

Análisis de imagen aplicada a propiedades morfológicas en galleta de trigo y avena

Samuel Verdú-Amat¹

María del Carmen Granados-Nevárez²

Nina Gisella Heredia-Sandoval²

Alma Rosa Islas-Rubio²

Francisco Vásquez-Lara^{2,§}

1 Departamento de Tecnología de Alimentos-Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, Valencia, España. CP. 46022. (saveram@upvnet.upv.es).

2 Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal-Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC. Carretera Gustavo Astiazarán Rosas núm. 46, Col. La Victoria, Hermosillo, Sonora. México. CP. 83304. (pame@ciad.mx; nina.heredia@ciad.mx; aislas@ciad.mx). C

Autor para correspondencia: fvas@ciad.mx.

Resumen

El presente estudio se realizó en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo en 2024. El análisis de imagen es una herramienta esencial que puede ser utilizada en el control de procesos alimentarios. Este estudio tuvo como objetivo analizar, mediante técnicas de imagen, las propiedades morfológicas de galletas elaboradas con trigo y avena en diferentes porcentajes y su relación con la firmeza de la galleta. Se determinó el perfil de textura en la masa obtenida de las diferentes formulaciones, así como el peso, diámetro, altura y firmeza de las galletas. Se realizó una caracterización morfológica de las galletas mediante análisis de imagen. Estas mediciones se enfocaron en el color de la superficie de forma global, así como las características de la textura superficial e interna de las galletas a través del análisis de la miga. Los resultados mostraron disminución de la firmeza (151.96 N a 103.17 N) a medida que aumentó el porcentaje de sustitución, un comportamiento similar se observó en el peso y la altura de la galleta, mientras que el diámetro no se vio afectado. En cuanto al análisis de imagen, se observó un mayor agrietamiento de la superficie de la galleta a medida que aumentó el porcentaje de sustitución. Se observaron cambios de color en la miga hacia zonas más claras, lo que indica una disminución de burbujas en la miga de galleta. El análisis de imágenes puede ser una alternativa importante para determinar la calidad de un producto terminado, en este caso, una galleta.

Palabras clave:

firmeza en galleta, grietas superficiales, segmentación de imágenes.



Introducción

Son muchos los productos elaborados a partir de harina de trigo suave y agentes químicos leudantes; sin embargo, dentro de los principales productos están las galletas. La harina de trigo suave se caracteriza por un contenido más bajo de proteína, menor granulometría y contenido más bajo de cenizas o minerales (Serna, 2003). Estas características de la harina favorecen los procesos de manufactura de galletas; sin embargo, los fabricantes observan frecuentemente disparidad en la funcionalidad de la harina de trigo suave cuando es utilizada en diversas recetas y procesos de elaboración de galletas.

Desde dimensiones y densidades de galletas no controladas, variación en la textura y apariencia de la superficie, masas pegajosas o muy consistentes son ejemplos de dificultades tecnológicas encontradas durante la fabricación de galletas (Fustier *et al.*, 2009). Existe un creciente interés por comprender la microestructura de los alimentos y su correlación con los atributos texturales y reológicos de los alimentos en el desarrollo de productos alimenticios en el ámbito académico y la industria alimentaria.

Este conocimiento sobre la reología y la microestructura de los alimentos ayuda a minimizar los defectos de textura en los alimentos procesados y a mejorar la percepción de satisfacción del consumidor (Ahmed y Basu, 2022). Por lo anterior, es que se han implementado diferentes metodologías para controlar procesos alimentarios o para establecer mediciones analíticas a productos terminados que sean fáciles de aplicar, rápidas y no destructivas como lo es la utilización de análisis de imagen.

Esta es una técnica capaz de interpretar y hacer un análisis detallado de los píxeles de las imágenes captadas por una cámara. Lo anterior, permitió que los sistemas de visión se conviertan en estructuras automatizadas que pueden desde analizar a identificar y leer una serie de caracteres a través del análisis de los detalles capaces de ser extraídos de una imagen.

En los últimos años, el análisis de visión artificial, los sistemas de procesamiento y análisis de imágenes por computadora, como un medio rápido, no destructivo y de bajo costo, han ganado muchas aplicaciones interesantes en la industria alimentaria, también son susceptibles de aplicaciones industriales en línea y hasta el proceso de horneado puede ser monitoreado por estas técnicas (Abdollahi Moghaddam *et al.*, 2015).

