámetro confiable en el análisis de antioxidantes.

Manzanas se usaron como una matriz de referencia o prueba de control para pruebas antioxidantes, teniendo en cuenta sus compuestos fenólicos naturales. Las manzanas le permiten probar la funcionalidad correcta y el procedimiento experimental de los reactivos, así como calibrar métodos adicionales relacionados con los extractos de plantas.

3.4.3.3. Materia prima

Salvado de arroz fresco (*Oryza sativa* L.) subproducto producto obtenido en el proceso de levantamiento de arroz, que consiste principalmente en la cubierta exterior de las capas de grano. Es rico en compuestos bioactivos como el ácido ferúlico, los polifenoles y los ácidos grasos insaturados, que proporcionan propiedades antioxidantes y uso potencial en el sector agropecuario.

3.4.3.4. Preparación de la Materia Prima

El salvado fue previamente tamizado en malla de 60 μm para homogenizar el tamaño de partícula. Posteriormente se desgrasó mediante lavado con hexano en una relación 1:3 (p/v), bajo agitación constante durante 6 h. El residuo sólido se dejó secar a temperatura ambiente (24 h) y se utilizó como materia prima para los procesos de extracción.

3.5. Métodos de Extracción Evaluados

3.5.1. Extracción por licuadora (método mecánico)

En este procedimiento se mezclaron 10 g de salvado desgrasado con 100 mL de etanol al 80 % (relación 1:10 p/v). La mezcla se sometió a licuado a 600 W de potencia durante 5 min continuos. Posteriormente se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente con agitación manual cada 10 min para favorecer la liberación de compuestos fenólicos. El extracto fue centrifugado a 4500 rpm durante 10 min y filtrado en papel Whatman N°1. El sobrenadante se almacenó en frascos ámbar a 4 °C hasta el análisis.

La ventaja principal de este procedimiento es que el resultado es simple y rápido gracias a la relación con las técnicas clásicas de maceración en reposo. Además, no es necesario que los complejos instrumentos sean ejecutados por un distribuidor o un industrial. Sin embargo, existen ciertos inconvenientes, entre otros que corren el riesgo de perder una parte de los compuestos fenólicos en razón del calor generado por la fricción de las aspas y por la baja especificación, mientras que los metabolitos de interés pueden disuadir otras sustancias presentes en la matriz. Después de estas limitaciones, el método de extracción representa una opción práctica para realizar los análisis preliminares relacionados con la obtención de compost bioactivos, que funcionan también como complemento de los métodos de extracción más selectivos y duraderos.

3.5.2. Extracción en baño María (método térmico)

Se pesaron 10 g de salvado y se mezclaron con 100 mL de etanol al 80 % (relación 1:10 p/v). La mezcla fue colocada en baño María a 100 °C durante 30 min, manteniendo agitación constante cada 5 min para evitar la sedimentación. El proceso permitió la ruptura parcial de las paredes celulares y la liberación de compuestos fenólicos unidos. Tras el tratamiento, los extractos fueron centrifugados a 4500 rpm durante 10 min y filtrados. El sobrenadante se conservó en frascos ámbar a 4 °C.

A diferencia de técnicas más modernas como la extracción por ultrasonido o microondas, el baño María no es tan eficiente ni tan específico en la recuperación de compuestos fenólicos. Sin embargo, se mantiene como una opción práctica y de fácil aplicación, sobre todo en laboratorios donde no se cuenta con equipos sofisticados. Aunque su rendimiento puede ser menor, este método resulta muy útil para dar los primeros pasos en una investigación, ya que ayuda a establecer condiciones iniciales de trabajo. De esta forma, el baño María sigue siendo una alternativa válida que permite obtener resultados confiables y servir como base para aplicar más adelante procesos de extracción más avanzados en el salvado de arroz.

3.6. Procesamiento de datos

3.6.1. Tratamientos

Tabla 2

Tratamientos.

