

**Efecto del secado por aire caliente en los parametros microestructurales y de textura en chips de papa
(*Solanum tuberosum*)**

Effect of hot air drying on microstructural and texture parameters in potato chips (*Solanum tuberosum*)

Eduardo Torres Carranza^{1*}, Jimy Oblitas Cruz¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1050, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

*Autor de correspondencia: etorres@unc.edu.pe

Resumen

La presente investigación generara una propuesta con el interés de aportar avances en el conocimiento e interpretación de las relaciones estructura-propiedad-proceso de tejidos vegetales de papa variedad Única, La investigación tuvo como objetivo identificar y analizar las características microestructurales de papa (*Solanum tuberosum*) en material fresco y en un proceso de secado usando un arreglo multifactorial de temperatura y tiempo, se midió características de tipo microestructural (área, perímetro, longitud de eje mayor, longitud de eje menor, redondez, elongación y compactación), para ello se implementó un software de caracterización microestructural de patata, desarrollando algoritmos para el procesamiento y análisis de imágenes y para la clasificación de características estructurales con el software Matlab. Se generó los histogramas de los parámetros de compactación, elongación, redondez, longitud de eje mayor, longitud de eje menor, perímetro y áreas celulares para los valores de la papa donde se pudo observar que el tamaño y forma de las curvas es similar para los parámetros de área, perímetro, longitud de eje mayor, longitud de eje menor y compactación.

Palabras clave: Microestructural, papa, procesamiento de imágenes, relación microestructura-propiedad-procesamiento

Abstract

The present research will generate a proposal with the interest of providing advances in the knowledge and interpretation of the structure-property-process relationships of plant tissues of the Única variety potato. The research aimed to identify and analyze the microstructural characteristics of potato (*Solanum tuberosum*) in fresh material and in a drying process using a multifactorial arrangement of temperature and time, microstructural characteristics were measured (area, perimeter, length of major axis, length of minor axis, roundness, elongation and compaction), for this purpose it was implemented a potato microstructural characterization software, developing algorithms for image processing and analysis and for the classification of structural characteristics with the Matlab software (version 2019a). The histograms of the parameters of compaction, elongation, roundness, length of major axis, length of minor axis, perimeter and cellular areas were generated for the potato values where

it could be observed that the size and shape of the curves is similar for the parameters of area, perimeter, major axis length, minor axis length and compaction.

Key words: Microstructural, potato, image processing, microstructure-property-processing relationship

Introducción

La microestructura de los alimentos se puede definir como la organización e interacción de los componentes de los alimentos que dan como resultado una partición espacial particular, visible al microscopio, de diferentes fases del material. En algunos casos, también se considera que la microestructura de los alimentos incluye la organización fisicoquímica y la interacción de las propias moléculas dentro de la matriz microestructural (Aguilera, 2000). Estos fenómenos moleculares ocurren a escalas nanoscópicas y más pequeñas y requieren técnicas dedicadas para la exploración. La mayoría de los alimentos sólidos, incluidos los productos de panadería, frutas, verduras y carne, están microestructurados. Muchas propiedades de los alimentos que son relevantes para la ingeniería o la calidad de productos y procesos están relacionadas con su microestructura. Los ejemplos incluyen esponjosidad del pan, crujiente o crujiente de las galletas, las propiedades de transporte de gas y agua de la fruta, o el color relacionado con las propiedades de dispersión de la luz justo debajo de la superficie.

Las operaciones de procesamiento de alimentos afectan la microestructura de los alimentos: las estructuras existentes se destruyen y se crean otras nuevas. La comprensión de la microestructura de los alimentos y cómo cambia durante las operaciones de procesamiento es esencial para producir alimentos de alta calidad. En particular, las demandas de los consumidores de mejorar la calidad nutricional (composición), la calidad sensorial (textura, defectos internos) y la seguridad (ausencia de materiales extraños) están impulsando a los fabricantes a optimizar los productos y procesos alimentarios con respecto a su microestructura.

La microestructura de los alimentos es fundamental para comprender los cambios que experimentan los alimentos durante el desarrollo, la poscosecha y durante los tratamientos de procesamiento y conservación, como el enlatado, el secado y la congelación. La microestructura también es importante en los alimentos manufacturados y en el desarrollo de nuevos tipos de alimentos para dar una idea de la forma en que los ingredientes responden cuando se mezclan con otros y cómo compiten por el espacio en un volumen.

