

Influencia del pretratamiento con ultrasonido sobre la calidad de chips de papas nativas de San Pedro de Cajas, Tarma – Perú

Influence of ultrasound pretreatment on the quality of native potato chips from San Pedro de Cajas, Tarma, Peru

^aErick A., Barzola Ollero¹ 

^bHidania L., Ladera Colquechagua¹ 

^cRosario M., Bernaola Paucar¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma.

Recibido: Octubre, 2025 / Aceptado: Noviembre, 2025 / Publicado: Diciembre, 2025

RESUMEN

Las papas nativas andinas poseen valor agroindustrial, pero la fritura para chips puede incrementar la absorción de aceite y alterar el color; por ello, se requieren estrategias que mejoren la calidad sin perder aceptación. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el pretratamiento con ultrasonido como herramienta para modular atributos fisicoquímicos de chips elaborados con papas nativas (papa amarilla, papa andina y papa huayro) provenientes de Tarma (Junín, Perú). Las rodajas estandarizadas se sometieron a ultrasonido en medio acuoso y posteriormente a fritura bajo condiciones controladas. Se determinaron pérdida de peso, absorción aparente de aceite (indicador gravimétrico) y diferencia global de color (ΔE^*). Los resultados mostraron un efecto dependiente de la variedad: La papa amarilla combinó la mayor pérdida de peso con la menor absorción aparente de aceite, aunque presentó el mayor cambio de color; la papa andina mantuvo pérdida de peso similar a la papa huayro, destacó por el menor ΔE^* y registró la mayor absorción aparente de aceite; la papa huayro exhibió valores intermedios, pero la mayor variabilidad relativa en aceite y color. Se concluye que el ultrasonido tiene potencial para mejorar chips de papas nativas, pero su optimización debe ser variedad-específica, equilibrando reducción de aceite y estabilidad cromática, y reforzando la estandarización y verificación del contenido de grasa.

Palabras clave: Absorción de aceite, atributos de calidad, chips de papa nativa, colorimetría, ultrasonido.

ABSTRACT

Andean native potatoes have strong agroindustrial potential, but deep-frying them into chips can increase oil uptake and alter color; therefore, strategies are needed to improve quality without compromising consumer acceptance. This study aimed to evaluate ultrasound pretreatment as a tool to modulate the physicochemical attributes of chips produced from native potatoes (Amarilla, Andina, and Huayro cultivars) sourced from Tarma (Junín, Peru). Standardized potato slices were ultrasound-treated in an aqueous medium and then deep-fried under controlled conditions. Weight loss, apparent oil absorption (gravimetric indicator), and total color difference (ΔE^*) were determined. The results showed a cultivar-dependent response: Amarilla exhibited the highest weight loss and the lowest apparent oil absorption, but also the greatest color change; Andina had weight loss comparable to Huayro, showed the lowest ΔE^* , and recorded the highest apparent oil absorption; Huayro displayed intermediate values but the highest relative variability in oil absorption and color. Overall, ultrasound shows potential for improving native potato chips, but optimization should be cultivar-specific, balancing oil reduction and color stability, while strengthening standardization and confirming fat content.

Keywords: Oil absorption, quality attributes, native potato chips, colorimetry, ultrasound.

INTRODUCCIÓN

Las papas nativas andinas constituyen un recurso agroalimentario estratégico por su diversidad genética, su adaptación a condiciones ambientales exigentes y su aporte a la seguridad alimentaria y a la economía rural. Además de su valor cultural, estas variedades poseen interés agroindustrial por su composición y por la presencia de compuestos bioactivos asociados a calidad funcional; por ello, su transformación debe orientarse a maximizar valor agregado sin comprometer atributos tecnológicos y sensoriales apreciados por el consumidor (Palomino-Rincón et al., 2025).