Tratamientos	Método de extracción	tiempo	Temperatura/velocidad	Masa del salvado
T1	Licuadaora 1	20mn	2 velocidad	10 g
T2	Licuadaora 1	20mn	2 velocidad	10 g
T3	Baño maría 1	20 mn	60 °C	10 g
T4	Baño maría 1	20 mn	60 °C	10 g
T5	Licuadaora 2	30mn	3 velocidad	10 g
T6	Licuadaora 2	30 mn	3 velocidad	10 g
T7	Baño maría 2	30 mn	100 °C	10 g
T8	Baño maría 2	30 mn	100 °C	10 g

Nota: Los tratamientos (T1–T8) corresponden a diferentes combinaciones de métodos de extracción de ácido ferúlico del salvado de arroz, variando en tiempo, temperatura/velocidad y masa del salvado utilizada.

3.6.2. Análisis de varianza

Los datos recolectados en cada variable se analizaron estadísticamente, y se calcularon los parámetros de la estadística descriptiva: media, desviación estándar, coeficiente de variación y error estándar. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de varianza para comparar los tratamientos con base en las fuentes de variación que aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3

Fuentes de variación y grados de libertad.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamiento	$8-1=7$
Repeticiones	$5-1=4$
Error experimental	28
Total	39

Nota: La fuente de variación incluye los tratamientos, las repeticiones y el error experimental; los grados de libertad se calcularon restando 1 al número de niveles o repeticiones correspondientes, y el total corresponde a la suma de todos los grados de libertad.

Para detectar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para las variables analizadas, se aplicó la prueba de Tukey al 5 %. Para todos los análisis se empleará en el software de análisis estadístico *Infostat*.

3.7. Datos evaluados

3.7.1.1. Contenido de ácido ferúlico presente en el salvado de arroz de origen local.

Para determinar el contenido de ácido ferúlico en muestras de salvado de arroz trituradas con origen local, se produjo una curva estándar de la solución madre de 100 mg/ml de vitamina C. Se hicieron diluciones acuosas de la solución madre y destilada, que obtuvieron la concentración final especificada en la Tabla 4, estas soluciones estándar permitieron determinar la relación de concentración y absorción, luego utilizada como referencia para la determinación cuantitativa.

Para determinar el contenido del ácido ferúlico en el salvado de arroz del origen local, se produjo inicialmente la resolución principal de este compuesto, lo que sirvió como referencia a la estructura de la curva estándar. Esta solución se realizó con un ácido ferúlico puro disuelto en el disolvente apropiado, asegurando su completa homogeneidad y estabilidad para una mayor dilución. La solución de los padres fue la concentración máxima del estudio del que se realizó la dilución en serie del agua destilada, creando los diversos niveles de concentración necesarios para la curva estándar.

Tabla 4

Curva estándar solución madre.

Tubo	Volumen de sol. Madre	Volumen de agua destilada	de Concentración final
E1	1.0 mL	0.0 mL	1
E2	0.8 mL	0.2 mL	0.8
E3	0.6 mL	0.4 mL	0.6
E4	0.4 mL	0.6 mL	0.4
E5	0.2 mL	0.8 mL	0.2
E6	0.1 mL	0.9 mL	0.1
E7	0.0 mL	1.0 mL	0.00 (blanco)

Nota: Los tubos E1–E7 contienen diluciones de la solución madre con agua destilada, donde la concentración final se obtiene proporcionalmente al volumen de solución madre agregado, siendo E7 el blanco sin soluto.

La estructura de la curva estándar se realizó con siete tubos con una concentración específica de ácido ferúlico obtenida combinando cuidadosamente la solución más antigua con agua destilada. Las tuberías E1 tenían una concentración de 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 y 0.1 mg/ml, pero el tubo E7 se

usó como blanco, que contiene solo agua destilada. Cada dilución se realizó con precisión con pipetas calibradas, garantizó la precisión de cada punto de curva y la confiabilidad de la concentración.

Luego se midió la absorción de cada dilución utilizándola app Spertroid, lo que permite la evaluación indirecta de la intensidad del color. Los valores obtenidos fueron cuidadosos y relacionados con las concentraciones apropiadas de cada tubo. Con estos datos, se desarrolló una curva de calibración, que atrae la concentración del eje x y la absorción del eje Y, que permitió crear una relación lineal, que sirvió como base para la determinación cuantitativa del ácido ferúlico en muestras de salvado de arroz.