En este contexto, la industria alimentaria ha comprendido el comportamiento de los materiales alimentarios a gran escala aplicando la experiencia de los campos de la ingeniería química y mecánica. Aunque este objetivo sigue siendo primordial para la industria alimentaria, las demandas de los consumidores modernos, requieren un enfoque más complejo de la fabricación de alimentos y el desarrollo del mercado.

La medición del control de calidad de los alimentos y la determinación de parámetros estructurales para la correlación con las variables de procesamiento y las propiedades del producto se basan en mediciones. A menudo, estos se realizan mediante imágenes digitales y análisis de imágenes por computadora. Por ello la microestructura

es importante para los científicos de alimentos porque da lugar a aspectos de calidad, incluida la textura, el color y la palatabilidad de los alimentos. Encontrar formas innovadoras de examinar la microestructura de los alimentos no solo ayuda a la comprensión fundamental, sino que también nos permite resolver problemas para la industria cuando los productos fallan. Por ello el presente trabajo monográfico tiene la intención de hacer una revisión sistemática y un metaanálisis de los avances en este campo para poder tener un punto de valoración de esta tecnología.

La microestructura de un alimento influye en los atributos clave de un producto según la evaluación de los consumidores. Muchas de estas propiedades son sinérgicas, por lo que tienen múltiples interacciones y, como resultado, no se comprenden bien. Los avances de la última década en las técnicas de microscopía, junto con una mejora concomitante en las capacidades informáticas, han hecho posible comprender la estructura de un alimento; su relación con las propiedades físicas (las llamadas relaciones estructura-propiedad) y cómo diseñar y controlar estas propiedades (Aguilera, 2005). Las relaciones estructura-propiedad pueden afectar fuertemente las propiedades fisicoquímicas, funcionales, tecnológicas e incluso nutricionales de estos alimentos. El diseño de un producto alimenticio debe tener en cuenta todas estas relaciones, manteniendo los altos estándares que espera el consumidor.

Todos los alimentos se pueden analizar en términos de su composición química. Esto proporciona información limitada sobre la estructura, el estado físico o las propiedades sensoriales. Los componentes naturales de los alimentos se pueden considerar como agua, aire, carbohidratos, proteínas y grasas. La forma en que estos se estructuran durante el procesamiento determina en última instancia la funcionalidad del alimento (Karim et al., 2018).

En este contexto es necesario determinar cómo la microestructura de los alimentos se ve afectada por las condiciones de procesamiento de los alimentos y cuales podrían ser los cambios en las propiedades y atributos de calidad de los alimentos durante el procesamiento, tema que no ha sido analizado a profundidad ni se ha incluido en las investigaciones realizadas en Perú. Desde el punto de vista teórico es necesario determinar el papel de la microestructura en los cambios que se dan en los alimentos, muchos atributos de los alimentos están determinados no solo por su composición, sino también por la disposición espacial de los componentes dentro de los productos alimenticios. La microestructura de los alimentos tiene un impacto en las propiedades mecánicas, textura, sabor, propiedades de fusión, calidad, estabilidad y biodisponibilidad de los nutrientes. Por lo tanto, comprender la relación de la microestructura de los alimentos con estos diversos atributos es esencial para un diseño racional de productos alimenticios.

Materiales y métodos

Población y muestra

La unidad de análisis es el producto cosechado y seleccionado de acuerdo a los siguientes criterios: producto fresco, recién cosechado de los biotipos industriales (almidón y fritura) del programa de papa del Instituto Nacional de Investigación Agraria del Perú. Todas las muestras al momento de la recolección no presentaron ningún daño externo y se almacenaron a una temperatura de 15 °C con una humedad relativa media del aire del 80 %. La variedad seleccionada para la presente investigación es la Variedad Única

Metodología

Implementación y caracterización microestructural de papa

Las muestras, previamente tratadas serán caracterizadas obteniendo la distribución estadística de los parámetros de tamaño y forma de cada uno de los elementos estructurales del tejido vegetal en estudio.

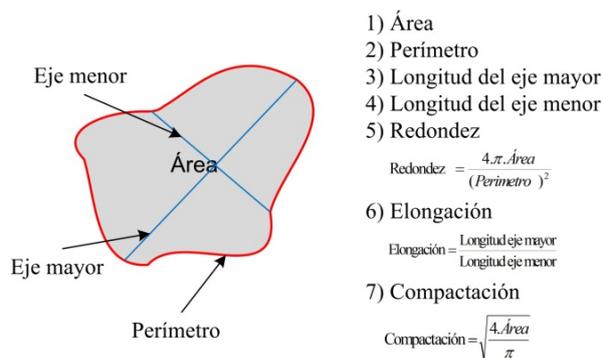


Figura 1. Parámetros de tamaño y forma para el análisis microestructural

Para obtener la información de cada elemento, así como para individualizar estos, se desarrollará un sistema automatizado a partir de la propuesta de (Castro et al., 2019). El sistema se implementará en el software matemático Matlab 2019.