En el Perú, la valorización industrial de papas nativas mediante productos listos para consumo, como chips, se ha consolidado como alternativa comercial; sin embargo, la fritura profunda suele relacionarse con alto contenido de grasa y con la formación de compuestos potencialmente indeseables, lo que refuerza la necesidad de estrategias tecnológicas que mejoren el perfil de calidad del snack. En este escenario, la optimización del proceso adquiere relevancia tanto por implicancias nutricionales como por factores de aceptación y competitividad del producto en mercados más exigentes (Palomino-Rincón et al., 2025; Chamgordani et al., 2024).

Durante la fritura por inmersión, la transferencia simultánea de calor y masa produce evaporación rápida de humedad, gelatinización/degradación parcial del almidón y generación de poros y microcanales, transformaciones que determinan la textura crujiente pero también facilitan la absorción de aceite. En la literatura se ha demostrado que el ingreso de aceite se explica por el desarrollo de porosidad y por etapas críticas como el drenaje y el enfriamiento; incluso se ha propuesto analizar fracciones de aceite (superficial, estructural y el que migra al final del proceso) para comprender mejor dónde y cómo se acumula la grasa en chips (Moyano & Pedreschi, 2006; Pedreschi et al., 2018; Zhang et al., 2021).

El color es otro atributo decisivo de calidad, pues funciona como señal de procesamiento adecuado y se asocia con la aceptación del consumidor. Cambios hacia tonalidades más oscuras pueden intensificarse por reacciones de pardeamiento no enzimático y por fenómenos de oxidación durante la fritura, reflejándose en variaciones de L^* , a^* y b^* ; además, el oscurecimiento excesivo se vincula a riesgos tecnológicos relevantes, como mayor probabilidad de compuestos no deseables en productos fritos. En chips, se ha reportado que el control del pretratamiento y de las condiciones de proceso puede reducir cambios globales de color (ΔE) y favorecer productos más claros, especialmente cuando se actúa sobre azúcares reductores y actividad enzimática previa al tratamiento térmico (Krokida et al., 2001; Álvarez & Ortuño, 2022; Chamgordani et al., 2024).

Ante estas limitaciones del proceso convencional, el ultrasonido de alta intensidad ha emergido como alternativa no térmica para modificar la microestructura mediante cavitación, promover microcanales, intensificar la transferencia de masa y, por esta vía, reducir la penetración de aceite sin deteriorar la textura objetivo. Estudios experimentales muestran que el ultrasonido puede alterar la porosidad y la distribución de aceite en chips, afectando

fracciones específicas y reduciendo el aceite interno bajo condiciones adecuadas; asimismo, se ha descrito que el tratamiento puede facilitar la migración de humedad y modular la evolución de porosidad durante la fritura (Zhang & Fan, 2021; Zhang et al., 2021).

La evidencia disponible en papas nativas respalda este potencial, pero también revela un punto crítico de optimización: al aumentar la intensidad/condición de ultrasonido pueden observarse mejoras tecnológicas (menor grasa, mayor crocancia, microestructura más porosa y mejor aceptación), mientras que algunos indicadores de calidad funcional pueden disminuir (compuestos fenólicos y capacidad antioxidante), lo que exige establecer condiciones que equilibren desempeño tecnológico y preservación de atributos de calidad (Palomino-Rincón et al., 2025).

Con base en lo anterior, la hipótesis de este estudio plantea que el pretratamiento con ultrasonido, aplicado bajo condiciones controladas, mejora los atributos de calidad de chips elaborados con papas nativas andinas de Tarma (Junín, Perú), principalmente mediante modificaciones microestructurales que favorecen la salida de humedad y limitan la absorción de aceite. Por ello, el objetivo es evaluar el efecto del pretratamiento ultrasónico sobre atributos clave de calidad, principalmente absorción de aceite y color instrumental, en chips elaborados a partir de variedades nativas seleccionadas, aportando evidencia para el diseño de procesos de fritura con mejor desempeño tecnológico y sensorial (Zhang & Fan, 2021; Palomino-Rincón et al., 2025).