Estos métodos se han aplicado también con éxito para la identificación y evaluación de la calidad (Gerrard *et al.*, 1996; Abdullah *et al.*, 2004; Brosnan y Sun, 2004; Du y Sun, 2004, 2006; Qiao *et al.*, 2004, 2005; Pace *et al.*, 2011; Shafiee *et al.*, 2013), la clasificación y selección de frutas y verduras, carne y pescado y productos de panadería (Mendoza y Aguilera, 2004; Blasco *et al.*, 2009; Zapotoczny, 2011), así como la detección y segmentación de defectos superficiales (Bennedsen *et al.*, 2005; Munkevik *et al.*, 2007; Dammer *et al.*, 2011; Atas *et al.*, 2012). En base a lo anterior, es que se estableció como objetivo de este estudio, analizar mediante técnicas de imagen, las propiedades morfológicas de galletas elaboradas con harina de trigo y harina de avena en diferentes porcentajes y su relación con la firmeza de la galleta.

Materiales y métodos

Materia prima

Las hojuelas de avena (marca Granvita) fueron trituradas en un molino (modelo Pulvex 200, México) para obtener una harina de 1 mm de tamaño de partícula. La harina de trigo galletera fue donada por Munsa Molinos de Cd. Obregón, Sonora. El resto de los ingredientes como manteca vegetal, azúcar, sal, bicarbonato y dextrosa se adquirieron de un comercio local en Hermosillo, Sonora, México.

Tratamientos

Las mezclas de harina de trigo galletera (HTG) con harina de avena (HA) fueron en proporciones: 95-5, 90-10 y 80-20 (p/p), respectivamente. Además, se consideró utilizar solamente HTG como control para establecer la galleta obtenida como una referencia con respecto al resto de las formulaciones.

Composición química de las galletas

Se determinó en la galleta control, así como en las galletas obtenidas de las mezclas de HTG-HA. Los análisis de humedad, proteína, grasa cruda y ceniza se realizaron de acuerdo con los métodos siguientes: 44-15A, 46-13, 30-25 y 08-01 (AACC, 2000), estos análisis se realizaron por triplicado. El cálculo de los carbohidratos se realizó restando a 100 la sumatoria de los porcentajes obtenidos de humedad, proteína, grasa cruda y ceniza.

Elaboración de la galleta control y la de los diferentes tratamientos

Se elaboró una galleta solo de HTG (control), además de las elaboradas con las diferentes proporciones de HTG-HA mencionadas anteriormente. Se batió manteca vegetal (64 g), azúcar (130 g), sal (2.1 g) y bicarbonato (2.5 g) por 3 min en una batidora (Modelo Artisan, KitchenAid 4.7 L, México). Se añadió dextrosa (33 g) y agua destilada (16 ml) para continuar batiendo por 2 min más, después se agregó la harina (225 g) y se mezcló por 2 min a una velocidad baja.

Al finalizar el amasado, se registró el peso de la masa obtenida y se colocó en una bandeja de hornear previamente engrasada. Se hizo pasar un rodillo, hasta obtener la altura deseada de la masa, para después moldear y cortar las circunferencias al diámetro deseado y por último hornear 10 min a 205 °C. Las galletas obtenidas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se almacenaron en bolsas de polietileno por 1 h (método 10-50D, AACC 2000).

Análisis en masas

Perfil de textura. Las masas obtenidas de las diferentes mezclas de HTG-HA fueron sometidas a un perfil de textura (Texture Analyser TA-XT2 Godalming, Surrey, England) con el accesorio TA-25. Se formaron cilindros de masa (3.8 cm de alto y 4.2 cm de diámetro) los cuales se comprimieron el 50% de su altura. La velocidad de prueba fue de 5 mm s⁻¹. Los parámetros obtenidos fueron: firmeza (N), adhesividad (Ns), elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad (Islas *et al.*, 2012).

Análisis en galletas

Peso de la galleta. Se utilizó una balanza Ohaus Pioneer (modelo PX3302/E, USA)

Grosor y diámetro. Para realizar estas mediciones se utilizó un Vernier (modelo Mitutoyo, Serie 530, Japón). Las mediciones de peso, grosor y diámetro de la galleta están referenciadas en el mismo método de elaboración (método 10-50D, AACC 2000).

Firmeza. Se utilizó el Texturómetro TA-XT2 (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK) con el accesorio HDP/BS. La velocidad de prueba fue de 1.7 mm s⁻¹. La distancia de ruptura fue de 5 mm (Fustier *et al.*, 2009).

Caracterización morfológica mediante análisis de imagen

Las propiedades morfológicas de las galletas fueron analizadas mediante técnicas de análisis de imagen con el objetivo de medir características de las cuales dependen la apreciación visual, así como propiedades texturales. Dichas propiedades resultan fundamentales para entender el efecto de la composición y procesado sobre el producto, sin embargo, son de complicada cuantificación mediante métodos fisicoquímicos tradicionales.