Tratamiento y análisis de datos

El análisis estadístico para evaluar los efectos se realizará a través de un software estadístico y se efectuará en base a un análisis de varianza (ANOVA) y un sistema de optimización estadística usando el software STATISTICA 7.0.

Resultados y discusión

Extracción de características microestructurales

La Figura 2 muestra las micrografías tratadas con el software usado, basado en el trabajo de (Oblitas et al., 2021), donde se estructuran las imágenes para extraer los parámetros microestructurales de cada micrografía tomada en los tiempos previstos por la investigación. De cada micrografía se obtuvo un promedio de 120 células analizadas.

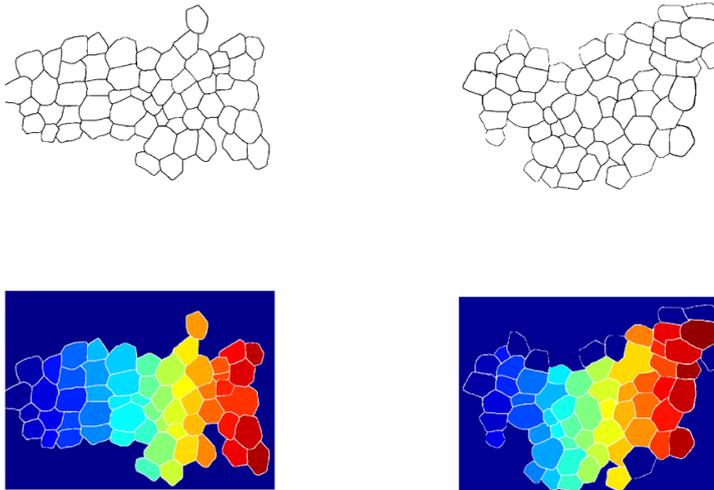


Figura 1. Datos microestructurales obtenidos (imagen de datos de secado a 60 °C)

Efecto del Tiempo en las características microestructurales

En las Figuras 3 a la 9 se realizó un análisis descriptivo para observar el comportamiento de las características microestructurales de la papa durante el proceso de secado, podemos observar que los parámetros de área, perímetro, longitud de eje mayor y longitud de eje menor tienen una tendencia a decrecer, lo cual muestra una contracción por efecto del tiempo, la cual es la misma para las temperaturas evaluadas. Las demás características no mostraron una tendencia clara.

De la misma forma que se analizó la tendencia del efecto del tiempo se analizó el efecto de la temperatura sobre las características microestructurales, teniendo niveles de contracción a mayores temperaturas, mostrados claramente en las características de área, perímetro, longitud de eje mayor y menor, las otras características no muestran un efecto claro. Se muestra en las figuras los valores significativos.

