



Efecto de los procesos térmicos en la composición proximal y sensorial del fermentado *Amaranthus caudatus*.

Effect of thermal processes on the proximate and sensory composition of the fermented *Amaranthus caudatus*.

Jazmil Guacho Alvarado¹

jazmil.guacho@pg.uleam.edu.ec

ORCID

PhD. Stalin Santracruz²

stalin.santacruz@pg.uleam.edu.ec

ORCID

Resumen

El amaranto es un pseudocereal de alto valor proteico, cuyo perfil nutricional puede optimizarse mediante biotecnología. La fermentación en estado sólido con *Rhizopus* spp., de tipo Tempeh, es una gran idea para su valorización. Este estudio intentó encontrar los cambios en la composición y la aceptación sensorial del fermentado de amaranto con *Rhizopus* spp. que se cocieron (fritos y horneados).

Se realizó una fermentación en estado sólido de los granos de amaranto con *Rhizopus* spp. a 35 °C por 48 h, hasta obtener un bloque compacto con 14.56% de proteína. Este producto se sometió a fritura por inmersión a 180 °C por 3 min y horneado a 200 °C por 20 min. Se evaluó la composición proximal con las técnicas de AOAC y la evaluación sensorial con escala hedónica de 9 puntos.

La evaluación proximal evidenció diferencias con una significancia de $p < 0.05$. El proceso de horneado dio como resultado un incremento del 16.57% en la proteína, atribuible a la concentración resultante de la pérdida de humedad (7.06%). La fritura redujo la proteína (13.30%) por dilución y duplicó el contenido de grasa (2.24% vs. 1.08% control) por absorción de aceite, mostrando la menor humedad (3.51%). A pesar de que no se observaron diferencias significativas en sabor o textura, la aceptabilidad general fue notablemente superior con una significancia de $p < 0.05$ para

¹ Ingeniera química, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

² PhD Ciencias de los alimentos, Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas

el producto horneado (7.47) en comparación con la muestra frita (7.00). El horneado resalta como un tratamiento térmico, debido a la demanda de productos saludables.

Palabras clave: *Amaranthus caudatus*, fermentación, análisis proximal, análisis sensorial, horneado, frito.

Abstract

Amaranth is a pseudocereal that is high in protein and can have its nutritional profile improved through biotechnology. Like tempeh, solid-state fermentation with *Rhizopus spp.* is a promising way to make it more valuable. The objective of this study was to ascertain the alterations in composition and sensory acceptance of amaranth fermented with *Rhizopus spp.* post-cooking (fried and baked).

We fermented amaranth grains with *Rhizopus spp.* in solid state at 35 °C for 48 hours. The result was a solid block with 14.56% protein. After that, this product was deep-fried for 3 minutes at 180 °C and baked for 20 minutes at 200 °C. We used AOAC methods to figure out the proximate composition and a 9-point hedonic scale to do a sensory evaluation.

The proximate evaluation revealed statistically significant differences with a p-value of less than 0.05. The baking process led to a 16.57% rise in protein, which was caused by the concentration that came from losing moisture (7.06%). Frying cut the protein content by 13.30% by making it less concentrated and doubled the fat content (2.24% vs. 1.08% control) by soaking up oil. It also had the lowest moisture content (3.51%).

There were no major differences in taste or texture, but overall acceptability was much higher for the baked product (7.47) than for the fried sample (7.00), with a significance level of $p < 0.05$. Baking is a good way to cook food because people want healthier options.

Keywords: *Amaranthus caudatus*, fermentation, proximate analysis, sensory analysis, thermal processing, baking, frying.

Introducción

El amaranto es un pseudocereal con una historia ancestral en las civilizaciones mesoamericanas, como la azteca, donde no solo formaba parte fundamental de su dieta, sino que también poseía un profundo significado cultural y ceremonial (Eduardo et al., 2022).