En esta investigación, las medidas se centraron en la exploración del color de la superficie de forma global, así como las características de la textura superficial e interna de las galletas a través de la exploración de la miga del producto. Las imágenes digitales fueron capturadas mediante una cámara gran angular de 12 MP: 26 mm, apertura de $f/1.5$, estabilización óptica de imagen por desplazamiento de sensor, 100% Focus Pixels, con una resolución de 2532 x 1170 píxeles a 460 ppi y almacenadas en formato JPEG. Los diferentes bloques de información que se extrajeron de las imágenes fueron.

Histogramas RGB

El estudio de los histogramas de frecuencia de pixel en el espacio de color RGB (rojo, azul y verde) fue aplicado para determinar patrones de cambio de color en la totalidad de la superficie de forma simultánea.

Textura de color superficial

Los patrones de color de la superficie fueron estudiados para determinar el impacto sobre la superficie de los cambios en la composición. Para ello se analizaron imágenes en 8 bits, segmentándolas sobre el valor de gris 153, con el objetivo de cuantificar el número de píxeles pertenecientes a los patrones superficiales producidos por grietas en el producto.

Análisis de estructura interna

La miga de las galletas se analizó mediante histogramas en escala de grises para determinar la cantidad de píxeles pertenecientes a estructura de cereal y burbuja. En este caso, los valores tendiendo a 0 representan píxeles relacionados con espacios vacíos (oscuros), mientras que los píxeles cercanos a 255 representaron los relacionados con la estructura. Cada análisis se realizó sobre 10 muestras de galleta utilizando el software libre Fiji (Schindelin *et al.*, 2012).

Diseño del experimento y análisis estadístico

El diseño de experimentos fue completamente al azar de un factor, el grado de sustitución de la HA en la HTG. Los resultados se analizaron aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras con un nivel de significancia de 95%. Para discriminar entre las medias se utilizó el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. El análisis estadístico se llevó a cabo con el Programa Statgraphics Centurion XVI (2010 StatPoint Technologies, Inc.)

Resultados y discusión

Composición química de las galletas

El Cuadro 1, muestra los resultados obtenidos del análisis químico proximal que se les realizó a la galleta elaborada solo de harina de trigo galletera (control) y a las obtenidas de las diferentes mezclas con harina de avena. Los valores de proteína y grasa no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las diferentes galletas, solo fueron observadas diferencias en las mediciones de humedad y ceniza, aunque estas fueron mínimas comparadas con el tratamiento control.



Cuadro 1. Análisis químico proximal de las galletas elaboradas con HTG y de las mezclas de HTG con HA.

Galleta	Componentes (%)				
	Humedad	Proteína	Ceniza	Grasa	Carbohidratos
Control	3.67 ±0.03 d	5.95 ±0.1 a	1.14 ±0.01 b	14.37 ±0.49 a	74.87
95% HTG- 5% HA	3.74 ±0.03 c	5.91 ±0.12 a	1.15 ±0.02 b	14.63 ±0.29 a	74.57
90% HTG-10% HA	3.99 ±0 a	5.96 ±0.1 a	1.15 ±0.02 b	14.11 ±.03 a	74.79
80% HTG-20% HA	3.9 ±0.02 b	5.77 ±0.11 a	1.19 ±0.01 a	14.68 ±0.43 a	74.46

HTG= harina de trigo galletera; HA= harina de avena; a, b, c= medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ($p > 0.05$). Las mediciones realizadas son el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Los carbohidratos fueron calculados por diferencia.

Estudios realizados por Maldonado y Pacheco (2000), elaboraron una galleta con una mezcla de harina de trigo y de plátano verde; observaron valores muy semejantes cuando analizaron carbohidratos y contenido de grasa; sin embargo, se encontraron diferencias importantes cuando se analizó el porcentaje de proteína, siendo este mayor hasta en un 3%. Esta explicación, puede tener como base las diferencias composicionales de las materias primas utilizadas en la elaboración de las diferentes galletas, principalmente en el tipo de harina de trigo utilizada.

Análisis en masas

El Cuadro 2, muestra los resultados del perfil de textura realizado a las masas obtenidas de la harina control y de las diferentes mezclas de harina de trigo con harina de avena. Los parámetros de textura pueden ser considerados de gran importancia en el control de calidad de los alimentos, específicamente la dureza en los productos amiláceos indica su grado de frescura, mientras que la crujencia arroja información sobre su estructura interna y características composicionales (Torres *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Perfil de textura de la masa control y de las masas obtenidas de las mezclas de HTG con HA.