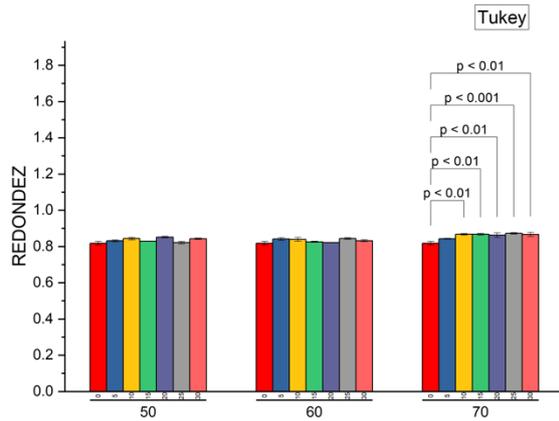


Figura 2. Análisis de parámetro microestructural de redondez

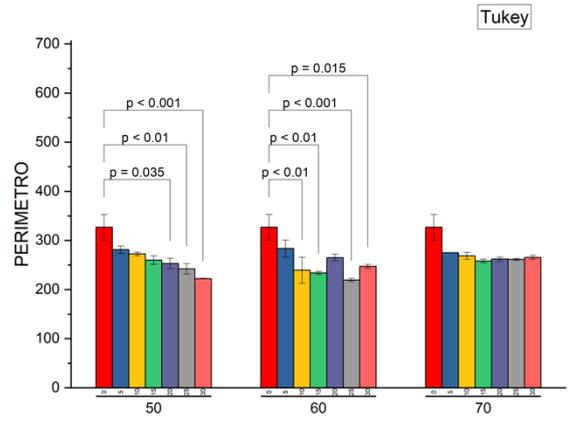


Figura 3. Análisis de parámetro microestructural de Perímetro

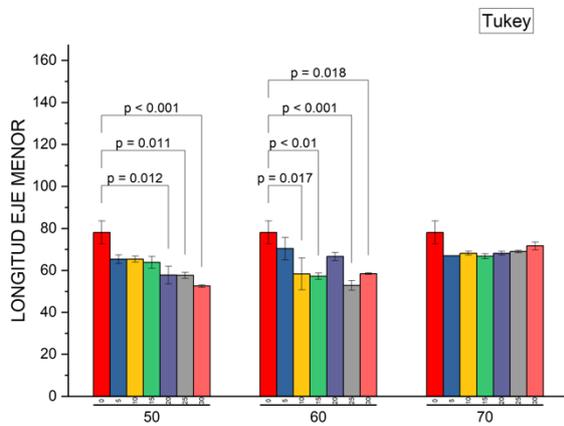


Figura 4. Análisis de parámetro microestructural de L. eje menor

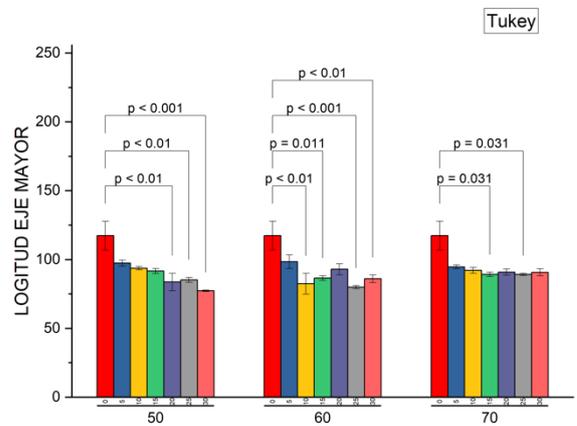


Figura 5. Análisis de parámetro microestructural de L. eje mayor

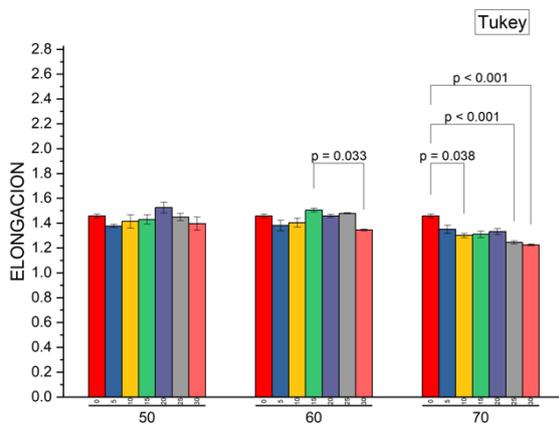


Figura 6. Análisis de parámetro microestructural de elongación

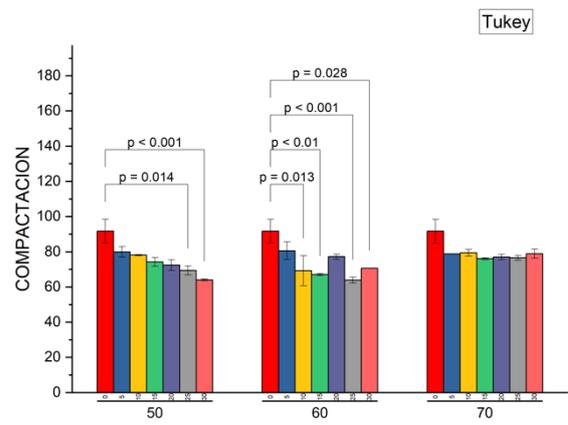


Figura 7. Análisis de parámetro microestructural de compactación

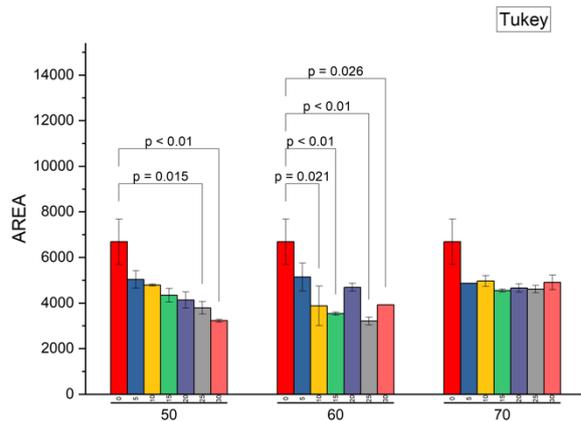


Figura 8. Análisis de parámetro microestructural de área

Efecto del Tiempo y temperatura sobre los parámetros microestructurales de la papa deshidratada

Se realizó el análisis estadístico del tipo multifactorial para evaluar el efecto de la temperatura y tiempo sobre las características microestructurales de las células de papa de la variedad huevo de indio durante el proceso de deshidratación, los detalles por cada parámetro los ponemos a continuación:

Para el parámetro microestructural área celular se observa que el mayor efecto está dado por el tiempo seguido de la temperatura, teniendo ambos factores un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,751 (figura 10). Para el parámetro microestructural perímetro celular se observa que el mayor efecto está dado por el tiempo seguido de la temperatura, siendo solo el tiempo significativo ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,745 (Figura 11). Para el parámetro microestructural longitud de eje mayor celular se observa que el mayor efecto está dado por el tiempo seguido de la temperatura, siendo solo el tiempo significativo ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,785 (Figura 12). Para el parámetro microestructural longitud de eje menor celular se observa que el mayor efecto está dado por la temperatura seguido del tiempo, teniendo ambos factores un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,716 (Figura 13). Para el parámetro microestructural elongación celular se observa que el mayor efecto está dado por la temperatura seguido del tiempo, siendo solo la temperatura significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,793 (Figura 14). Para el parámetro microestructural compactación celular se observa que el mayor efecto está dado por el tiempo seguido de la temperatura, teniendo ambos factores un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,791 (figura 15). Para el parámetro microestructural redondez celular se observa que el mayor efecto está dado por la temperatura seguido del tiempo, siendo solo la temperatura significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro microestructural, el R^2 fue de 0,794 (Figura 16).

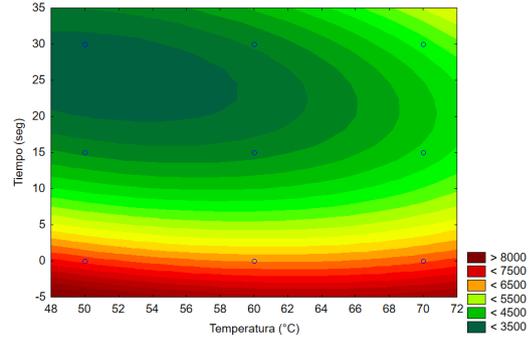
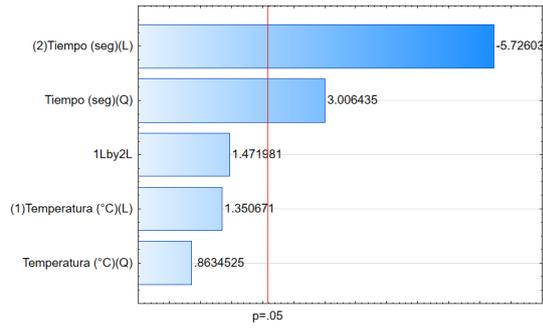


Figura 9. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de área

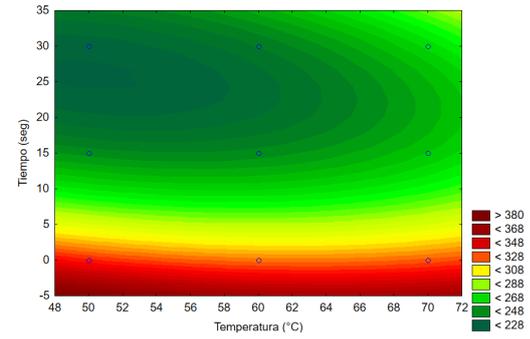
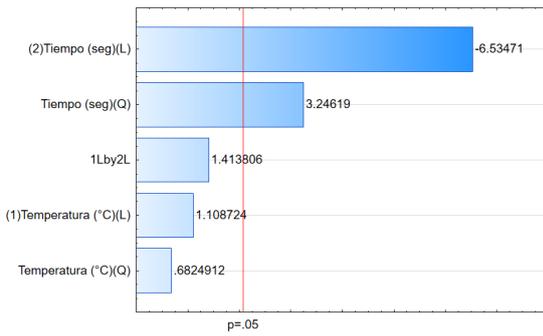