El tratamiento permitió una curva de calibración confiable a través de la cual se compararon los valores de absorción de la muestra de arroz previamente tratados. La interpolación de estos valores en la curva estándar facilita la determinación del contenido de ácido ferúlico expresado en mg/ml. Este método garantizó la precisión y reproducción de sus resultados.

3.7.1.2. Evaluar el potencial antioxidante del ácido ferúlico extraído.

El potencial antioxidante del ácido ferúlico extraído se evaluó aplicando los extractos a rodajas de manzana fresca de 2 x 2 cm de grosor uniforme. Estas rodajas se cortaron cuidadosamente para asegurar superficies homogéneas y comparables entre tratamientos, evitando así que las diferencias de tamaño o grosor afectaran los resultados. Esta estandarización inicial permitió que cada muestra recibiera la misma cantidad de compuesto, asegurando que las observaciones fueran exclusivamente atribuibles a la actividad antioxidante del ácido ferúlico.

Los extractos de ácido ferúlico se aplicaron a diferentes concentraciones obtenidas a partir de la curva de calibración previamente preparada. Paralelamente, se utilizaron soluciones de vitamina C como control positivo y

agua destilada como control negativo. Este diseño experimental permitió realizar comparaciones claras entre tratamientos, evaluando cómo cada concentración de ácido ferúlico protegía las rodajas de manzana contra el pardeamiento enzimático en comparación con un antioxidante conocido y un escenario sin protección.

La evaluación cualitativa del pardeamiento se realizó visualmente a intervalos de 0, 10, 30 y 60 minutos. Se utilizó una escala de 0 a 3, donde 0 corresponde a ausencia de pardeamiento, 1 a pardeamiento leve, 2 a pardeamiento moderado y 3 a pardeamiento severo. Esta observación permitió identificar de forma rápida y directa el efecto protector de diferentes concentraciones de ácido ferúlico en las hojas, demostrando que el aumento de las concentraciones del compuesto se asociaba con una disminución de los niveles de oxidación.

Para complementar la evaluación visual, se realizó un análisis cuantitativo midiendo los cambios de color en formato RGB y los componentes L-light. La disminución de la luz se interpretó como un indicador objetivo del grado de pardeamiento, proporcionando datos precisos que confirmaban y reforzaban las observaciones cualitativas. Este método permitió detectar diferencias sutiles entre tratamientos, que de otro modo podrían pasar desapercibidas con la simple evaluación visual.

Finalmente, mediante la integración de los resultados cualitativos y cuantitativos, se determinó de forma fiable el potencial antioxidante del ácido ferúlico extraído. Se estableció una relación directa entre la concentración del compuesto y su efecto protector contra el pardeamiento enzimático, lo que demuestra el significativo potencial antioxidante del ácido ferúlico. Este enfoque combinado garantiza resultados reproducibles y proporciona una base sólida para futuras aplicaciones del extracto en alimentos o productos naturales, donde la prevención de la oxidación es crucial.

1.1. Aspectos éticos

En el contexto de la investigación científica, el plagio consiste en utilizar ideas o contenidos ajenos como si fueran propios. Es plagio, tanto si obedece a un acto deliberado como a un error. La práctica de aspectos éticos, se garantiza de conformidad en lo establecido en el Código de Ética de la UTB. Para la aprobación de la UIC, se generará un reporte del software anti-plagio, para garantizar la aplicación de aspectos éticos, con los que el estudiante demostrará honestidad académica, principalmente al momento de redactar su trabajo de investigación. Los docentes actuarán de conformidad a lo establecido en el Código de Ética de la UTB, y demostrarán honestidad académica, principalmente al momento de orientar a sus estudiantes en el desarrollo de la UIC.