Masa	Firmeza (N)	Adhesividad (Ns)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad
Control	17.11 ±0.39 a	3.5 ±0.86 a	0.23 ±0.03 a	0.17 ±0.01 b	2.95 ±0.31 a	0.7 ±0.15 b
95% HTG-5% HA	15.33 ±0.65 ab	4.78 ±0.75 a	0.26 ±0.03 a	0.21 ±0.01 a	3.27 ±0.23 a	1.03 ±0.16 a
90% HTG-10% HA	15.79 ±1.82 ab	3.42 ±0.88 a	0.27 ±0.02 a	0.2 ±0.02 ab	3.15 ±0.53 a	0.77 ±0.13 ab
80% HTG-20% HA	14.52 ±1.91 b	3.39 ±1.71 a	0.31 ±0.09 a	0.19 ±0.01 ab	2.77 ±0.48 a	0.98 ±0.02 ab

HTG= harina de trigo galletera; HA= harina de avena; a, b= medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ($p > 0.05$). Las mediciones realizadas son el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

Generalmente, la evaluación de la textura se basa en el juicio de paneles sensoriales, sin embargo, el uso de un instrumento como el analizador de perfil de textura (TPA) proporciona una forma rápida y rentable de medir la textura en condiciones bien definidas y controladas (Szczeniak, 2002).

En este estudio, los valores de firmeza conservan una tendencia de disminución al utilizar harina de avena en la sustitución de harina de trigo; sin embargo, este comportamiento se hizo más evidente cuando se utilizó harina de avena al 20%, donde se observaron diferencias significativas con respecto a la masa control. En cambio, los parámetros de adhesividad, elasticidad y gomosidad no fueron afectados por los diferentes niveles de sustitución de harina de avena.

En lo que respecta a las mediciones de cohesividad y masticabilidad, los comportamientos observados muestran una semejanza importante. No se observan diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las masas obtenidas de las diferentes mezclas de HTG con HA, pero si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) cuando se analizó la sustitución que fue del 5% con respecto a la masa control.

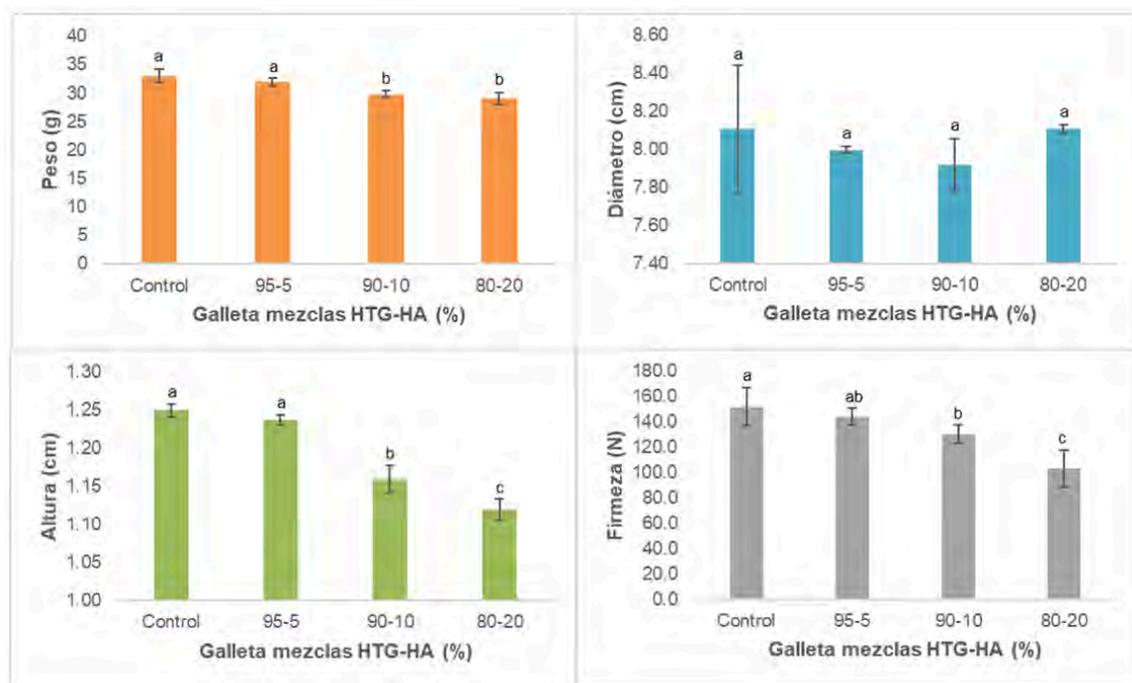
De acuerdo con Blanco *et al.* (2019), donde utilizaron fibra de avena en la elaboración de galletas, observaron cambios importantes en la capacidad de la masa para perder agua, asociando lo anterior a los betaglucanos contenidos en la avena. Esto puede guardar relación con los resultados obtenidos de firmeza en la masa, al realizar el perfil de textura donde sustituciones más altas de HA pueden retener mayor cantidad de agua en las masas, asociado esto a los valores más bajos de firmeza.