El alcance del trabajo se centra en comparar un control y tratamientos con ultrasonido manteniendo constantes las condiciones de fritura, evaluando indicadores de calidad directamente vinculados al producto final. Entre las limitaciones, se reconoce que el ultrasonido presenta una respuesta dependiente de variedad y condiciones operativas, y que, aunque la literatura recomienda incluir marcadores de calidad funcional y oxidativa, estos análisis pueden no estar contemplados en todos los diseños experimentales; por tanto, futuras investigaciones deberían integrar dichos indicadores para una evaluación más integral del balance entre calidad tecnológica y funcional.

METODOLOGÍA

Material biológico, identificación y procedencia

Se utilizaron tubérculos de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) correspondientes a las variedades de papa andina, papa amarilla y papa huayro, adquiridos directamente de unidades productivas del distrito de San Pedro de Cajas, provincia de Tarma, región Junín (Perú), a una altitud aproximada de 4014 m s. n. m. Para cada variedad se recolectaron 1 kilo, seleccionados por su representatividad local y potencial para elaboración de productos fritos. Se incluyeron únicamente tubérculos con estado sanitario adecuado, sin daños mecánicos visibles y con tamaño relativamente homogéneo para reducir variabilidad experimental asociada a diferencias morfológicas y fisiológicas.

Recepción, selección y acondicionamiento de muestras

En laboratorio, los tubérculos fueron inspeccionados manualmente y se descartaron aquellos con brotación, pudrición o lesiones externas severas. Posteriormente, se lavaron con agua potable, se pelaron manualmente y se cortaron empleando utensilios de acero inoxidable para minimizar alteraciones no deseadas por contacto con superficies reactivas. Se obtuvieron rodajas con un espesor aproximado de 1 mm. De cada tubérculo se obtuvieron, en promedio de 400 rodajas. Para la evaluación de cada tratamiento se analizaron 10 rodajas, consideradas como unidad experimental. Antes de aplicar los tratamientos, cada rodaja se pesó en una balanza analítica para registrar la masa inicial.

Caracterización fisicoquímica inicial de la materia prima

Con el propósito de interpretar los cambios asociados al proceso de fritura, se determinó la composición inicial de la papa fresca por variedad mediante muestras compuestas, con tres réplicas biológicas. La humedad (%) se determinó por secado en estufa a 40 °C hasta peso constante. Los sólidos solubles totales (°Brix) se midieron por refractometría en extractos acuosos de pulpa.

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con cuatro niveles de pretratamiento: control (sin ultrasonido) y ultrasonido con 13, 26 y 51 pulsos. Cada tratamiento se aplicó a las tres variedades (papa andina, papa amarilla y papa huayro). Las réplicas biológicas se definieron como rodajas provenientes de tubérculos distintos, analizándose 10 rodajas por combinación variedad–tratamiento. Adicionalmente, cada unidad experimental se trabajó con tres repeticiones para fortalecer la estimación de variabilidad experimental.

Pretratamiento con ultrasonido

El pretratamiento se realizó con un equipo de ultrasonido de alta intensidad (Uwave-2000), operado a potencia nominal constante de 0,441 kW. Las rodajas se colocaron en un recipiente con agua, asegurando inmersión completa para favorecer una transmisión homogénea de la energía acústica. El tiempo total de exposición se mantuvo constante en 3 min para todos los tratamientos, variando únicamente el número de pulsos (13, 26 y 51). El tratamiento control no recibió sonicación. Finalizada la aplicación, las rodajas se retiraron del medio y se escurrieron suavemente para eliminar el exceso de agua superficial antes de la fritura.

Fritura profunda

Las rodajas tratadas y el control se sometieron a fritura por inmersión en aceite vegetal de girasol. Para minimizar variaciones térmicas por enfriamiento del medio, se trabajó con una carga de aceite de 0,25 L por ensayo y una relación muestra:aceite equivalente a 1:30 (g aceite/g muestra). La fritura se realizó a 127 °C y el tiempo se estandarizó en 0,5 min para todos los tratamientos. Al completar el tiempo establecido, las rodajas se retiraron del aceite.

Escurrido y estabilización post-fritura

Tras la fritura, los chips se colocaron sobre papel absorbente durante 10 min con el fin de remover aceite superficial y estabilizar la muestra. Posteriormente, se registró la masa final de cada unidad experimental en la misma balanza analítica.

