



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías Ingeniería Agroindustrial

ENSAYO O ARTÍCULO CIENTÍFICO

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO

AGROINDUSTRIAL

TEMA:

**Fermentación en medio sólido del chocho (*Lupinus mutabilis*) y fréjol pallar
(*Phaseolus lunatus*) mediante el uso del hongo *Rhizopus* spp.**

AUTORAS:

GARCIA MERO GABRIELA MONSERRAT

MAJAO LAZ KARLA MARIANELA

TUTOR:

STALIN GUSTAVO SANTACRUZ TERAN, PhD.

Manta – Manabí – Ecuador

2025 (1)



Manta 16 de septiembre del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

Nosotras, Majao Laz Karla Marianela, con numero de cedula 131573569-4 y García Mero Gabriela Monserrat con numero de cédula 135136577-8 estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología, declaramos que todos los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación con el tema “Fermentación en medio sólido del chocho (*Lupinus mutabilis*) y fréjol pallar (*Phaseolus lunatus*) mediante el uso del hongo *Rhizopus* spp.”, previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, bajo la supervisión del tutor Ing. Stalin Gustavo Santacruz Terán, PhD, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas, por lo que son de mi exclusiva responsabilidad.

García Mero Gabriela Monserrat

C.I. : 135136577-8

Majao Laz Karla Marianela

C.I. : 131573569-4



CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnología de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de estudiante García Mero Gabriela Monserrat legalmente matriculado/a en la carrera de Agroindustria, período académico 2025(1), cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto es "Fermentación en medio solido del chocho (*Lupinus mutabilis*) y frejol pallar (*Phaseolus Lunatus*) mediante el uso del hongo *Rhizopus spp*".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar Manta, 18 de agosto de 2025.

Lo certifico,

Ing. Stalin Gustavo Santacruz Terán, PhD
Docente Tutor(a)
Área: Agroindustria



Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi fuente de fortaleza en cada paso de este camino académico. A mis profesores, por compartir su conocimiento, guía y experiencia, que han contribuido de manera invaluable a mi formación. Y a mi pareja, por su paciencia, comprensión y motivación constante, que hicieron posible que cada desafío se convirtiera en aprendizaje.

Este logro es fruto de su apoyo y confianza, y es un reflejo de la inspiración que me brindan día a día.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de manera directa o indirecta, hicieron posible la realización de esta tesis.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mis capacidades. Gracias por enseñarme con su ejemplo la importancia del esfuerzo, la perseverancia y la dedicación; sin su respaldo, este logro no hubiera sido posible.

A mis profesores y tutores, por compartir generosamente su conocimiento, por su guía, paciencia y dedicación durante todo el proceso académico. Su orientación fue fundamental para enfrentar los desafíos de la investigación y alcanzar los objetivos propuestos.

A mi pareja, por su comprensión, motivación y acompañamiento constante. Su apoyo emocional y confianza en mí me brindaron la fuerza necesaria para superar los momentos difíciles y mantenerme enfocada en este proyecto.

A mis compañeros, amigos y colegas que ofrecieron su colaboración, ideas y sugerencias, enriqueciendo la calidad de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las instituciones y personas que, de alguna manera, contribuyeron al desarrollo de esta investigación, proporcionándome recursos, información y apoyo logístico. Este trabajo es el reflejo del esfuerzo conjunto, la confianza y el respaldo de todos ustedes, a quienes extiendo mi más profunda gratitud.



Fermentación en medio sólido del chocho (*Lupinus mutabilis*) y fréjol pallar (*Phaseolus lunatus*) mediante el uso del hongo *Rhizopus* spp.

1. Resumen

Este análisis exploró la aplicación del hongo *Rhizopus* spp en la fermentación sólida de dos leguminosas: el chocho y el fréjol, con la finalidad de potenciar su valor nutricional y funcional. Se llevó a cabo un procedimiento regulado de fermentación, analizando el desarrollo del micelio y las variaciones en la composición proximal de las muestras, donde se indicó que el hongo *Rhizopus* spp presenta una capacidad de adaptación dentro de rango de temperatura de 30-35 °C, la cual estas temperaturas fueron utilizadas en el estudio, lo que promueve de manera notable el crecimiento del hongo en ambos sustratos, en la fermentación, se notaron alteraciones significativas: en el chocho se observó una leve mejora en el contenido de proteínas y cenizas, así como un aumento en lípidos, lo que se asocia con la acción enzimática del hongo y la acumulación de biomasa microbiana. Por otro lado, en el fréjol, la fermentación incrementó notablemente las proteínas, pero disminuyó los lípidos y carbohidratos, ya que el hongo utiliza estos nutrientes como fuente energética.