En las últimas décadas, ha resurgido el interés en el amaranto debido a su excepcional perfil nutricional y su notable adaptabilidad a diversas condiciones agroclimáticas, incluyendo suelos marginales y climas áridos (Rastogi & Shukla, 2013; Repo-Carrasco et al., 2003).

El grano de amaranto se distingue por su elevado contenido de proteínas, que puede variar entre un 13% y un 19%, superando al de la mayoría de los cereales tradicionales como el trigo, el maíz y el arroz (Vega-Gálvez et al., 2010). Más importante aún, es la calidad de la proteína, caracterizada por un balance de aminoácidos esenciales cercano al ideal propuesto por la FAO/OMS, destacando su contenido de lisina y aminoácidos que suelen ser limitantes en otros cereales (Gorinstein et al., 2002).

La fermentación es un proceso que ha sido ampliamente utilizado para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y la vida útil de los alimentos (Steinkraus, 2002). En el caso del amaranto, la fermentación, ya sea espontánea o inducida mediante cultivos iniciadores específicos como las bacterias ácido-lácticas y levaduras, ha demostrado ser una estrategia eficaz para potenciar aún más su valor nutricional (Chávez-Jáuregui, 2000; Escalante-Aburto, 2016).

Durante la fermentación, la actividad metabólica de los microorganismos conduce a la hidrólisis de macromoléculas complejas, como proteínas y carbohidratos, en compuestos más simples y de mayor biodisponibilidad (Rollán, 2019). Se ha reportado que la fermentación del amaranto puede incrementar el contenido relativo de proteína cruda debido a la metabolización de carbohidratos por parte de los microorganismos, lo que resulta en una concentración de la fracción proteica (El-Hag, 2002).

Además, la actividad proteolítica de ciertos microorganismos puede liberar aminoácidos y péptidos bioactivos, mejorando la digestibilidad y la calidad general de la proteína (Muyajaya & Phiri, 2011; Osman, 2011). En los últimos años, la fermentación del amaranto se ha revelado como una estrategia eficaz para potenciar sus propiedades nutricionales. La acción de los microorganismos benéficos enriquece los alimentos (Suárez-Mora, María, Silva-Pérez, Johana, 2023).

El género *Rhizopus* spp. agrupa a un conjunto de mohos filamentosos de crecimiento rápido. Aunque algunas especies pueden ser contaminantes de alimentos o patógenos oportunistas en personas inmunocomprometidas (causando mucormicosis), muchas especies de *Rhizopus* spp., en particular *Rhizopus oligosporus* y *Rhizopus oryzae*, son de gran importancia biotecnológica y se han utilizado durante siglos en la producción de alimentos fermentados.

A partir de la fermentación sólida de cereales y leguminosas con hongos del género *Rhizopus* spp. se producen productos del tipo tempeh. Este alimento, surgido en Java Central (Indonesia), se ha transformado en este país en una fuente apartir de proteína de soya. Su rasgo más sobresaliente es su conformación, que consiste en un conjunto sólido de granos ya cocidos y secos. Los granos son pegados y recubiertos por el hongo que crece, formando así una pieza sólida. (Espinoza, 2018)

El uso de *Rhizopus* spp. en fermentación en estado sólido (FES) presenta un potencial significativo para la valorización de pseudocereales, tal como lo demostraron Schmidt et al. (2014) al aplicarlo en salvado de arroz. En dicho estudio, la biotransformación no solo incrementó el contenido de compuestos fenólicos, alcanzando una inhibición de radicales libres del 87%, sino que también mejoró la recuperación de proteínas hasta un 26.6%.

“El estudio de Hur et al., realizado en el año 2018 y publicado con el título Effect of fermentation on the bioactive properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grain”, mostró que la fermentación con *Rhizopus oligosporus* potencia notablemente las propiedades de la quinua, aumentando significativamente su actividad antioxidante y antiinflamatoria. Aplicar este mismo proceso al amaranto,

pseudocereal nutricionalmente parecido, es una estrategia prometedora para su valorización.