Artículo 25.- Criterios de Similitud en la Unidad de Integración Curricular. – En la aplicación del Software anti-plagio se deberá respetar los siguientes criterios:

Porcentaje de 0 al 15%: Muy baja similitud (TEXTO APROBADO)

Porcentaje de 16 al 20%: Baja similitud (Se comunica al autor para corrección)

Porcentaje de 21 al 40%: Alta similitud (Se comunica al autor para revisión con el tutor y corrección)

Porcentaje Mayor del 40%: Muy Alta Similitud (TEXTO REPROBADO)

CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Resultados

4.4.1 Contenido de ácido ferúlico (mg/g)

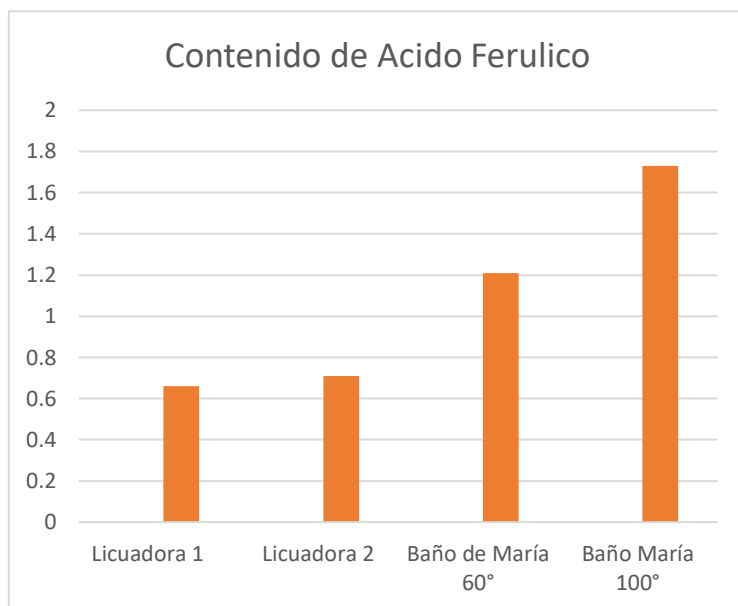
En la Tabla 6 se muestran los resultados del análisis de varianza para el contenido de ácido ferúlico, evidenciando diferencias altamente significativas entre los métodos de extracción ($p < 0,01$) y significativas para el tiempo de extracción ($p < 0,05$). De igual manera, la interacción método * tiempo presento significancia estadística ($p < 0,05$), lo que refleja que la combinación de ambos factores influyo en la liberación del compuesto.

De acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), el mayor contenido de ácido ferúlico se obtuvo con el método Baño María a 100°C (1,73 mg/g), resultando significativamente superior a los demás tratamientos, seguido por Baño María a 60°C (1,21 mg/g). Por su parte, los métodos con licuadora registraron valores más bajos (0,66 y 0,71 mg/g).

En cuanto al factor tiempo, a los 20 minutos se alcanzó un valor promedio de 1,13 mg/g, el cual supero ligeramente a los 30 minutos (1,03 mg/g). Respecto a la interacción, la combinación se registró en los tratamientos con licuadora a 20 minutos (0,58 mg/g). En la tabla 5 se muestra que el método de extracción térmico favoreció una mayor liberación de ácido ferúlico en comparación con los métodos mecánicos, destacando la efectividad del Baño María a mayor temperatura.

Figura 1

Contenido de ácido ferúlico según método de extracción.



Nota: La figura muestra el contenido de ácido ferúlico (mg/g) obtenido mediante diferentes métodos de extracción: licuadora 1, licuadora 2, y baño de María a 60 °C y 100 °C, indicando que el aumento de temperatura favorece la extracción del compuesto.

4.1.2 Porcentaje de capacidad antioxidante.

El análisis de Varianza mostro diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los métodos de extracción, mientras que el tiempo de extracción por si solo no presento significancia estadística ($p > 0,05$). Sin embargo, la interacción método x tiempo si fue significativa ($p < 0,05$), lo que indica que la combinación de ambos factores influyo en el comportamiento de la capacidad antioxidante.

De acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), el mayor potencial antioxidante se obtuvo con los tratamientos de Baño María a 100°C y Baño María a 60°C con tiempo de 30 minutos (40,40 % y 39,40 %,) valores que resultaron

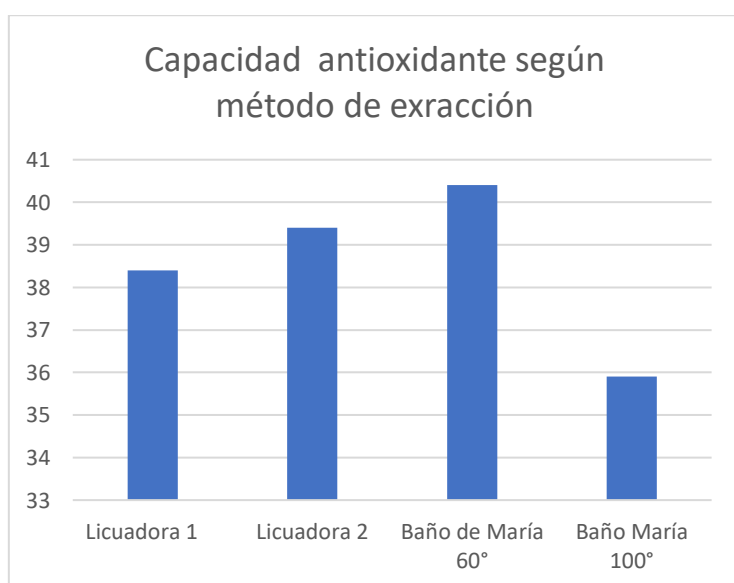
estadísticamente superiores. Los menores porcentajes correspondieron al Baño María a 100°C a 20 minutos (35,90%) y a la licuadora a 20 minutos (35,90 %).

Al analizar los resultados junto con el contenido de ácido ferúlico, se observa una correlación positiva: los tratamientos con la mayor concentración de ácido ferúlico (baño María a 100 °C, 30 minutos: 1,73 mg/g; baño María a 60 °C, 30 minutos: 1,21 mg/g) también presentan la mayor actividad antioxidante. Esto concuerda con estudios previos que indican que el ácido ferúlico es uno de los principales compuestos responsables de la capacidad antioxidante del salvado de arroz, y que su liberación se ve potenciada por el calor (Almeida, 2024; Medrano Vázquez, 2023).

El coeficiente de variación registrado (10,82 % para el contenido de ácido ferúlico y 4,66 % para la capacidad antioxidante) indica que los datos son consistentes y reproducibles, lo que refuerza la fiabilidad de los resultados. En conjunto, estos hallazgos demuestran que el método de extracción y la interacción a lo largo del tiempo son factores clave para optimizar el rendimiento de los compuestos fenólicos bioactivos y su potencial antioxidante.

Figura 2

Capacidad antioxidante según método de extracción.



Nota: Capacidad antioxidante del salvado de arroz según el método de extracción. Los resultados muestran que el método de baño de María a 60 °C presentó la mayor capacidad antioxidante, mientras que el baño de María a 100 °C tuvo la menor. Los métodos con licuadora presentaron valores intermedios.

Tabla 5

Resultados arreglo factorial para las variables Contenido de ácido ferúlico y potencial antioxidante.

Factor A	Factor B	Contenido ácido ferúlico	Potencial antioxidante
Métodos			
Licuadora 1		0.66	38.40
Licuadora 2		0.71	39.40
Baño de María 60°		1.21	40.40
Baño María 100°		1.73	35.90
Tiempos			
	20 minutos	1.13	38.78
	30 minutos	1.03	38.28
Métodos x tiempos			
Baño Maria 100	30	1.73	40.40
Baño Maria 100	20	1.73	40.40
Baño Maria 60	30	1.21	39.40
Baño Maria 60	20	1.21	39.40
Licuadora 2	30	0.83	39.40
Licuadora 1	30	0.73	37.40
Licuadora 2	20	0.58	35.90
Licuadora 1	20	0.58	35.90
Promedio general		16.65	489.95
Significancia	Factor A	**	**
	Factor B	*	ns
	Interacción	*	*
Coefficiente de variación		10.82	4.66

Nota: Los valores corresponden al contenido de ácido ferúlico (mg/g) y al potencial antioxidante (% DPPH) obtenidos según los factores evaluados:

método de extracción (Factor A) y tiempo de extracción (Factor B). Significancia: $p < 0.01$ (Δ), $p < 0.05$ (δ), no significativo (ns). Los promedios representan la media de tres repeticiones. CV: coeficiente de variación.