Palabras clave: fermentación en estado sólido, *Rhizopus* spp, chocho, fréjol, composición proximal

2. Abstract

This analysis explored the application of the fungus *Rhizopus* spp in the solid fermentation of two legumes: lupin and beans, with the purpose of enhancing their nutritional and functional value. A regulated fermentation procedure was carried out, analyzing the development of the mycelium and the variations in the proximate composition of the samples, where it was indicated that the fungus *Rhizopus* spp presents an adaptation capacity within the temperature range of 30-35 °C, which were used in the study, which notably promotes the growth of the fungus in both substrates. In the fermentation, significant alterations were noticed: in lupin, a



slight improvement in the protein and ash content was observed, as well as an increase in lipids, which is associated with the enzymatic action of the fungus and the accumulation of microbial biomass. On the other hand, in beans, fermentation notably increased proteins, but decreased lipids and carbohydrates, since the fungus uses these nutrients as an energy source.

Keywords: solid-state fermentation, *Rhizopus* spp, lupin, bean, proximate composition

3. Introducción

En las últimas décadas, el mundo ha experimentado profundos cambios en los patrones de consumo alimenticio, motivados por una creciente preocupación por la salud humana, el bienestar animal y la sostenibilidad ambiental. La industria agroalimentaria enfrenta un importante desafío que es crear productos alimenticios que no solo cubran las demandas nutricionales de una población en aumento, sino que también se alineen a los principios de sostenibilidad planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en sus objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Nations, 2002).

Por otro lado, se puede indicar que la producción ganadera depende de las proteínas animales y genera un fuerte impacto en el medio ambiente, destacándose por el uso excesivo de recursos, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la emisión de gases como metano, y óxido nitroso, por lo cual, estos gases tienen un poder calorífico 25 y 289 veces superior al dióxido de carbono, Tipan-Torres (2024), por lo tanto, pese al enorme consumo de recursos, la proteína animal contribuye apenas con el 18% del total de calorías y el 37% de la proteína en la dieta global, mientras que ocupa el 83% de la superficie agrícola mundial y es responsable del 60% de las emisiones de GEI del sistema alimentario.

Las leguminosas tales como el frejol (*Phaseolus lunatus*) y el chocho o lupino (*Lupinus mutabilis*), se presenta como una alternativa estratégica para diversificar la alimentación y disminuir la presión sobre los recursos naturales. Además de ser alimentos que aporta gran cantidad de proteína, vitaminas, y minerales, su cultivo consume considerablemente menos agua en comparación con los productos de origen animal, por ejemplo, para obtener una libra de carne de res puede requerir hasta 1800 galones de agua, el cultivo de leguminosas necesita entre 80 y 280 galones por libra (Hallock, 2014). Además, estas plantas tienen la capacidad de convertir



nitrógeno del aire en formas que el suelo puede absorber, mediante su asociación por bacterias rizobiales, lo que incrementa la fertilidad del suelo y disminuye el uso de fertilizantes (Olmedilla et al., 2010).

Ecuador, ubicado en el centro de domesticación de plantas de la región Andina, tiene una amplia variedad de cultivos con alto valor nutricional, pero algunos de ellos están siendo poco aprovechados, por ejemplo, el chocho que se consume como tradición en la Sierra ecuatoriana, y también que se destaca por su elevado contenido proteico y su capacidad para adaptarse a diferentes climas (Peralta, 2016). Sin embargo, a pesar de tener tantas cualidades, este sigue siendo subutilizado en la alimentación nacional.

En efecto, para incrementar tanto el valor nutritivo como sus características organolépticas se puede implementar métodos de fermentación, por la cual, su modalidad representa una técnica biotecnológica empleada tanto en regiones de Asia como África, ya que estas se basan en el uso de sustratos sólidos con bajo nivel de humedad, entre estos se logran destacar los hongos filamentosos del género *Rhizopus* spp (Castañeiras, 2016).

Rhizopus spp, es un hongo filamentoso, este se logra distinguir por su capacidad para poderse desarrollar en diferentes condiciones tanto de temperatura al igual que de humedad, por lo que se convierte en un organismo para emplear la fermentación en medio sólido, por otra parte, este hongo se utiliza en la producción de alimentos fermentados como el tempeh y el miso (Cano et al., 2021), además durante la fermentación se facilita la descomposición de macromoléculas como las proteínas y almidones (Panjón, 2022).

La fermentación de legumbres, como el fréjol y el chocho, podría originarse de productos innovadores, los cuales mejoren la aceptación sensorial y presenten perfil nutricional, asimismo, esta implementación es importante para diversificar la oferta de alimentos fermentados, de la misma manera, este tipo de productos podría desempeñarse como la lucha contra la malnutrición, ya que ofrecen proteicas accesibles, sostenibles y apropiadas para diferentes comunidades (Bianco & Cenzano, 2018).