Evaluación de atributos de calidad

La absorción de aceite (indicador gravimétrico) se estimó mediante el cambio de masa entre masa inicial y masa final, considerándose un indicador comparativo entre tratamientos, con la salvedad de que puede sobreestimar la fracción lipídica real por la pérdida simultánea de agua. La diferencia global de color (ΔE^*) se determinó mediante un colorímetro previamente calibrado; se realizaron mediciones en varios puntos por rodaja y se reportó el promedio por unidad experimental y tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron bajo un diseño completamente aleatorizado. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0,05. Cuando se detectaron diferencias, se utilizó la prueba de Tukey para comparaciones múltiples. Los análisis se realizaron en el software SPSS.

RESULTADOS

La tabla 1 evidencia que la variedad condicionó el comportamiento fisicoquímico de los chips bajo el proceso evaluado, con un patrón claro: La papa amarilla combinó la mayor pérdida de peso con la menor absorción aparente de aceite y, simultáneamente, mostró el mayor cambio global de color (ΔE^*); la papa andina presentó una pérdida de peso similar a la papa huayro, pero destacó por el menor ΔE^* (mayor estabilidad cromática) y la mayor absorción aparente de aceite; mientras que la papa huayro se ubicó en valores intermedios para aceite y color, aunque con la mayor variabilidad relativa en ambos atributos. Este comportamiento sugiere que, más allá de la tendencia central, la consistencia del producto final también depende de la estabilidad intravarietal, aspecto particularmente crítico en la papa huayro

Tabla N°01:

Estrategia PIO, para determinar las ecuaciones de búsqueda.

Atributo	Papa Huayro (media $\pm$ DE)	CV%	Papa Amarilla (media $\pm$ DE)	CV%	Papa Andina (media $\pm$ DE)	CV%
Pérdida de peso (%)	5,03 $\pm$ 0,05	1,0	6,12 $\pm$ 0,02	0,3	5,11 $\pm$ 0,03	0,6
Absorción aparente de aceite (g/g)	0,122 $\pm$ 0,050	41,0	0,098 $\pm$ 0,016	16,3	0,135 $\pm$ 0,020	14,8
Diferencia de color (ΔE^*)	2,20 $\pm$ 0,99	45,0	2,43 $\pm$ 0,33	13,6	1,85 $\pm$ 0,45	24,3

CV%: Coeficiente de variación

DE: Desviación estándar

La pérdida de peso se mantuvo en un rango estrecho (5,03–6,12%), con dispersión muy baja en todas las variedades ($CV \leq 1\%$), lo que indica un desempeño altamente consistente de esta variable. La papa amarilla alcanzó $6,12 \pm 0,02\%$ ($CV 0,3\%$), superando a la papa andina ($5,11 \pm 0,03\%$, $CV 0,6\%$) y la papa huayro ($5,03 \pm 0,05\%$, $CV 1,0\%$) (Tabla 1). La diferencia observada sugiere una mayor salida neta de masa principalmente asociada a pérdida de agua en papa amarilla, lo cual es relevante porque la dinámica de humedad durante la fritura se relaciona con la generación de porosidad y, por ende, con la posterior retención de aceite.

La capacidad de absorción de aceite, estimada como indicador gravimétrico (absorción aparente), mostró mayor contraste entre variedades y una dispersión relativa más alta que la pérdida de peso. La papa amarilla presentó el valor más bajo ($0,098 \pm 0,016$ g/g, $CV 16,3\%$), seguida por la papa huayro ($0,122 \pm 0,050$ g/g, $CV 41,0\%$), mientras que la papa andina alcanzó el valor más alto ($0,135 \pm 0,020$ g/g, $CV 14,8\%$) (Tabla 1). Desde una perspectiva tecnológica, el menor valor de la papa amarilla sugiere un desempeño más favorable en el control de grasa incorporada bajo estas condiciones; sin embargo, debe considerarse que el método por diferencia de masa tiende a reflejar absorción “aparente” debido a la coexistencia de pérdida de agua y ganancia de aceite. Aun así, el patrón comparativo entre variedades mantiene valor para priorizar materia prima cuando se busca reducir el contenido lipídico.