4.2. Discusión

Los resultados logrados en este estudio muestran que el método de extracción tiene un efecto significativo tanto en el contenido de ácido ferúlico como en los extractos de arroz, aplastados en las capacidades de los antioxidantes para ambas variables. Como lo explican Aarabi et al. (2016), la temperatura y la concentración básica tienen un impacto significativo en el rendimiento de la extracción: las condiciones blandas ($\approx 41^\circ \text{C}$ con NaOH 2 M durante 12 horas) pueden optimizar mejoras sin amenazar el compuesto, mientras que la temperatura más alta o el ácido ferúlico inducido por alcalina más agresivo.

Aunque se obtuvo una mayor liberación de las articulaciones a 100°C , el tratamiento a 60°C permitió que la capacidad antioxidante (40.40%) se mantenga, incluso la superar a la concentración más alta. Este comportamiento coincide con lo que Wong et al. (2014), señalando que los compuestos fenólicos como el ácido ferúlico tienden a deteriorarse cuando la temperatura excede ciertas fronteras ($\sim 70^\circ \text{C}$). Además, el calor excesivo, que causa reacciones polimerizantes que reducen la actividad antioxidante. Por lo tanto, el uso de temperaturas moderadas es más adecuado para mantener la funcionalidad antioxidante de los extractos.

En comparación con el tiempo de extracción, se observó que 30 minutos permitieron más procesamiento de ácido ferúlico en comparación con 20 minutos, afirmando que el período más largo facilita la distribución y la excreción del compuesto, como se informó en estudios anteriores (Pyrzynska, 2024). Sin embargo, esta mejora fue menos pronunciada en los métodos mecánicos que coinciden con los estudios que indican restricciones en estos procedimientos

para dividir efectivamente la matriz celular, especialmente en comparación con el tratamiento térmico controlado (Han et al., 2023).

CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados mostraron que, en el salvado de arroz local, los métodos de extracción térmica, en particular un baño de agua a 100 °C, produjeron la mayor concentración de ácido ferúlico, alcanzando 1,73 mg/g. Esto demuestra que la temperatura es un factor determinante en la eficiencia del proceso de extracción e indica que los métodos térmicos son los más adecuados para obtener altos rendimientos de este compuesto a partir del salvado de arroz.

Una comparación de los métodos de extracción en verde mostró que los tratamientos con mezcladora produjeron concentraciones más bajas de ácido ferúlico 0,66–0,71 mg/g, lo que sugiere que los métodos mecánicos liberan menos compuestos fenólicos. Además, la interacción entre el método de extracción y el tiempo demostró un efecto significativo en la recuperación de ácido ferúlico, lo que destaca la importancia de optimizar estos dos factores para maximizar la eficiencia del proceso.

Respecto al potencial antioxidante del ácido ferúlico, los porcentajes más altos 40,40 % y 39,40 % se obtuvieron tras tratamientos con baño maría a 100 °C y 60 °C durante 30 minutos, lo que indica que la aplicación de calor no solo facilita la liberación del compuesto, sino que también potencia su actividad antioxidante. Los tratamientos con tiempos de extracción más cortos o realizados con mezclador presentaron los valores más bajos, lo que confirma que la temperatura y la duración del proceso son factores clave para aumentar la capacidad antioxidante del extracto.

5.2. Recomendaciones

Realizar estudios complementarios que evalúen la influencia de otros parámetros de extracción, como el tipo de solvente verde, la temperatura y la agitación, para optimizar aún más la obtención de ácido ferúlico y otros compuestos fenólicos presentes en el salvado de arroz.

Analizar de manera específica la contribución de metabolitos adicionales al ácido ferúlico, por ejemplo, flavonoides y γ -oryzanol en la capacidad antioxidante total, con el fin de comprender de manera integral el perfil bioactivo del extracto.

Explorar formulaciones que incorporen extractos ricos en ácido ferúlico provenientes de métodos verdes, dado su potencial antioxidante, antiinflamatorio y fotoprotector, lo que contribuiría al desarrollo de productos naturales con alto valor agregado.