Por otro lado, el fréjol pallar (*Phaseolus lunatus*), que se encuentra entre las especies más cultivadas y consumidas en el mundo, ofrece también importantes posibilidades para su



mejora mediante la fermentación. Su proceso de domesticación y uso en América es tan antiguo como el de maíz, siendo un elemento fundamental en las dietas tradicionales de Mesoamérica y los Andes (Martínez et al., 2023). A pesar de que su contenido proteico ya es alto, el proceso de fermentación podría potenciar aún más su calidad proteica y sensorial, al eliminar o disminuir compuestos no deseados, como los oligosacáridos no digeribles, que provocan trastornos gastrointestinales en ciertas personas (Herrera, 2021).

Por lo tanto, si hablamos de términos tecnológicos, la fermentación en medio sólido es imprescindible para poder así controlar los factores de temperatura, humedad, pH y el tiempo de incubación para mejorar el crecimiento bacteriano, por lo que, es necesario establecer y normalizar condiciones ideales para cada leguminosa mediante este proceso riguroso de experimentación, por lo tanto, se deben evaluar estas características para poder asegurar la aceptación del producto final por los consumidores (Adebo et al., 2022).

A nivel académico, la presente investigación busca llenar un vacío importante en la literatura científica nacional, donde existe escasa documentación sobre el uso de técnicas biotecnológicas como la Fermentación en medio sólido (FMS) en la transformación de cultivos andinos autóctonos. Al mismo tiempo, se alinea con los objetivos globales de promover sistemas alimentarios más justos, resilientes y sostenibles. La innovación en este campo podría facilitar la transición hacia patrones alimenticios más saludables y respetuosos con el entorno, contribuyendo así a enfrentar problemáticas como el cambio climático, la inseguridad alimentaria y las enfermedades no transmisibles asociadas a dietas desequilibradas.

Esta investigación tiene como propósito explorar el uso del hongo *Rhizopus* spp. en la fermentación del fréjol y del chocho en un medio sólido, con el objetivo de optimizar su composición proximal y sus características organolépticas. La selección de estas dos leguminosas no solo se debe a su elevado valor nutricional, sino también a su importancia cultural y su capacidad para aportar a la sostenibilidad de la alimentación en el Ecuador. Mediante la creación de nuevos productos fermentados, se pretenden brindar una respuesta completa que afronte simultáneamente los retos nutricionales, medioambientales y económicos a la que se enfrenta la sociedad contemporánea.

4. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en los laboratorios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, situada en Manta, Ecuador. Se emplearon dos tipos de leguminosas: haba o fréjol pallar (*Phaseolus lunatus*) y lupino (*lupinus mutabilis*). El haba o fréjol pallar, se consiguió seca Santa Ana, mientras que el lupino cocido se consiguió en el supermercado Supermaxi en Manta.

4.1. Proceso de fermentación

El lupino, fue pelado y posteriormente cocido durante 30 minutos en una solución de agua con vinagre blanco (5 mL por litro de agua) para reducir su pH a 5. Posteriormente, las muestras se dejaron enfriar por 10 minutos y fueron trituradas usando una licuadora (Oster, Ecuador) a baja velocidad por 10 min.

En el caso del haba seca, esta fue sometida a un proceso de remojo durante 24 horas en agua potable. Luego del remojo, se descartó el agua y se cocinó en agua a ebullición durante 25 minutos. A continuación, se dio un segundo proceso de cocción en agua con vinagre blanco (5 mL por litro de agua) a ebullición durante 15 minutos.

Se pesaron 25 g en base seca de lupino y en el caso del haba 40 g, en cajas Petri plásticas estériles de 8,49 cm de diámetro. Se adicionaron 0,1 g de esporas de *Rhizopus* spp. mezclando uniformemente. Las cajas fueron introducidas en fundas plásticas tipo Ziploc perforadas para permitir el ingreso de aire. Cada unidad experimental fue colocada en vasos de precipitación sellados con papel aluminio. Las muestras se incubaron durante 24 horas en un baño María con termorregulador a las temperaturas establecidas de 30 y 35° C

4.2. Cuantificación de biomasa micelial

Se determinó la cantidad de biomasa al medir la superficie del micelio que se formó durante la fermentación de estado sólido. Para ello se inocularon y fermentaron las muestras durante un lapso inicial de 12 horas. Se llevaron a cabo cuatro mediciones del desarrollo micelial en los periodos 0,12,15, 18, 21, 24 horas, empleando una regla para calcular el ancho y largo del micelio. Este procedimiento se efectuó por triplicado para cada temperatura de incubación. Se determinó las áreas de los micelios por pesado mediante la ecuación (1), usando como referencia un cuadrado de área conocida.

$$\frac{\text{Area del cuadrado}}{\text{Peso del cuadrado}} = \frac{\text{Area del hongo}}{\text{Peso del recorte}} \quad (1)$$

4.3. Análisis de composición proximal

El contenido de proteínas se determinó utilizando una metodología basada en el método Kjeldahl, este procedimiento se basó en el método oficial AOAC 984.13. La determinación de lípidos se realizó mediante el método Soxhlet, empleando hexano como disolvente. El procedimiento siguió la metodología oficial AOAC 920.39.