En el atributo visual, la diferencia global de color (ΔE^*) permitió distinguir estabilidad cromática entre variedades. La papa andina registró el menor cambio ($1,85 \pm 0,45$, $CV 24,3\%$), lo que sugiere una mayor conservación del color final. En contraste, la papa amarilla presentó el mayor ΔE^* ($2,43 \pm 0,33$, $CV 13,6\%$), y la papa huayro mostró un valor intermedio ($2,20 \pm 0,99$) con la mayor dispersión ($CV 45,0\%$) (Tabla 1). En términos de calidad percibida, el menor ΔE^* de la papa andina es consistente con una respuesta más estable del sistema de color frente al proceso; por el contrario, el mayor cambio en la papa amarilla indica una modificación cromática más intensa, aspecto que podría influir en la aceptabilidad si se aleja del tono esperado por el consumidor.

La variabilidad relativa aporta información complementaria sobre la reproducibilidad de los resultados. Mientras la pérdida de peso fue altamente estable en todas las variedades, la papa huayro presentó CV elevados tanto en absorción aparente de aceite como en ΔE^* , lo que apunta a una respuesta menos homogénea del material o a una mayor sensibilidad del indicador gravimétrico y del color a pequeñas diferencias en espesor real, geometría o estado fisiológico. En conjunto, los resultados posicionan a la papa amarilla como alternativa prometedora para minimizar la absorción aparente de aceite (aunque con mayor cambio de color), mientras la papa andina como opción para mejor estabilidad cromática (aunque con mayor absorción aparente), y la papa huayro como variedad que requeriría un control experimental más estricto o un mayor número de réplicas para reducir la dispersión en atributos críticos.

DISCUSIÓN

La respuesta diferenciada entre variedades observada en la Tabla 1 es coherente con la premisa de que, en productos fritos a base de papa, el desempeño final no depende únicamente del tratamiento aplicado, sino también de la matriz propia del tubérculo. En papas nativas, la variación intrínseca en características fisicoquímicas y estructurales resulta decisiva porque condiciona la cinética de deshidratación, la formación de porosidad y, por extensión, la incorporación de aceite y la estabilidad del color; en este sentido, se ha señalado que las papas nativas de la región andina pueden presentar atributos favorables para fritura, lo que contribuye a atenuar el pardeamiento y a reducir la absorción de aceite (Palomino-Rincón et al., 2025).

La lógica tecnológica que vincula ultrasonido, estructura y aceite respalda la interpretación de los resultados varietales. La literatura describe que el ultrasonido previo al proceso térmico actúa principalmente a través de cavitación acústica: la generación y colapso de microburbujas puede modificar la estructura celular y mejorar la transferencia de masa, con impacto directo en variables asociadas a la calidad de snacks fritos (Palomino-Rincón et al., 2025).

En particular, se ha documentado que el ultrasonido puede promover pérdidas de humedad más eficientes al inducir ciclos alternos de compresión/rarefacción, generando microcanales y cavidades que facilitan rutas de salida de agua; durante la fritura, el incremento de migración de humedad puede elevar la presión de vapor interna y actuar como barrera frente a la penetración de aceite, explicando reducciones en la absorción bajo condiciones adecuadas (Zhang & Fan, 2021). Esta base mecanística es consistente con el patrón en el que una variedad (papa amarilla) alcanza menor absorción aparente de aceite, lo que sugiere que su estructura en interacción con el ultrasonido favorece un balance más eficiente entre deshidratación y resistencia a la infiltración lipídica (Zhang & Fan, 2021).