Figura 10. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de perímetro

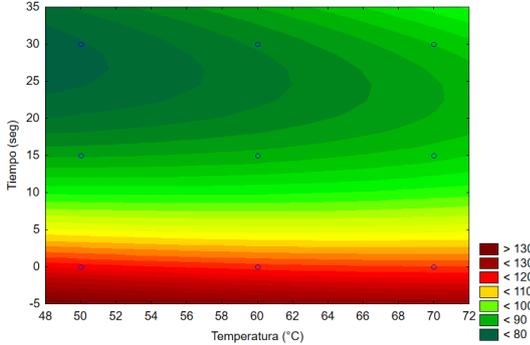
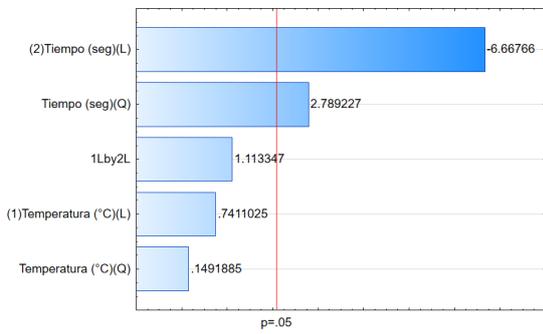


Figura 11. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de L. eje menor

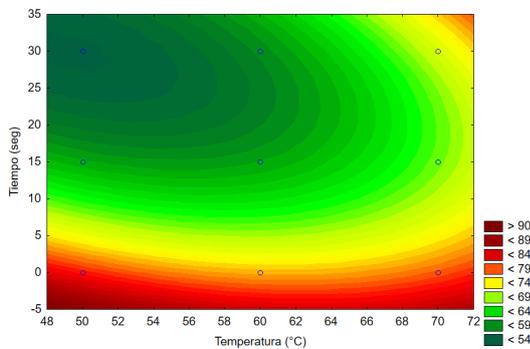
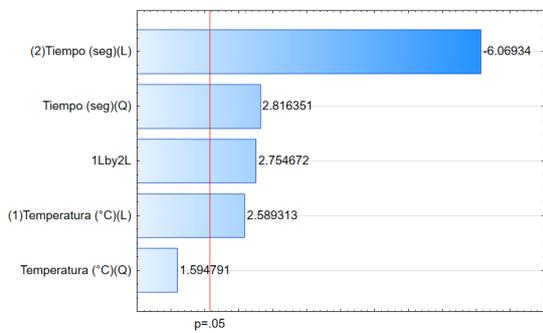