El método de ceniza se realizó por incineración en horno mufla a 600 °C durante 5 horas, hasta la eliminación completa de materia orgánica, según enfoque oficial de AOAC 923.03. El residuo obtenido se expresó como porcentaje del peso seco. El contenido de humedad se determinó por el método oficial AOAC 925.10, que consiste en el secado de la muestra en estufa a 105 °C hasta peso constante. El contenido de carbohidratos totales se estimó por diferencia según el enfoque propuesto por (FAO, 2004).

4.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño unifactorial completamente aleatorio, el cual cuenta con dos niveles para evaluar el efecto de temperatura en el crecimiento de *Rhizopus* spp, sobre estos dos tipos de sustratos haba y lupino, por lo tanto, se aplicaron dos temperaturas de incubación, 30° C y 35°C, manteniendo así las condiciones de pH en 5 y una humedad inicial de 75% el cual no se mantendrá constante durante el proceso, asimismo, este tratamiento se replicó tres veces, lo que resultó en un total de 12 unidades.

5. Resultados y discusión

5.1. Cuantificación de biomasa

Los resultados obtenidos mostraron que el crecimiento micelial de *Rhizopus* spp se evidenció a partir de las 12 horas de incubación, aunque las diferencias entre ambos tratamientos comenzaron a ser notorias a partir desde las 15 horas (Fig 1 y Fig. 2). En el de 35°C se observó un crecimiento micelial más rápido y abundante que en el de 30°C. En el caso del lupino la diferencia significativa se mostró a partir de las 21 horas, mientras que en el haba fue a partir de



las 18 horas de incubación. (Fig. 1 y Fig. 2). Este comportamiento sugiere que el hongo *Rhizopus* spp presenta una capacidad de adaptación dentro de este rango de temperatura. Cabe mencionar que la humedad inicial del sustrato fue de 75 %, sin embargo, durante el proceso de incubación se registraron fluctuaciones de humedad relativa, alcanzando entre 80 % y hasta 97 %.

Este resultado es consistente con lo reportado por Nout & Rombouts (1990), quienes concluyeron que *Rhizopus oligosporus* presenta una tasa máxima de formación de biomasa a 35 y 40°C y en condiciones de humedad relativa de entre 95 % y 99.5 %.

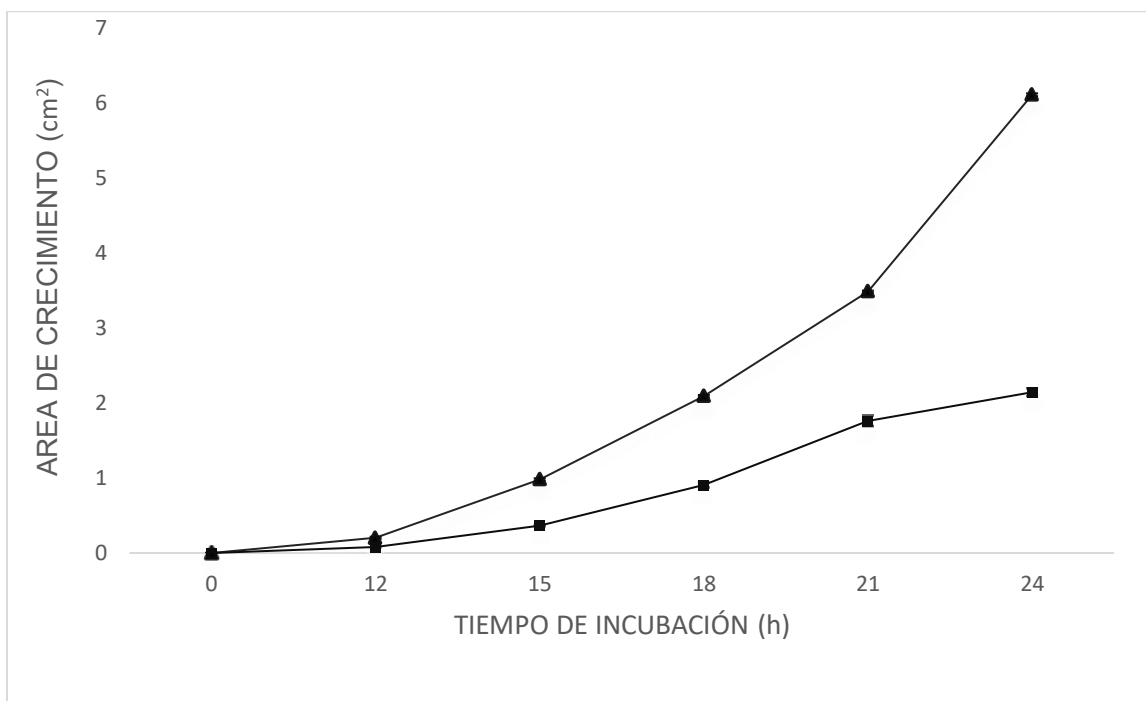


Figura 1. Crecimiento de biomasa de *Rhizopus* spp. en lupino a temperaturas de ■ 30 y ▲ 35°C