En trabajos realizados por Wang *et al.* (2017), analizó el efecto en las propiedades reológicas de harinas de trigo adicionadas con betaglucanos de avena, sus resultados también coinciden con una disminución en la fuerza de la masa al incrementar la proporción de betaglucanos. Este comportamiento podría atribuirse al debilitamiento de la red molecular del gluten y el almidón, que es causada por la inhibición de la asociación entre el gluten y el mismo almidón, relacionada en parte con la dilución del gluten, así como por el estado del agua afectando las propiedades de hidratación de las masas (Fustier *et al.*, 2009).

Análisis en galletas

Los valores obtenidos de peso, altura, diámetro y firmeza de las galletas se muestran en la Figura 1. En lo que respecta al peso de la galleta, las sustituciones realizadas con 10 y 20% de HA mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control. El diámetro de la galleta no fue afectado por algún nivel de sustitución, sin embargo, la altura mostró una disminución a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución, observándose el valor más bajo de 1.12 cm al utilizar el 20% de HA. Uno de los parámetros analizados más importantes desde el punto de vista sensorial fue la firmeza. Se observó un comportamiento similar al de la altura, a mayores niveles de sustitución de HA, la firmeza disminuyó.

Figura 1. Mediciones físicas en galleta control y en las galletas elaboradas de las mezclas de HTG con HA. HTG= harina de trigo galletera; HA= harina de avena.

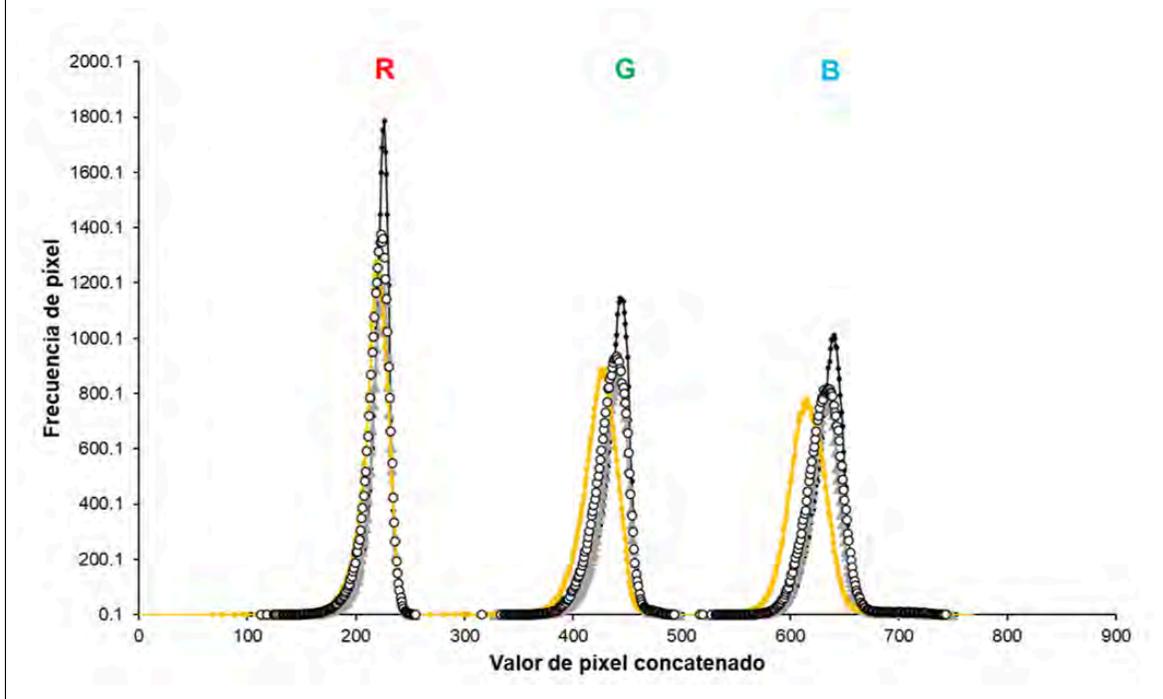


De acuerdo con Ahmed y Basu (2022) determinaron que el tamaño de partícula regula de manera importante el comportamiento reológico de los alimentos, ya sea en dispersión o en masas, además estos mismos autores han visto que una suspensión/masa con el tamaño de partícula más fino se comporta de manera completamente diferente a una masa con partículas gruesas. Por otro lado, también se ha reportado que la textura de las galletas está influenciada por la relación entre la geometría y el contenido de agua, y también con la dependencia de las propiedades mecánicas del contenido de agua y la concentración de azúcar (Slade y Levine, 1994).