Figura 12. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de L. eje mayor

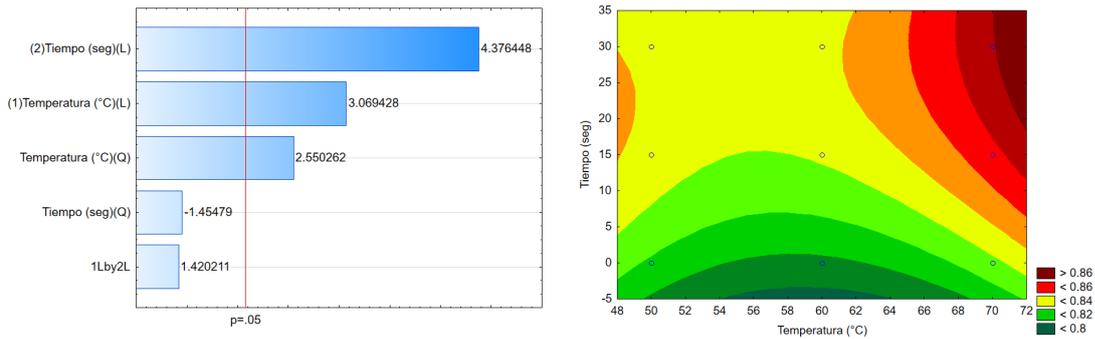


Figura 13. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de elongación

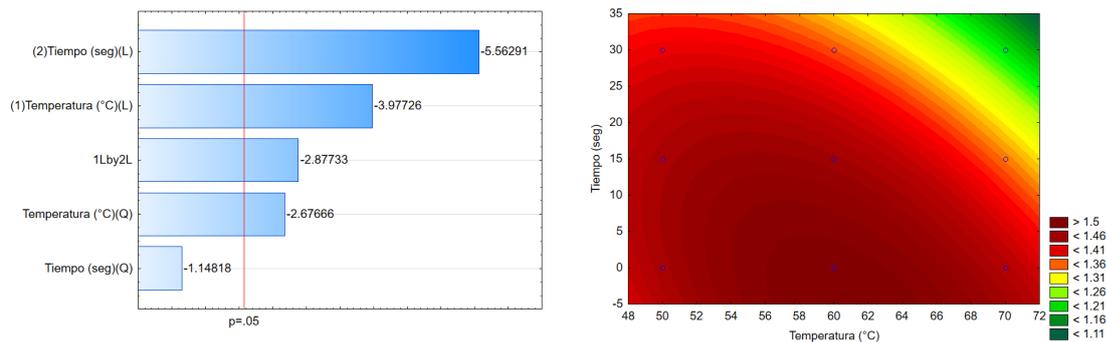


Figura 14. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de compactación

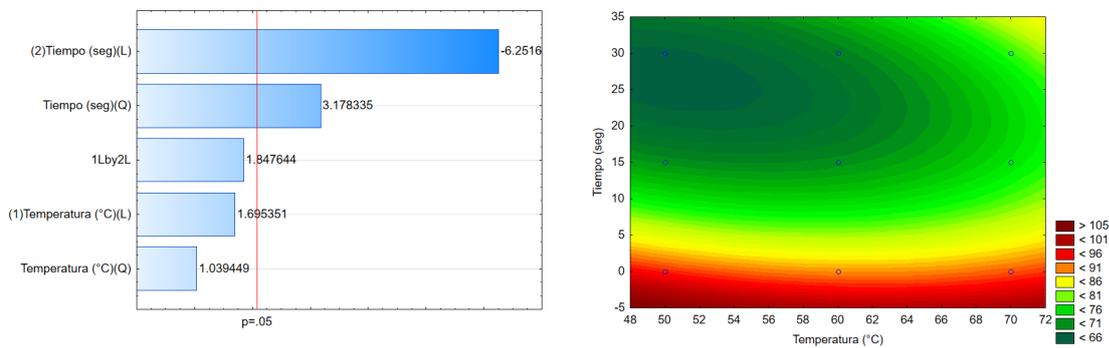


Figura 15. Efecto de la T y t sobre el parámetro microestructural de redondez

La microestructura alimentaria está relacionada necesariamente con las características tecnológicas de los alimentos, existe investigaciones como la de (Crafts, 1944) que ya reportaba que los niveles de contracción y cambio en las células de frutas causaban cambios en la dimensión de los productos. Otras investigaciones donde evaluaban el secado de frutas como la investigación de Ramos et al. (2003) donde evidenció que la contracción celular provoca modificaciones en la estructura global de los frutos y está directamente relacionada con la pérdida de agua durante el secado.

El avance de este tipo de trabajos que relacione a la microestructura con características tecnológicas en el procesamiento de alimentos se vio un poco limitado por los pocos indicadores microestructurales usados en este campo, que puedan medir y relacionar estas interacciones.

El desarrollo de indicadores microestructurales a partir de células de vegetales usando características geométricas de las células ha sido parte de diversos estudios (Allende et al., 2004; Derossi et al., 2017; Mayor et al., 2011) donde se ha demostrado que el área, diámetro equivalente, longitud del eje mayor, longitud del eje menor, perímetro, redondez, elongación y compactación obtenidos de las imágenes pueden representar el comportamiento microestructural de células vegetales. Los modelos presentados en estas investigaciones son modelos geométricos que representan la estructura del material biológico, pero que se observó que tienen deficiencias en encontrar relaciones estadísticas con el alimento que representan y esto porque las características usadas como el área encuentran valores idénticos, esto fue evidenciado en cada tipo de cultivar, zona de corte para obtener la muestra, lo cual genera una representación de la microestructura a un nivel promedio.

Los resultados en la tesis sobre las variedades de papa, da un inicio diferente a un uso del modelo geométrico con mayor detalle, ya que el software diseñado para la investigación lo construye a partir de un conjunto de geometrías poligonales aproximadas en el límite de formas tomando nuevas variables relacionadas con áreas y su relación de aspecto y orientación, que junto con un sistema de inteligencia artificial puede discriminar mucho mejor las micrografías usadas, por lo que los resultados obtenidos pueden ser más representativos de la microestructura de la papa y de su efecto en el proceso de fritura.