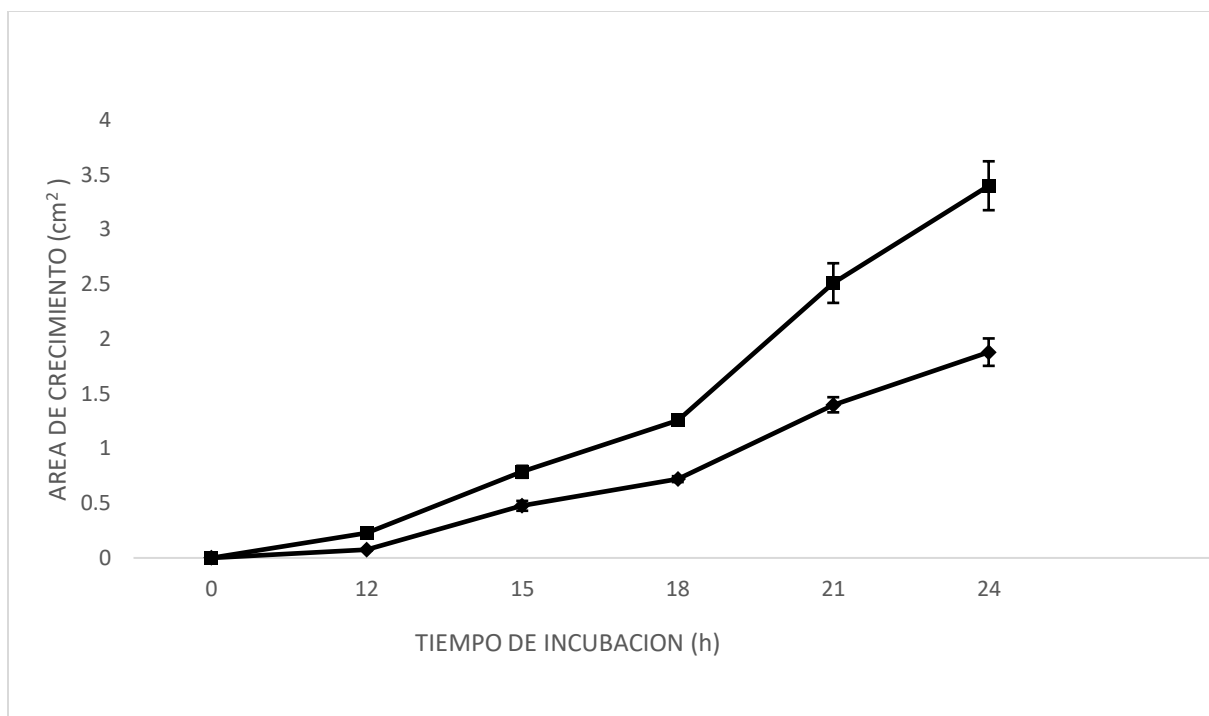


Figura 2. Crecimiento de biomasa de *Rhizopus* spp en haba a temperaturas de ♦ 30 y ■ 35°C

5.2. Composición proximal de lupino (*Lupinus mutabilis*)

En el cuadro (1) se muestra los análisis proximales del estudio en fermentación de chocho en base seca.

Cuadro 1. Análisis estadístico de *Rhizopus* spp en lupino (*Lupinus mutabilis*)

	PROTEÍNA (%)	LÍPIDOS (%)	CENIZA (%)	CARBOHIDRATOS (%)
Con hongo	51,81±0,13 ^b	16,20±0,21 ^a	1,39±0,20 ^a	33,99±0,06 ^b
Sin hongo	47,80±0,24 ^a	18,02±0,14 ^b	1,17±0,01 ^a	29,32±0,42 ^a

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar (n=2). Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba Tukey

Los hallazgos obtenidos del estudio proximal del chocho fermentado *Rhizopus* spp



muestran modificaciones importantes en los componentes nutricionales esenciales, demostrando el efecto beneficioso de la fermentación en estado sólido en la calidad del alimento.