Caracterización morfológica mediante análisis de imagen

El procesamiento de imágenes tiene la ventaja de proporcionar mediciones de color reproducibles que permiten la caracterización de aspectos tanto macro como microestructurales de los alimentos. Los datos de color de la superficie basados en histogramas RGB se incluyen en la Figura 2. Se observa como los picos de los tres canales son más altos en el caso de las galletas control.

Figura 2. Estudio de histogramas promedio de color RGB de las superficies de las galletas. Negro= control; blanco= 95% HTG-5% HA; gris= 90% HTG-10% HA; amarillo= 80% HTG-20% HA.

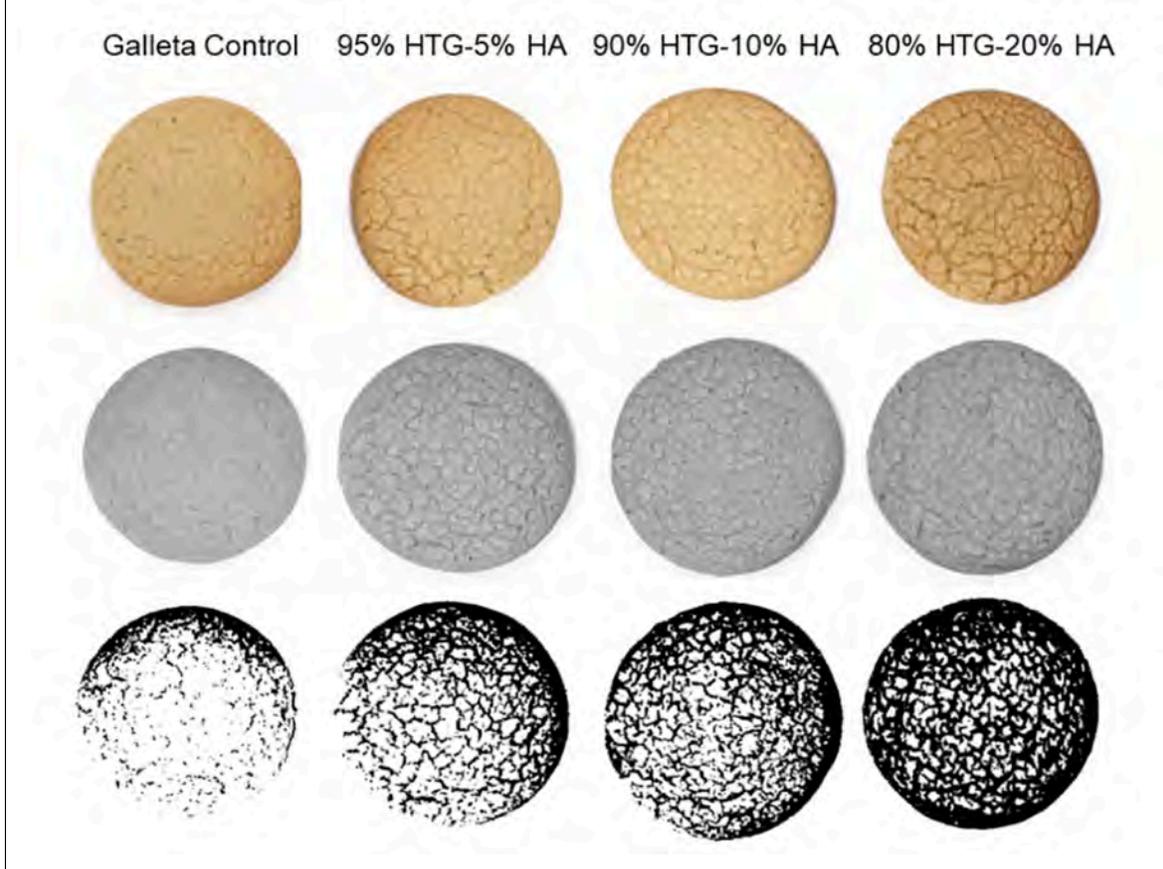


Dicha forma representa distribuciones de base reducida, en comparación con el resto de las fórmulas, lo cual indicó un color global más homogéneo. Es decir, hay una gran cantidad de píxeles en frecuencias muy cercanas. Este comportamiento se ve alterado con el aumento de la cantidad de avena. El canal azul (B) fue el que más afectado se vio, desplazando el pico de dicho canal hacia valores menores (oscuridad).