No obstante, la evidencia también advierte que el efecto del ultrasonido no es necesariamente lineal y puede revertirse según la intensidad o condición aplicada. Se ha reportado que el ultrasonido modifica el estado del agua, la morfología del almidón y el tamaño/distribución de poros; bajo ciertos niveles puede reducir fracciones de aceite retenido en el tejido, mientras que incrementos de potencia pueden aumentar fracciones de aceite superficial o favorecer vías estructurales que faciliten infiltración, dependiendo de cómo evoluciona la red porosa (Zhang et al., 2021). En esa misma línea, se describe que durante la fritura la formación de espacios por deshidratación del tejido es determinante para la absorción; la conectividad y el desarrollo de canales/poros explican por qué cambios microestructurales inducidos por ultrasonido pueden traducirse en aumentos o disminuciones del aceite final, según el tipo de porosidad y su distribución (Zhang et al., 2021). Bajo esta perspectiva, el hecho de que la papa andina muestre mayor absorción aparente de aceite, a pesar de una pérdida de peso comparable a la papa huayro, podría interpretarse como un

resultado de porosidad más conectada o de una estructura que, aun perdiendo humedad, termina ofreciendo rutas más favorables para la entrada/retención de aceite; esto concuerda con la idea de que la pérdida de agua por sí sola no garantiza menor grasa, sino que resulta determinante cómo se reorganiza la microestructura durante el proceso térmico (Zhang et al., 2021).

La interpretación del color (ΔE^*) también es consistente con lo reportado en los artículos adjuntos: los cambios cromáticos en productos fritos responden al balance entre reacciones químicas (pardeamiento) y la estabilidad de pigmentos/compuestos sensibles, además de la historia térmica y de humedad superficial. En papas nativas, se ha señalado que la aplicación de ultrasonido puede afectar la apariencia global al modificar parámetros cromáticos, con posibles implicancias sobre la estabilidad de pigmentos, por lo que se recomienda optimizar condiciones para sostener un equilibrio adecuado de color (Palomino-Rincón et al., 2025). Desde esta óptica, el menor ΔE^* de la papa andina puede sugerir una mayor estabilidad del sistema pigmentario/precursor frente al proceso, mientras que el mayor ΔE^* en la papa amarilla podría reflejar mayor sensibilidad a transformaciones asociadas al tratamiento y la fritura; en consecuencia, los objetivos de menos aceite y menor cambio de color no necesariamente convergen en la misma variedad o condición, reforzando la necesidad de decisiones variedad-específicas y de optimización multiobjetivo (Palomino-Rincón et al., 2025; Chamgordani et al., 2024).

Un punto crítico para la validez tecnológica del hallazgo sobre aceite es el método de medición. Los resultados basados en un indicador gravimétrico capturan cambios de masa útiles para comparación relativa, pero no equivalen necesariamente a grasa real retenida. La cuantificación de aceite se confirma mediante extracción Soxhlet con hexano (con condiciones controladas y reporte en base seca), precisamente para estimar el aceite no removible del tejido tras la fritura (Chamgordani et al., 2024). En consecuencia, cuando se discute sobre la menor absorción de aceite a partir de diferencia de peso, resulta metodológicamente más sólido sostener la conclusión como absorción aparente y plantear la extracción por solvente como verificación, dado que la pérdida de humedad y la ganancia de aceite ocurre y pueden sesgar la interpretación si no se separan ambas contribuciones (Chamgordani et al., 2024). Esta precaución se alinea con la relevancia que otros estudios asignan a la humedad como criterio estrechamente ligado al aceite: la pérdida de humedad crea vacíos microscópicos que pueden convertirse en espacios disponibles para absorción, de modo que el contenido de humedad residual y la estructura resultante son variables de soporte indispensables para sostener mecanismos (Chamgordani et al., 2024).

Finalmente, la mayor variabilidad relativa en la papa huayro (en aceite y ΔE^*) sugiere que la consistencia del producto no depende solo de promedios, sino de la estabilidad intravarietal bajo el tratamiento. Desde un enfoque crítico, ello implica que, a nivel experimental, podría requerirse incrementar la replicación y reforzar la estandarización para reducir dispersión; y,

a nivel de escalamiento, la viabilidad tecnológica del ultrasonido en papas nativas demandaría protocolos que aseguren uniformidad del tratamiento sobre matrices heterogéneas (Palomino-Rincón et al., 2025). En suma, los hallazgos respaldan que el ultrasonido tiene potencial para modular atributos de calidad, pero que su efecto es dependiente de variedad y puede involucrar compromisos entre control de aceite y estabilidad del color; por ello, el paso lógico siguiente es integrar confirmación de grasa por extracción y variables explicativas (humedad residual y, cuando sea posible, microestructura) para transformar tendencias descriptivas en una explicación mecanística robusta, en concordancia con lo enfatizado por estudios que relacionan cavitación, porosidad, migración de humedad y absorción de aceite en chips (Zhang et al., 2021).