En cuanto al contenido proteico, el tratamiento que incluyó la acción del hongo (C.H) alcanzó un valor de 51,08 %, en contraste con el tratamiento sin fermentación (S.H), que presentó un menor contenido de 47,80 %. (Nout & Kiers, 2005), reportaron que este incremento en la proporción de proteínas puede explicarse por la capacidad de ciertos hongos filamentosos, como *Rhizopus*, para sintetizar biomasa rica en nitrógeno durante la fermentación, lo cual conlleva un aumento en la proteína total. Asimismo, Chaves et al., (2014) indicaron que la actividad enzimática asociada al hongo facilita la hidrólisis de proteínas complejas en compuestos más simples, como péptidos y aminoácidos libres, lo que podría influir en la percepción de un mayor contenido proteico.

El contenido lipídico no hubo diferencia significativa entre las muestras fermentadas y no fermentadas. Según Koutinas et al., (2005), indico que no presentó significancia estadística, lo que podría deberse a la acción limitada de enzimas lipolíticas producidas por *Rhizopus*, las cuales pueden liberar ácidos grasos sin llevar a cabo su completa degradación. Mananga et al., (2021), reportaron que algunas cepas de este hongo son capaces de generar metabolitos derivados de lípidos que permanecen en la matriz fermentada, contribuyendo a leves modificaciones en el contenido total de grasa.

En el contenido de ceniza no hubo diferencia significativa entre ambas muestras. Ramakrishna et al., (2006), indicaron que, durante la fermentación, parte del contenido mineral puede perderse por lixiviación o por su incorporación a la biomasa microbiana.

Alvarez et al., (2011) indicaron que observaron una disminución en la fracción mineral de leguminosas fermentadas, aunque en algunos casos se reporta una mejora en la biodisponibilidad de minerales como hierro y zinc, debido a la reducción de fitatos durante la fermentación.

Para último, este aumento de carbohidratos fermentado 33,99% frente al no fermentado 29,32% podría explicarse porque esta fermentación no tan solo consume carbohidratos, además, ocurre la formación de exopolisacáridos microbianos, por lo que esto, se acumula y aumenta el contenido total medido por los carbohidratos, se puede indicar, que esto contribuye al incremento del valor de carbohidratos tras la fermentación (Tamang et al., 2016).

5.3. Composición proximal de Haba o frejol pallar (*Phaseolus lunatus*)



En el cuadro (2) se observan los resultados que fueron evaluados tras un proceso de fermentación en estado sólido en base seca.

Cuadro 2. Análisis estadístico de Rhizopus spp. en haba (Phaseolus lunatus)

	PROTEÍNA (%)	LÍPIDOS (%)	CENIZA (%)	CARBOHIDRATOS (%)
Con hongo	36,46±0,54 ^a	2,98±0,08 ^a	2,12±0,74 ^a	58,45±0,27 ^a
Sin hongo	21,46±0,00 ^b	6,94±0,12 ^b	2,20±0,09 ^a	69,40±0,03 ^b

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar (n=2). Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba Tukey

Se observó un incremento del contenido de proteína en las muestras fermentadas. Por ejemplo, en la muestra de haba con hongo, la proteína alcanzó un valor de 36,46 %, mientras que en la muestra sin hongo fue de 21,46 %. Este aumento puede atribuirse a la capacidad del *Rhizopus* spp. para sintetizar biomasa microbiana rica en proteínas, así como a su acción proteolítica sobre las proteínas estructurales de las leguminosas, lo cual libera péptidos y aminoácidos más fácilmente asimilables.

Estos resultados coinciden con estudios como el de Nelofer, (2018), quien observó un incremento de proteína en cebada fermentada con *Rhizopus oligosporus*, pasando de 10,25 % a 16,85 %. De igual forma, Canedo et al., (2022) registraron un enriquecimiento proteico significativo en bagazo de cerveza fermentado con *Rhizopus*, elevando la proteína hasta 2–4 veces.

En cuanto a los lípidos, hubo una disminución significativa tras la fermentación. En el haba fermentado se registró un valor de 2,98 %, en contraste con el 6,94 % de la muestra sin fermentar. Este descenso se explica por la producción de lipasas por parte del hongo, las cuales hidrolizan los triglicéridos, liberando ácidos grasos que luego son utilizados por el hongo como fuente energética. Estudios como el de Ukom et al., (2019) indican una reducción del 30 % en el contenido lipídico tras la fermentación con *Rhizopus oryzae*. Asimismo, Nelofer, (2018) explica



que *Rhizopus* spp. degrada los lípidos almacenados para generar ATP, lo que disminuye su presencia en el sustrato final.

Los valores promedio de ceniza no presentaron variaciones entre las muestras fermentadas y no fermentadas ($p > 0,05$). Esto sugiere que el proceso de fermentación en estado sólido con *Rhizopus* spp. no tuvo un impacto sobre la concentración de minerales totales expresados como ceniza.

Resultados similares fueron reportados por Nameni et al., (2024), quienes observaron que el contenido de ceniza en leguminosas fermentadas no varió significativamente tras la fermentación con hongos filamentosos. Según estos autores, la estabilidad de este parámetro podría deberse a que los minerales presentes no se ven afectados por el metabolismo fúngico, o bien, a la baja capacidad del hongo para modificar la fracción mineral de los sustratos.