La fórmula 80-20 presentó el mayor cambio, mostrando un drástico aumento de la dispersión de los píxeles en la base de la campana, acompañado de una disminución del valor del pico máximo.

Para localizar en el producto real las causas principales del cambio de color de la superficie se segmentaron las imágenes en base a dos tipos de píxel observados en la textura visual de las galletas: los pertenecientes a la propia masa y los contenidos en las grietas derivadas de la adición de avena. La Figura 3, muestra el resultado de la segmentación de la imagen en los dos grupos indicados, pudiendo observar el aumento del área relacionada con dichas grietas a medida que aumenta el contenido en avena.

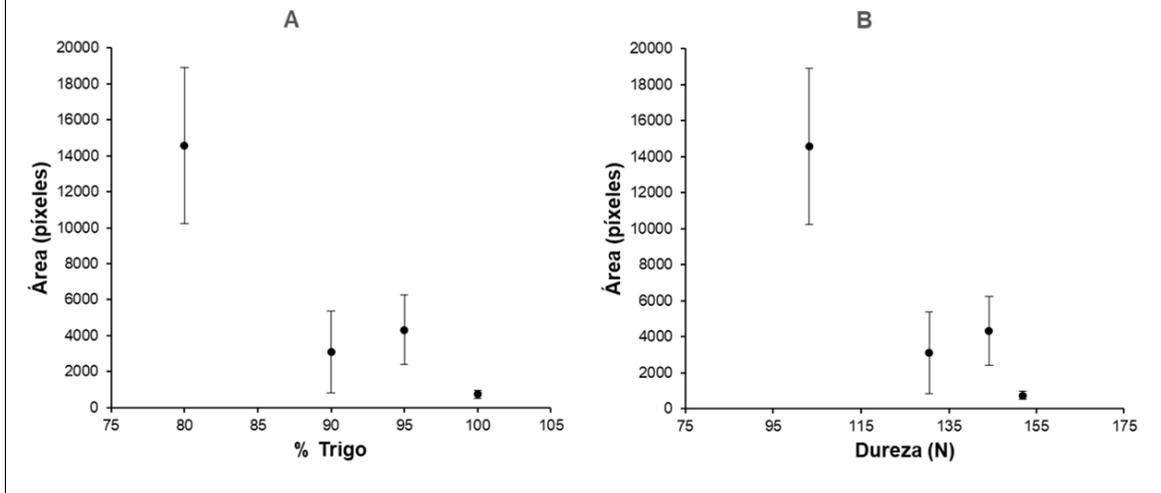
Figura 3. Imágenes reales (parte superior). Imágenes reales en escala de grises 8 bits (parte media). Imágenes segmentadas sobre valor de gris= 153 (parte inferior). HTG= harina de trigo galletera; HA= harina de avena.



La relación entre el área correspondiente a grietas de superficie, porcentaje de sustitución y dureza de las galletas se incluye en la Figura 4. En ella se evidencia la relación directa del fenómeno con el contenido en avena y por ende con el efecto sobre la resistencia mecánica. Mayor cantidad de avena produce un aumento de las grietas en superficie, las cuales derivan en galletas más frágiles.



Figura 4. Correlación entre (%) de sustitución (A) y textura de la galleta (B) con el área de píxeles pertenecientes a las grietas superficiales.



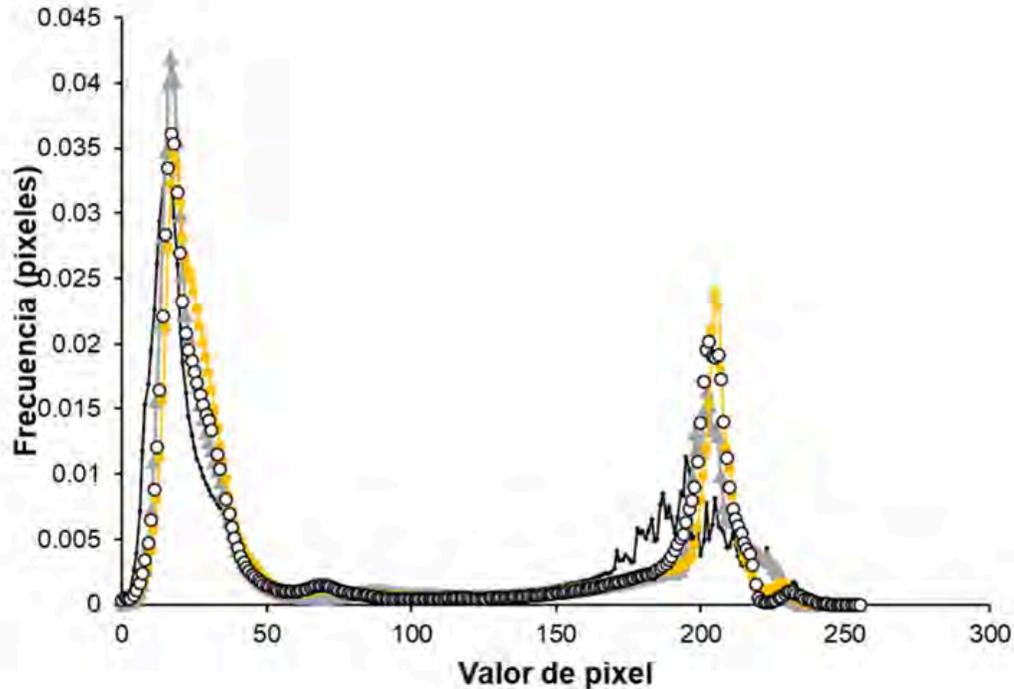
Estudios realizados por Inglett *et al.* (2015) observaron una tendencia de disminución en firmeza de la galleta con la textura de la masa, lo anterior coincide con los resultados obtenidos en esta investigación. Hosoney y Rogers (1994), atribuyeron que la firmeza de las galletas se debía a la interacción de las proteínas y el almidón por enlaces de hidrógeno.