Todo esto ha sido posible a la aplicación de técnicas computacionales como las redes neuronales convolucionales, el trabajo de (Biswas & Barma, 2020) muestra una aplicación de análisis de imágenes de microscopía mediante el empleo de técnicas de aprendizaje automático la cual avanza en la comprensión crítica de varias características de las células biológicas, que van desde la visualización de estructuras biológicas hasta la cuantificación de fenotipos.

Este paso inicial es importante ya que puede representar con mayor exactitud los tejidos, pero es importante aclarar que esta aproximación está basada en un tejido homogéneo, en la tesis se puso cuidado en tomar las mismas zonas de muestra de la papa para asegurar la homogeneidad de los valores.

Conclusiones

El efecto de la temperatura, tiempo y variedad sobre características microestructuras y fisicoquímicas de las patatas fueron evaluadas usando ecuaciones cuadráticas usando un arreglo de superficie de respuesta, determinándose que el tiempo es la variable con mayor efecto, siendo significativo ($p < 0,05$) para los parámetros microestructurales de Área, Perímetro, L. eje mayor, L. eje menor y Compactación. Finalmente, la temperatura solo ejerce un efecto significativo ($p < 0,05$) en los parámetros de Redondez y Elongación.

Referencias

- Aguilera, J. M. (2000). Microstructure and food product engineering. *Food Technology*, 54(11), 56-X.
- Aguilera, J. M. (2005). Why food microstructure? *Journal of Food Engineering*, 67(1), 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.050>
- Cantre, D., Herremans, E., Verboven, P., Ampofo-Asiama, J., & Nicolai, B. (2014). Characterization of the 3-D microstructure of mango (*Mangifera indica* L. cv. Carabao) during ripening using X-ray computed microtomography. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 24, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.12.008>
- Castro, W., Yoshida, H., Gil, L. S., López, L. M., Oblitas, J., De-la-Torre, M., & Avila-George, H. (2019). Microstructural analysis in foods of vegetal origin: An approach with convolutional neural networks. In *Proceedings of the 2019 8th International Conference on Software Process Improvement (CIMPS)* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/CIMPS49236.2019.9082421>
- Dhital, S., Baier, S. K., Gidley, M. J., & Stokes, J. R. (2018). Microstructural properties of potato chips. *Food Structure*, 16, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.03.001>
- Fundo, J. F., & Silva, C. L. M. (2018). Microstructure, composition and their relationship with molecular mobility, food quality and stability. In S. Devahastin (Ed.), *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability* (pp. 29-41). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100764-8.00002-2>
- Hajalilou, A., & Ghadimi, L. S. (2019). Transmission electron microscopies for food quality evaluation. In J. Zhong & X. Wang (Eds.), *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 763-792). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00030-5>
- Karim, M. A., Rahman, M. M., Pham, N. D., & Fawzia, S. (2018). Food microstructure as affected by processing and its effect on quality and stability. In S. Devahastin (Ed.), *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability* (pp. 43-57). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100764-8.00003-4>
- Limón-Valenzuela, V., Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J., & Martínez-Bustos, F. (2017). Propiedades microestructurales y de formación de pasta de pellets extrudidos elaborados a partir de almidón de maíz enriquecidos con MCP y concentrado proteínico de leche [Unpublished manuscript].
- Oblitas, J., Mejía, J., De-la-Torre, M., Avila-George, H., Seguí Gil, L., Mayor López, L., Ibarz, A., & Castro, W. (2021). Classification of the microstructural elements of the vegetal tissue of the pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) using convolutional neural networks. *Applied Sciences*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/app11041581>
- Reinheimer, M. A. (2012). *Diseño conceptual de procesos en ingeniería de alimentos: Incorporación de la microestructura en el análisis* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional del Litoral; Biblioteca Virtual UNL.

Rovira Garbayo, S. (2013). *Estudio de la microestructura y aplicación de sensores ópticos en la elaboración de quesos de cabra* [Tesis doctoral]. Universidad de Murcia; TDR (Tesis Doctorales en Red). <http://www.tdx.cat/handle/10803/117261>

Van Het Hof, K. H., West, C. E., Weststrate, J. A., & Hautvast, J. G. A. J. (2000). Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *Journal of Nutrition*, 130(3), 503–506. <https://doi.org/10.1093/jn/130.3.503>