En definitiva, este contenido de carbohidratos mostró disminución realmente importante tras la fermentación ya que el haba sin hongo tenía 69,40% mientras que el fermentado bajó a 58,45% esto se da debido al consumo de carbohidratos por el hongo especialmente al inicio del crecimiento, por otra parte, según Vellozo et al., (2024) detallan que *Rhizopus* spp. utiliza carbohidratos simples y complejos gracias a la producción de enzimas Cazymes (enzimas asociadas a carbohidratos), lo cual reduce significativamente la proporción de este nutriente en la muestra.

6. Conclusiones

El método de fermentación en medio sólido del haba y lupino con *Rhizopus* spp demostró que el hongo presenta una capacidad de adaptación dentro de rango de temperatura de 30 y 35 °C.

En ambas el crecimiento micelial de *Rhizopus* spp inició a partir de las 12 horas de incubación, obteniendo como mejor tratamiento el de 35°C por su acelerado y abundante aumento de biomasa que en el de 30°C, lo que confirma que la temperatura es un factor determinante en la fermentación en estados sólido. En el lupino la diferencia entre ambas temperaturas se comenzó a diferenciar a partir de las 21 horas, en cambio en el haba fue más notoria a partir desde las 18 horas de incubación.



Por ende, la fermentación en estado sólido de las leguminosas chocho y haba, utilizando el hongo *Rhizopus* spp, provocó modificaciones importantes, lo que demuestra capacidad biotecnológica de dicho método para mejorar el perfil nutricional, por lo tanto, en los resultados evidenciaron distintas tendencias según la especie, porque en el chocho se registró un aumento de proteína y carbohidratos, aunque en el contenido de lípidos no hubo diferencia significativa, mientras que en el haba generó incremento en el contenido proteico, sin embargo, tuvo una reducción considerable en los carbohidratos y lípidos, pero por otro lado, el contenido de cenizas mostro cambios, indicando así que la cantidad total de minerales se mantuvo constante.

Desde una perspectiva agroindustrial, esta técnica puede impulsar el desarrollo de alimentos funcionales de alto valor agregado, a partir de cultivos tradicionales andinos. Asimismo, promueve una alternativa sostenible frente a las fuentes de proteína animal, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible en cuanto a salud, seguridad alimentaria y producción responsable

Se recomienda profundizar en estudios que incluyan análisis de digestibilidad, biodisponibilidad de micronutrientes y evaluación sensorial, con el fin de validar el potencial de estos productos fermentados como opciones viables para mejorar la nutrición en poblaciones locales

7. Referencias

- Adebo, J. A., Njobeh, P. B., Gbashi, S., Oyedeki, A. B., Ogundele, O. M., Oyeyinka, S. A., & Adebo, O. A. (2022). Fermentation of Cereals and Legumes: Impact on Nutritional Constituents and Nutrient Bioavailability. In *Fermentation* (Vol. 8, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020063>
- Alvarez, B., Castro, L. L., Stevens, Y., Ramírez, C., Ph, T., Universidad, D., Valle, D., & De Cali, S. (2011). *FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS INGENIERIA DE ALIMENTOS*.

AOAC International. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International (17th ed., Method 925.10). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.

AOAC International. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International (17th ed., Method 920.39). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.

AOAC International. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th ed., Method 984.13). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.

AOAC International. (2005). Official methods of analysis (18th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International

Bianco, L., & Cenzano, A. M. (2018). *Páginas 000-000 IDESIA (Chile) 2018 Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica Native legumes: adaptive strategies and capacity for biological nitrogen fixation. Ecological implication.*

Canedo, M. S., de Paula, F. G., da Silva, F. A., & Vendruscolo, F. (2022). Protein enrichment of brewery spent grain from *Rhizopus oligosporus* by solid-state fermentation. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39(7), 1105–1113. <https://doi.org/10.1007/S00449-016-1587-8>

Cano y Postigo, L. O., Jacobo-Velázquez, D. A., Guajardo-Flores, D., Garcia Amezquita, L. E., & García-Cayuela, T. (2021). Solid-state fermentation for enhancing the nutraceutical content of agrifood by-products: Recent advances and its industrial feasibility. *Food Bioscience*, 41. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.100926>

Chaves-López, C., Serio, A., Grande-Tovar, C. D., Cuervo-Mulet, R., Delgado-Ospina, J., & Paparella, A. (2014). Traditional Fermented Foods and Beverages from a Microbiological and Nutritional Perspective: The Colombian Heritage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1031–1048. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12098>

Food energy - methods of analysis and conversion factors FAO, 2004 | *SEÑ - Sociedad Española de Nutrición*. (n.d.). Retrieved August 5, 2025, from <https://www.sennutricion.org/es/noticia/food-energy-methods-of-analysis-and-conversion-factors-fao-2004>