De forma análoga, la aplicación de la fermentación sólida al amaranto podría incrementar su valor nutricional, mejorando su perfil proteico y su capacidad antioxidante. La fermentación permitiría generar ingredientes funcionales de alto valor agregado para la industria de alimentos a partir del pseudocereal.

La demanda de alimentos más saludables y la búsqueda de nuevas experiencias culinarias están impulsando la innovación en la industria de alimentos, lo cual permite reconocer el valor nutricional; en este sentido, los amarantos fermentados son una buena opción.

Los procesos de cocción constituyen etapas fundamentales en la transformación de las materias primas alimentarias en productos comestibles, seguros y atractivos para el consumidor final. Ambos, la fritura y el horneado son dos de los métodos de cocción más utilizados tanto en el ámbito doméstico como en la industria, cada uno de ellos, condicionando de manera particular las características del producto final (Fellows, 2017).

La fritura es un proceso de transferencia de calor y masa en el que el alimento se sumerge en aceite caliente, por lo general a temperaturas entre 150 °C y 190 °C (Asokapandian et al., 2019). Este método es valorado por la velocidad con que se alcanzan las temperaturas de cocción y por las características sensoriales que confiere a los alimentos. Estas incluyen una textura crujiente y un sabor y aroma característico derivado de las reacciones de Maillard y la caramelización (Saguy & Dana, 2003).

Por otro lado, la cocción por horneado es un proceso de cocción mediante calor seco que emplea aire caliente como medio de transferencia de energía, por lo general entre 120°C y 250°C (Manley, 2011; Purlis, 2010). Durante el horneado, ocurren complejos cambios físicos y químicos, como la evaporación de la humedad, la gelatinización del almidón, la desnaturalización de proteínas, el desarrollo de la estructura porosa y la formación de color y aroma en la superficie (Van Der Sman & Renzetti, 2019; Wang et al., 2023).

El horneado es preferido para muchos productos por su capacidad de generar texturas específicas y por no implicar la adición directa de grandes cantidades de grasa, como ocurre en la fritura (Srikaeo & Sangkhiaw, 2014). La aplicación de estos procesos a harinas de amaranto, ya sean nativas o fermentadas, influirá de manera determinante en la calidad nutricional y sensorial del producto final (Inglett, 2015).

El presente trabajo pretende determinar los cambios en la composición proximal y en las características sensoriales de un fermentado de amaranto con *Rhizopus spp.* con posterior tratamiento de fritura u horneado.

Materiales y metodología

El amaranto fue proporcionado por el PhD. Stalin Santacruz.

Fermentación del amaranto

El proceso de fermentación en estado sólido del amaranto se llevó a cabo siguiendo tres etapas principales: acondicionamiento del grano y cocción del sustrato, inoculación y fermentación controlada.

Los granos de amaranto fueron sometidos a un proceso de remojo durante 24 horas a una temperatura de 14 °C, con una proporción 1:1 masa/volumen. Se añadió vinagre hasta obtener un pH de 4.5, con el fin de inhibir el crecimiento de microorganismos contaminantes durante la fermentación (Bhat & Riar, 2019).

Transcurrido el tiempo de remojo, los granos fueron drenados y sometidos a un proceso de cocción a una temperatura de 120 °C durante 15 minutos, con el fin de gelatinizar los almidones (Venskutonis & Račkauskas, 2022) y esterilizar el sustrato para permitir un proceso de fermentación más controlado. (Peyer et al., 2022).

Una vez cocido y enfriado hasta alcanzar una temperatura aproximada de 37 °C, el amaranto se inoculó con el hongo filamentoso *Rhizopus spp.* (Azzollini et al., 2020). La inoculación se realizó añadiendo 3 g de hongo por cada 100 g de sustrato. (Andreas &

Surya, Reggie, 2021). Posteriormente, el sustrato con el hongo se mezcló de manera uniforme para garantizar la homogeneidad del inóculo. Fue distribuido en bandejas para formar una capa delgada de 1 cm de espesor y uniforme que facilitó la transferencia de masa y calor. (Soccol, Carlos et al., 2017)

La fermentación se desarrolló a una temperatura controlada de 35 °C con un foco de luz dentro de un cooler, durante un período de 48 horas. (Azzollini et al., 2020).