REFERENCIAS

- Almeida, M. N. (2024). Desarrollo de una técnica electroquímica para la cuantificación de ácido ferúlico presente en bagazo de cerveza, cáscara de arroz y salvado de trigo [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio UCE. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/a01ea386-3fac-4e02-b33b-ddba58cd9b7e>
- Aarabi, A., Honarvar, M., Mizani, M., Faghihian, H. y Gerami, A. (2016). Extracción y purificación de ácido ferúlico como antioxidante de la pulpa de remolacha mediante hidrólisis alcalina. *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación*, ID del manuscrito n.º 143.
- Bezerra, F. de S., & Bello Koblitz, M. G. (2025). Extraction of Phenolic Compounds from Agro-Industrial By-Products Using Natural Deep Eutectic Solvents: A Review of Green and Advanced Techniques: Una revisión de técnicas ecológicas y avanzadas. *Separations*, 12(6), 150. <https://www.mdpi.com/2297-8739/12/6/150>
- Bonifacino, C. (2024). Obtención de una fracción rica en fibra y proteína a partir de salvado de arroz desgrasado, caracterización y evaluación de sus propiedades tecnofuncionales y bioactivas (Tesis de grado, Universidad de la República, Uruguay). Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/>
- Cerisuelo, A. (2023). *El salvado de arroz como materia prima*. NutriNews LATAM. Recuperado de <https://nutrinews.com/salvado-de-arroz-como-materia-prima/>
- Fundación FEDNA. (2020). Salvado de arroz blanco rico en grasa (17 % EE). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/salvado-de-arroz-blanco-rico-en-grasa-17-ee

- González, L., Pérez, M., & Sánchez, J. (2022). Extraction of ferulic acid from rice bran using NADES-ultrasound methods. *Journal of Food Process Engineering*.
- Gobierno Provincial de Los Rios. (2023). Informe anual sobre producción agrícola y gestión ambiental.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2022). Censo agropecuario Ecuador 2022.
- Han, H., Dye, L. & Mackie, A. (2023). El impacto del procesamiento en la liberación y la capacidad antioxidante del ácido ferúlico del trigo: una revisión sistemática. *Food Research International*, 164, 112371.
- Khan, K. A., et al. (2024). Ferulic acid: Therapeutic potential due to its antioxidant properties, role in plant growth, and stress tolerance. *Plant Growth Regulation*, 104(3), 1329–1353.
- Martillanes, S. (2021). Obtención de compuestos fenólicos del salvado de arroz mediante tecnologías verdes. Tesis doctoral, Universidad de Extremadura.
https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/11663/1/TDUEX_2021_Martillanes_Costumero.pdf#page=1
- Miftahurrahmi, M., Estiasih, T., & Wulan, S. N. W. (2022). Bioactive compounds of rice bran and their potential health benefits in the development of functional foods: A review. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE)*.

- Liu, Z., Shi, E., Ma, F., Zhou, X., & Jiang, K. (2022). Improved Release of Monosaccharides and Ferulic Acid Using Enzyme Blends From *Aspergillus Niger* and *Eupenicillium Parvum*. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 9, 814246
- Saji N, Francis N, Schwarz LJ, Blanchard CL, Santhakumar AB. The Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of Rice Bran Phenolic Extracts. *Foods*. 2020 Jun 24;9(6):829. doi: 10.3390/foods9060829. PMID: 32599964; PMCID: PMC7353521.
- Rentería, J., González, H., Vázquez, L., Robles, M., & Pinelli, A. (2021). Acido ferúlico en el comportamiento productivo y metabolitos urinarios en becerros destetados. <https://www.redalyc.org/journal/7262/726276429003/>
- Pérez, C. (2016). *Evaluación del efecto protector de un extracto enzimático de salvado de arroz frente al estado inflamatorio presente en el proceso aterosclerótico* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Repositorio institucional. <https://core.ac.uk/download/pdf/132460167.pdf>
- Pokkanta, P., Yuenyong, J., Mahatheeranont, S. (2022). Tratamiento con microondas del salvado de arroz y su efecto sobre el contenido fitoquímico y la actividad antioxidante. *Sci Rep* 12, 7708. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11744-1>
- Pyrzynska, K. (2024). Ácido ferúlico: Breve revisión de su extracción, biodisponibilidad y actividad biológica., 11(7), 204. <https://doi.org/10.3390/separations11070204>
- Rocha, M., Xavier, L., & Zecchi, B. (2025). Optimizing autohydrolysis conditions for production for production of ferulic and p-coumaric acids with antioxidant activity from rice husk. *Agrocienc Urug*, 29(NE1), e1591