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el pretratamiento con ultrasonido generó respuestas dependientes de la variedad de papa nativa, lo que confirma que el desempeño fisicoquímico de los chips no se explica únicamente por las condiciones operativas del tratamiento, sino también por las particularidades de la matriz del tubérculo. En conjunto, se observó un patrón diferenciado entre variedades, lo cual sustenta la necesidad de optimizar el proceso con un enfoque variedad-específico cuando se pretende mejorar atributos de calidad en productos fritos.

La papa Amarilla destacó por combinar la mayor pérdida de peso con la menor absorción aparente de aceite, lo que sugiere un comportamiento favorable para reducir la incorporación lipídica bajo las condiciones evaluadas; sin embargo, presentó el mayor cambio global de color (ΔE), evidenciando una modificación cromática más intensa del producto final. En contraste, la papa Andina mostró la mayor estabilidad cromática (menor ΔE), pero registró la mayor absorción aparente de aceite, lo que evidencia que una pérdida de peso similar a la de otras variedades no garantiza menor retención lipídica. La papa Huayro se ubicó en valores intermedios para aceite y color, aunque presentó la mayor variabilidad relativa, lo que sugiere menor consistencia del producto final y la conveniencia de reforzar la estandarización de la materia prima y/o incrementar la replicación experimental.

En términos aplicados, los hallazgos sugieren que la selección de la variedad y el ajuste del ultrasonido deberían definirse según el atributo prioritario: reducción de aceite, estabilidad de color o un balance entre ambos, dado que estos objetivos no convergieron en una sola variedad. Se recomienda que estudios posteriores confirmen el contenido real de grasa mediante extracción con solvente y complementen la evaluación con indicadores como humedad residual, textura instrumental y, cuando sea posible, caracterización microestructural, con el fin de sustentar el mecanismo de acción del ultrasonido y mejorar la transferencia del proceso hacia condiciones de escalamiento

REFERENCIAS

- Alvarez, M., & Ortuño, C. (2022). Quality changes in fried potato products: Influence of processing conditions on oil uptake and color development. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(5), e16512. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16512>.
- Chamgordani, P. A., Soltani Firouz, M., Omid, M., Hadidi, N., & Farshbaf Aghajani, P. (2024). Dual-stage ultrasound in deep frying of potato chips; effects on the oil absorption and the quality of fried chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 103, 106779. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106779>.
- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., & Marinou-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48(3), 219–225. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00161-8).
- Moyano, P. C., & Pedreschi, F. (2006). Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *Journal of Food Engineering*, 76(2), 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.020>.
- Palomino-Rincón, H., Ramos-Pacheco, B. S., Buleje Campos, D., Guzmán Gutiérrez, R. J., Yauris-Navez, E. M., & Alarcón-Quispe, E. (2025). Influence of ultrasound frequency as a preliminary treatment on the physicochemical, structural, and sensory properties of fried native potato chips. *Processes*, 13, 2668. <https://doi.org/10.3390/pr13082668>.
- Pedreschi, F., Kaack, K., & Granby, K. (2018). The effect of process conditions on acrylamide formation and oil uptake in fried potato products. *Food Research International*, 108, 385–393. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.040>.
- Zhang, J., Fan, L., Yu, P., & Sun, Y. (2021). Effects of ultrasound treatment on the starch properties and oil absorption of potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105347. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105347>.
- Zhang, J., & Fan, L. (2021). Effects of preliminary treatment by ultrasonic and convective air drying on the properties and oil absorption of potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, 105548. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105548>.