Finalizado este periodo, los granos de amaranto estaban completamente cubiertos y aglutinados por una densa capa de micelio blanquecino, formando una torta compacta. El estándar de calidad aceptado para productos tipo tempeh, ya que indica un crecimiento fúngico saludable y la correcta unión del sustrato (Nout & Kiers, 2005).

Tratamientos térmicos

Las muestras del fermentado de amaranto fueron sometidas a los tratamientos de fritura y horneado.

Las muestras del fermentado de amaranto fueron sometidas a un tratamiento de fritura por inmersión profunda. Para ello, se cortaron porciones uniformes 1.5 x 1.5 x 1.0 cm para asegurar una transferencia de calor homogénea y un tiempo de cocción consistente. La fritura se realizó en 500 mL de aceite vegetal de palma comercial (La Favorita®), seleccionado por su alta estabilidad térmica y resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas, características deseables para este proceso (Casal et al., 2010).

Este proceso se realizó a una temperatura controlada de 180 °C durante 3 minutos. Estas condiciones son comúnmente empleadas en estudios de fritura, ya que promueven un rápido desarrollo de la textura crujiente y de las características organolépticas asociadas a la reacción de Maillard, al tiempo que se busca optimizar la absorción de aceite y minimizar la degradación térmica del producto (Moreira, 1999).

Para el tratamiento de horneado, las muestras se cortaron en porciones uniformes 1.5 x 1.5 x 0.5 cm y se dispusieron sobre una bandeja de horno cubierta con

media cuchara de aceite para evitar la adhesión. El horneado se realizó en un horno precalentado a 200 °C durante 20 minutos. (Yazar & Kokino, 2025)

Análisis sensorial

Para determinar las características sensoriales, se trabajó con un panel no entrenado de 15 personas, empleando una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 representa "me disgusta extremadamente" y 9 representa "me gusta extremadamente". Los participantes evaluaron los atributos de aceptabilidad, apariencia, textura, sabor y aroma. Los resultados obtenidos se registraron en un formato estandarizado para evaluar las características de las muestras sometidas a horneado y fritura. (Meilgaard, Civille & Carr, 2020)

Composición proximal

Se determinó la composición química por triplicado, según técnicas oficiales de laAOAC.19 para humedad (método 934.01), proteína (método 960.52), cenizas (método 942.05), lípidos (método 920.39) y carbohidratos por diferencia. (AOAC INTERNATIONAL, 2019). Los análisis se realizaron en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ESPAM, y el análisis de proteína lo realizó Laboratorios FA – LAB de la Universidad Técnica de Manabí con sede en Chone.

Análisis estadístico

Se aplicó la prueba de Tukey HSD ($p < 0.05$) a los datos obtenidos del análisis proximal para las muestras de control sin proceso térmico, horneado y fritura, la cual permitió determinar las diferencias estadísticas entre las medias de los grupos de tratamiento. Se lo realizó mediante el uso del software estadístico InfoStat en la versión septiembre del 2020. Los resultados del análisis sensorial se colocaron en un gráfico de araña para visualizar la diferencia de las muestras y se utilizó la prueba t de Student para muestras pareadas ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Tabla 1: Análisis proximal realizado a los tres tratamientos: control (sin tratamiento térmico), muestra horneada y muestra frita del fermentado de amaranto.

Tratamiento	Proteína %	Ceniza %	Humedad %	Grasa %	Carbohidratos
Control	14,56 ± 0,15 A	2,25 ± 0,02 A	16,10 ± 1,58 A	1,08 ± 0,08 A	66,01 ± 1,64 A
Horneado	16,57 ± 0,56 B	2,42 ± 0,16 B	7,06 ± 0,38 B	2,05 ± 0,05 B	71,89 ± 0,87 B
Fritura	13,30 ± 0,07 C	1,98 ± 0,05 C	3,51 ± 0,08 C	2,24 ± 0,05 C	78,97 ± 0,12 C

Las letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Las letras mayúsculas denotan diferencias significativas de forma vertical.