<https://agrocienzauruguay.uy/index.php/agrocienza/article/view/1591?time=1753554190?time=1754604791>

Torres, M., & Pérez, L. (2021). Valoración de residuos agroindustriales en la provincia de Los Ríos: una oportunidad para la economía circular. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 9(2), 45-58. <https://revistacienciasagropecuarias.uo.edu.ec/index.php/agropecuaria/article/view/123>

Truong, H. T., Luu, P. D., Imamura, K., Matsubara, T., Takahashi, H., Takenaka, N., ... & Maeda, Y. (2017). Binary solvent extraction of tocopherols, γ -oryzanol, and ferulic acid from rice bran using alkaline treatment combined with ultrasonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(24), 4897-4904.

Vázquez, F., Monforte, M., Miranda, M. de L., & Castro, L. (2017). Transformation of ferulic acid and vanillin by isolated placentas of *Capsicum chinense* and *Capsicum annum*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 61(1), 54–59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47551118008>

Villanueva, M. P., Gioia, C., Sisti, L., Martí, L., Llorens-Chiralt, R., Verstichel, S., & Celli, A. (2022). Valorización del ácido ferúlico de subproductos agroindustriales para su aplicación en la agricultura. *Polymers*, 14(14), 2874. <https://doi.org/10.3390/polym14142874>

Wong, Y. H., Lau, H. W., Tan, C. P., Long, K. & Nyam, K. L. (2014). Efectos del sistema de extracción con solventes binarios y el tiempo de extracción en los antioxidantes fenólicos de semillas de kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) extraídas con un sistema de extracción ultrasónica pulsada. *The Scientific World Journal*, 2014, 789346. <https://doi.org/10.1155/2014/789346>

Wongwaiwech, D., Kamchonemenukool, S., Ho, C. T., Li, S., Majai, N., Rungrat, T., ... & Weerawatanakorn, M. (2023). Bioactives from crude rice bran oils extracted using green technology. *Molecules*, 28(6), 2457.

Zhou, M., Fakayode, O. A., & Li, H. (2023). Extracción ecológica de polifenoles mediante solventes eutécticos profundos y tecnologías asistidas a partir de subproductos agroalimentarios. *Foods*, 12(19), 3694.

ANEXOS

Figura 3

Salvado de arroz, extendida en bandejas para su pre tratamiento. Paso clave para eliminar exceso de humedad.



Figura 4

Secado del salvado de arroz (*Oryza sativa L.*) en estufa convección a temperatura controlada.



Figura 5

Proceso de pesaje del Salvado e arroz previamente secado, utilizando una balanza digital de precisión. Este proceso permite determinar con exactitud la cantidad de muestra necesaria para llevar a cabo una extracción eficiente



Figura 6

Preparación del solvente para la extracción de ácido ferúlico a partir de salvado de arroz, parte esencial para garantizar la eficiencia del método de extracción.



Figura 7

Proceso de preparación y protección de matraces Erlenmeyer para su posterior uso en experimentos, asegurando condiciones controladas y evitando contaminación.



Figura 8

Proceso de filtrado de extracto obtenido a partir de salvado. Este paso permite separar lo sólidos remanentes del líquido, garantizando la obtención de un extracto limpio para los análisis posteriores



Figura 9

Evaluación de las muestras a analizar, utilizando rodajas de manzana como sustrato aplicando el extracto. Este procedimiento permite observar y registrar los efectos generados por la interpretación de los resultados



Figura 10

Proceso de toma y registro de datos obtenidos durante la evaluación de las muestras