García Panjón, H. N. (2022). *Evaluación del efecto de la fermentación sólida, con Rhizopus oligosporus en tres genotipos de quinua (Chenopodium quinoa) para mejorar su potencial nutricional*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. ESPESD. Carrera de Ingeniería en Biotecnología. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/32553>

Herrera Beltrán, G. M. (2021). *Fermentación sólida en la industria alimentaria*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/32591>

Koutinas, A. A., Wang, R. H., & Webb, C. (2005). Development of a process for the production of nutrient supplements for fermentations based on fungal autolysis. *Enzyme and Microbial Technology*, 36(5–6), 629–638. <https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2004.01.015>

Mananga, M.-J., Didier, K. B., Charles, K. T., Fadimatou, B., Ruth, D. N., Gilbert, M. M., Blaise, K., Michelle, D., Elie, F., & Marie, K. S. (2021). Nutritional and Antinutritional Characteristics of Ten Red Bean Cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) from Cameroon. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 1–14. <https://doi.org/10.9734/IJBCRR/2021/V30I430259>

Martínez-Castillo, J., Peralta, E., & Editores, I. (n.d.). *El fréjol torta o pallar Phaseolus lunatus L. en Ecuador*.

Nameni, R. O., Todem, D., Woumbo, C. Y., Bidingha A. Goufani, R., Tekou, F. A., Zokou, R., Kuate, D., & Tamokou, J.-D.-D. (2024). Nutritional, Antioxidant, and Functional Properties of Cameroonian Cowpea and Bambara Groundnut and Their Culinary Forms. *Cureus*, 16(11). <https://doi.org/10.7759/CUREUS.74543>

Nations, U. (n.d.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | Naciones Unidas*. Retrieved October 14, 2024, from <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>

Nelofer, R. (2018). Nutritional Enhancement of Barley in Solid State Fermentation by *Rhizopus oligosporus* ML-10. *Nutrition & Food Science International Journal*, 6(5). <https://doi.org/10.19080/nfsij.2018.06.555700>

Nout, M. J. R., & Kiers, J. L. (2005). Tempe fermentation, innovation and functionality: Update into



the third millenium. *Journal of Applied Microbiology*, 98(4), 789–805.
<https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.2004.02471.X>

Nout, M. J. R., & Rombouts, F. M. (1990a). Recent developments in tempe research. *Journal of Applied Bacteriology*, 69(5), 609–633. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.1990.TB01555.X>'))

Nout, M. J. R., & Rombouts, F. M. (1990b). Recent developments in tempe research. *Journal of Applied Bacteriology*, 69(5), 609–633. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.1990.TB01555.X>;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION

Olmedilla Alonso, B., Farré Rovira, R., Asensio Vegas, C., & Martín Pedrosa, M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual Role of pulses in present-day diet. In *Actividad Dietética* (Vol. 14, Issue 2).

Paloma Martínez Castañeiras Tutor, M., & Girbés Juan, T. (n.d.). *ANTINUTRIENTES PROTEICOS DE LAS LEGUMINOSAS: TIPOS, TOXICIDAD Y EFECTOS FISIOLÓGICOS*.

Peralta, E., & Agr, I. M. C. (2016). *El chocho en Ecuador “estado del arte.”*
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3938>

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAQ0216>

Por Betty Hallock. (2014). *Para hacer una hamburguesa, primero necesitas 660 galones de agua...* LOSANGELESTIME.

Ramakrishna, V., Jhansi Rani, P., & Ramakrishna Rao, P. (2006). Anti-Nutritional Factors During Germination in Indian Bean (*Dolichos lablab* L.) Seeds. In *World Journal of Dairy & Food Sciences* (Vol. 1, Issue 1). <https://cabidigitallibrary.org>

Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2016). Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 7(MAR). <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.00377>,

Tipan-Torres, C. (2024). Evaluación del impacto ambiental de los sistemas intensivos de producción animal según la literatura reciente. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(4), 40–54. <https://doi.org/10.70881/MCJ/V2/N4/5>

Ukom, A. N., Ndudim, S., & Nwanagba, L. N. (2019). Effect of fermentation periods on the nutrient quality and sensory acceptability of Africa Yam Beans (*Sphenostylis sternocarpa*) porridge. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 36(1), 9. <https://doi.org/10.4314/NJB.V36I1.2>

Vellozo-Echevarría, T., Barrett, K., Vuillemin, M., & Meyer, A. S. (2024). Mini-Review: The Distinct Carbohydrate Active Enzyme Secretome of *Rhizopus* spp. Represents Fitness for Mycelium Remodeling and Solid-State Plant Food Fermentation. *ACS Omega*, 9(32), 34185–34195. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.4C04378/ASSET/IMAGES/LARGE/AO4C04378_0004.JPEG