Fuente: Elaboración propia.

Se analizaron los cambios en la composición nutricional de una matriz alimenticia (Control) tras ser sometida a dos tratamientos térmicos (horneado y fritura) (Tabla 1).

El contenido de proteína presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre los tres tratamientos. El grupo Control registró 14,56%. El tratamiento Horneado mostró un incremento significativo, alcanzando 16,57%, mientras que el tratamiento de Fritura resultó en una disminución significativa de proteína (13,30%).

El aumento de proteína en el tratamiento horneado (de 14.56% a 16.57%) no se debe a una creación de proteína, sino a un efecto de concentración. Al eliminarse una cantidad significativa de agua (la humedad bajó de 16.10% a 7.06%), los nutrientes restantes (proteína, cenizas) se concentran, aumentando su porcentaje relativo en la muestra seca.

Por el contrario, la disminución de la proteína en la fritura (13.30%) sugiere un efecto de dilución. Aunque la fritura también concentra los nutrientes al eliminar agua, en este caso la absorción de grasa (aumento de 1.08% a 2.24%) y el masivo incremento de carbohidratos (a 78.97%) "diluyen" el porcentaje relativo de proteína en la muestra total.

Este mismo principio de concentración es crucial en la preparación de alimentos fermentados. Durante la fermentación del tempeh, el moho *Rhizopus oligosporus* consume una porción de los carbohidratos como fuente de energía. Al reducirse la

masa de carbohidratos, los nutrientes restantes, como la proteína, se concentran, aumentando su porcentaje relativo en el producto final.

Este fenómeno ha sido documentado en la producción y caracterización de tempeh a partir de diversas fuentes de leguminosas (Erkan et al., 2020), obteniendo un producto con una calidad proteica porcentualmente superior.

El cambio más notable en la tabla es el aumento de la grasa (de 1.08% a 2.24%) y la drástica reducción de la humedad (de 16.10% a 3.51%) durante la fritura.

El proceso de fermentación por *Rhizopus oligosporus* forma una estructura porosa debido al micelio que se forma y que une los granos del amaranto en la fermentación. En la fritura el agua se evapora y el aceite se adhiere en esta área.

Syamsuri et al. (2020) confirmó que freír tempeh a partir de la soya puede incrementar el contenido de grasa de 12.9% a 34%, cambiando drásticamente el perfil calórico y a su vez nutricional del producto final. En el caso del amaranto, sigue exactamente la misma tendencia.

Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los carbohidratos. El control (66,01%) tuvo el contenido más bajo, mientras que el horneado (71,89%) y la fritura (78,97%) incrementaron significativamente esta fracción.

El contenido de cenizas (minerales) del control (2,25%) fue estadísticamente diferente al de los tratamientos térmicos ($P < 0.05$). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre el grupo Horneado (2,42%) y el grupo Fritura (1,98%). Los estudios de Ren y cols. (2021), quienes estudiaron sobre las causas de los métodos de cocción sobre la composición de los alimentos procesados térmicamente, concuerdan con estos resultados.

El incremento registrado en el contenido de cenizas durante la cocción va de 2,25 % a 2,42 % el cual es un ejemplo evidente del efecto de concentración. El proceso de horneado causa una pérdida considerable de humedad. En el balance general se concentra las cenizas.

Una pequeña disminución del porcentaje de ceniza en la muestra tostada muestra un fenómeno diferente. También, Ren y cols. (2021) identificaron un mecanismo clave en apoyo de esta observación. La fritura provoca una absorción considerable de aceite que tiene como consecuencia el efecto de dilución mencionado. El estudio también trata acerca del proceso de lixiviación, que corresponde a la pérdida de minerales solubles, como un mecanismo de pérdida de cenizas durante la cocción. Las muestras sometidas a tratamientos térmicos mostraron un menor contenido de humedad en comparación con el control ($p < 0.05$). La muestra control presentó una humedad del 16,10%. El tratamiento de fritura fue el más efectivo en la deshidratación, reduciendo la humedad a un 3,51%, mientras que el horneado la disminuyó a un 7,06%. Está marcada: la pérdida de agua es la principal responsable del aumento porcentual del resto de los componentes (proteína, ceniza, grasa y carbohidratos) en las muestras procesadas, al concentrar los sólidos totales del producto (Fellows, 2017).

La diferencia en la humedad final entre la fritura y el horneado se debe a las distintas cinéticas de transferencia de masa y calor; la inmersión en aceite caliente (180 °C) provoca una evaporación del agua superficial de manera casi instantánea y violenta, creando una barrera que favorece la cocción rápida y una mayor deshidratación en un tiempo corto (3 minutos) (Moreira, 1999).

Específicamente, al freír granos de quinua, la absorción de aceite puede variar entre un 15% y un 30%, dependiendo de la temperatura y el tiempo del proceso, lo cual se alinea con el 32.13% observado en el amaranto fermentado (Li & Zhu, 2018). Esto sugiere que la matriz porosa creada por la fermentación con *Rhizopus* spp. facilita una absorción de aceite similar a la de otros granos procesados.

Tabla 2: Análisis sensorial de los dos tratamientos: horneado y fritura del fermentado de amaranto con *Rhizopus* spp.

Tratamiento	Apariencia	Aroma	Sabor	Textura	Aceptabilidad
Horneado	7.20 ± 0.94 A	7.00 ± 1.41 A	7.20 ± 1.42 A	7.73 ± 1.10 A	7.47 ± 0.64 A
Fritura	6.87 ± 1.13 A	6.73 ± 1.44 A	7.53 ± 1.06 A	8.00 ± 0.76 A	7.00 ± 0.65 B

Las letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

El hallazgo más importante del estudio es que no se encontraron diferencias significativas entre los atributos individuales (Tabla 2).

En el caso de la apariencia, el tratamiento de horneado y de fritura se ubicaron en la región de "me gusta moderadamente" de la escala. De igual forma, la textura de ambos productos fue altamente valorada, con medias de 7.73 (horneado) y 8.00 (frito), valores que se sitúan entre "me gusta moderadamente" (7) y "me gusta muchísimo" (8). Este resultado indica que ambos procesos produjeron una crocancia deseable. Con relación a la característica de sabor, aunque la muestra frita obtuvo en promedio una puntuación de 7.53, tuvo una ligera ventaja sobre la muestra horneada que dio 7.20 en promedio, esta diferencia no fue significativa.

Sin embargo, el atributo donde se manifestó una leve preferencia fue la aceptabilidad general. El producto horneado obtuvo una calificación en promedio de 7.47, que se inclina hacia "Me gusta muchísimo", mientras que la muestra frita tuvo una calificación de 7.00, equivalente a "Me gusta moderadamente".

Esto se debe a que, aunque el sabor o la textura del producto horneado no sean estadísticamente superiores, sí resulta más aceptable para el consumidor actual, ya que hay una demanda creciente de productos más saludables, y los consumidores pueden asociar el término horneado (sin aceites) que contiene menos grasa y calorías en comparación con los productos fritos (Okpiaifo et al., 2023).

Hay investigaciones sobre el pan de quinua que han mostrado que el uso de masa madre (producto fermentado) mejora de forma importante el volumen, la textura y la aceptabilidad general del pan, comparado con las versiones no fermentadas con hongos (Alvarez-Jubete et al., 2010).

Referencias bibliográficas

- AOAC International. (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International (21.^a ed.). AOAC International.
- Al-Khusaibi, M., Al-Habsi, N., & Rahman, M. S. (2021). Deep fat frying of foods. In Handbook of Food Process Engineering (pp. 489-532). CRC Press. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688761>
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(4), 435-452. <https://doi.org/10.1080/09637480902950597>
- Asokapandian, S., Swamy, G. J., & Hajjul, H. (2019). Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20), 3400–3413. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688761>
- Astuti, R. D., Fibri, D. L. N., Handoko, D. D., David, W., Budijanto, S., Shirakawa, H. y Ardiansyah. (2022). The volatile compounds and aroma description in various *Rhizopus oligosporus* solid-state fermented and nonfermented rice bran. *Fermentation*, 8(3), Article 120. <https://doi.org/10.3390/fermentation8030120>
- Azzollini, D., Derossi, A., & Severini, C. (2020). Development of a tempeh based on cereals and pseudocereals using a selected starter culture. *LWT - Food Science and Technology*, 125, 109228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109228>
- Bhat, F. M., & Riar, C. S. (2019). Effect of germination on the physicochemical, functional, and antioxidant properties of amaranth (*Amaranthus* spp.) seed flour. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 359-367.
- Casal, S., Malheiro, R., Sendas, A., Oliveira, B. P., & Pereira, J. A. (2010). Olive oil stability under deep-frying conditions. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 2972-2979. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.07.036>
- Chávez-Jáuregui, R. N., Silva, M. E. M. P., & Arêas, J. A. G. (2000). Extrusion cooking of amylo maize starch with amaranth proteins. *Journal of Food Science*, 65(8), 1410-1414.
- Eduardo Espitia, Hernández Luisa Fernanda, Ramos Miriam Gabriela, Molina, Lucila, López, Diana, & Delgado, Miriam. (2021). El amaranto tiene el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1459-1471. Epub 02 de mayo de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2897>

- El-Hag, N., El-Tinay, A. H., & Yousif, N. E. (2002). Effect of fermentation and dehulling on starch, total polyphenols, phytic acid content and in vitro protein digestibility of pearl millet. *Food Chemistry*, 77(2), 193-196.
- Erkan, S. B., Gürler, H. N., Bilgin, D. G., Germec, M., & Turhan, I. (2020). Producción y caracterización de tempeh a partir de diferentes fuentes de legumbres por *Rhizopus oligosporus*. *LWT - Food Science and Technology*, 119, 108880. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108880>
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Moreno, E., Lazo-Vélez, M. A., & Morales-Ortega, A. (2016). Effect of germination and fermentation on the antioxidant activity and phenolic compounds of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), 110-117.
- Espinosa P. Edith (2018). Obtención de una harina funcional rica en proteínas de buena calidad biológica y de alto valor nutricio a base de cereales y leguminosas mediante fermentación con *Pleurotus ostreatus*. Universidad Autónoma de Nuevo León. 26-28
- Fellows, P. J. (2017). *Food processing technology: principles and practice* (4.^a ed.). Woodhead Publishing. ISBN 978-0-08-101907-8
- Gorinstein, S., Pawelzik, E., Delgado-Licon, E., Haruenkit, R., Weisz, M., & Trakhtenberg, S. (2002). Characterisation of amaranth starch and its effect on the in vitro digestibility of amaranth protein. *Starch-Stärke*, 54(5), 177-184.
- Hur, J., Nguyen, T. T. H., Park, N., Kim, J., & Kim, D. (2018). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) fermented by *Rhizopus oligosporus* and its bioactive properties. *AMB Express*, 8(1), 143. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0675-3>
- Inglett, G. E., Chen, D., Liu, S. X., & Lee, S. (2015). Physical and functional properties of amaranth flours. *Food Chemistry*, 169, 209-215.
- Li, G., & Zhu, F. (2018). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review of its processing and utilization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), e13689. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13689>
- Manley, D. (2011). *Manley's technology of biscuits, crackers and cookies* (4th ed.). Woodhead Publishing.
- Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2020). *Sensory evaluation techniques* (5th ed.). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/b19493>
- Moreira, R. G., Castell-Pérez, M. E., & Barrufet, M. A. (1999). *Deep fat frying: Fundamentos y aplicaciones*. ISBN 0834213214, 9780834213210.

- Muyajaya, J., & Phiri, A. D. (2011). Effects of malting and fermentation on the nutritional composition of finger millet and sorghum. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 11(4), 4923-4936.
- Nout, M. J. R., & Kiers, J. L. (2005). Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millennium. *Journal of Applied Microbiology*, 98(4), 789-805. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02471.x>
- Okpiaifo GE, Dormoy-Smith B, Kassas B, Gao Z (2023) Perception and demand for healthy snacks/beverages among US consumers vary by product, health benefit, and color. *PLoS ONE* 18(6): e0287232. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287232>
- Osman, M. A. (2011). Effect of traditional fermentation process on the nutrient and antinutrient contents of pearl millet during preparation of lohoh. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1), 1-6.
- Peyer, L. C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2022). Lactic acid bacteria as sensory-improving ingredients in cereal-based breads, beverages and pasta. *Microorganisms*, 10(12), 2351. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122351>
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239-249.
- Rastogi, A., & Shukla, S. (2013). Amaranth: A new millennium crop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 109-125.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19(1-2), 179-189.
- Rollán, G. C., Gerez, C. L., & de Valdez, G. F. (2019). Lactic acid bacteria in an amazing grain: El caso del amaranto. In *Lactic Acid Bacteria in Food Biotechnology* (pp. 1-19). Springer, Cham.
- Andreas Romulo y Surya, Reggie. (2021). Tempe: A traditional fermented food of Indonesia and its health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 26. 100413. 10.1016/j.ijgfs.2021.100413.
- Saguy, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2-3), 143-152. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00243-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1)
- Schmidt, C. G., et al. (2014). Solid-state fermentation for the enrichment and extraction of proteins and antioxidant compounds in rice bran by *Rhizopus*

oryzae. *Brazilian Archives of Biology and Technology*.
<https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000600018>

Socol Carlos, Scopel Ferreira da Costa, E., Junior L. Luiz, Susan Grace Karp, Adenise Lorenci Woiciechowski, Luciana Porto de Souza Vandenberghe (2017). Recent developments and innovations in solid-state fermentation, *Biotechnology Research and Innovation*, Volume 1, Pages 52-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>

Srikaeo, K., & Sangkhiaw, J. (2014). Effect of frying on antioxidant properties of pandan (*Pandanus amaryllifolius*) and holy basil (*Ocimum tenuiflorum*) leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 971-981.

Steinkraus, K. H. (2002). Fermentations in world food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(1), 23-32.

Suarez-Mora, María, O. I., & Johana Silva-Pérez, E. I. (2023). Análisis de la producción y exportación de amaranto para determinar su gestión logística a la unión europea Analysis of the production and export of amaranth to determine its logistics management to the European Union Análise da produção e exportação de amaranto para determinar sua gestão logística para a União Europeia. 85, 3–26. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i8>

Syamsuri R., Dewayani w., Septianti E., and Maintang (2020). Chemical characteristics and sensory of tempeh sausage on different soybean varieties and cooking methods variation DOI 10.1088/1755-1315/575/1/012012

Van Der Sman, R. G. M., & Renzetti, S. (2019). Understanding and modeling the baking process of bread. *Trends in Food Science & Technology*, 89, 136-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.006>

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.). *Food Reviews International*, 26(2), 123–140.

Venskutonis, P. R., & Račkauskas, R. (2022). Amaranth processing and food applications: a review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), e16361. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16361>

Wang, J., Li, Y., Wang, L., & Liu, C. (2023). Starch-protein interactions in food processing: A review. *Food Chemistry*, 418, 136005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136005>



Yazar, G., & Kokini, J. L. (2025). Recent Advances in the Assessment of Cereal and Cereal-Based Product Quality. *Foods* (Basel, Switzerland), 14(7), 1220. <https://doi.org/10.3390/foods14071220>