La investigación de Fustier *et al.* (2009) mostraron como una mayor consistencia de la masa dio como resultado valores más altos de dureza de las galletas. Sin embargo, este no fue el caso para las diversas mezclas de fracciones que ellos mismos analizaron debido a las interacciones complejas entre sus constituyentes; un aumento en la consistencia de la masa no estuvo necesariamente acompañado de un aumento en la dureza de las galletas. Esto indica además que los demás ingredientes de la masa (azúcar, grasa y agua) utilizados en cada receta ejercen una influencia importante en la alteración de la textura final de la galleta.

Los cambios observados en las propiedades estructurales de las migas de las galletas siguieron el patrón anteriormente observado. La Figura 5, muestra como el incremento del contenido en avena produjo el desplazamiento del color hacia las zonas más claras. En este caso, los píxeles de valores tendiendo a 250 indican aclaramiento de la miga; es decir, eliminación de burbujas. La eliminación de trigo produce una reducción de la capacidad de retención de gas, colapso de la masa y con ello mayor cantidad de píxeles de tonos claros.



Figura 5. Estudio de histogramas promedio de grises de las migas de las galletas. Negro= control; blanco= 95%HTG-5% HA; gris= 90% HTG-10% HA; amarillo= 80% HTG-20% HA.



Estudios realizados por Inglett *et al.* (2015) observaron una tendencia de disminución en firmeza de la galleta con la textura de la masa, lo anterior coincide con los resultados obtenidos en esta investigación. Hosoney y Rogers (1994), atribuyeron que la firmeza de las galletas se debía a la interacción de las proteínas y el almidón por enlaces de hidrógeno.

Los hallazgos de Fustier *et al.* (2009) mostraron como una mayor consistencia de la masa dio como resultado valores más altos de dureza de las galletas. Sin embargo, este no fue el caso para las diversas mezclas de fracciones que ellos mismos analizaron debido a las interacciones complejas entre sus constituyentes, un aumento en la consistencia de la masa no estuvo necesariamente acompañado de un aumento en la dureza de las galletas. Esto indica además que los demás ingredientes de la masa (azúcar, grasa y agua) utilizados en cada receta ejercen una influencia importante en la alteración de la textura final de la galleta.

Conclusiones

Por medio del análisis de imagen, se logró detectar un aumento de las fisuras superficiales en la galleta, al mismo tiempo que se presentó una disminución en las burbujas observadas en la miga, lo que trajo como consecuencia la reducción de los valores de firmeza en las galletas con porcentajes de sustitución de harina de avena más altos. En base a lo anterior, es posible utilizar el análisis de imagen como una alternativa rápida de control morfológico de calidad en procesos de elaboración de este tipo de galletas.



Bibliografía

- 1 AACCC, 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th Ed. The Association, St. Paul, MN, USA. Methods 44-15, 46-13, 30-25, 08-01. Baking Quality of Cookie Flour Method 10-50D.
- 2 Abdollahi-Moghaddam, M. R.; Rafe, A. and Taghizadeh, M. 2015. Kinetics of color and physical attributes of cookies during Deep fat frying by image processing techniques. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39(1):91-99. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12268>.
- 3 Abdullah, M. Z.; Guan, L. C.; Lim, K. C. and Karim, A. A. 2004. The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Eng.* 61(1):125-135. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00194-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00194-8).
- 4 Ahmed, J. and Basu, S. 2022. Advances in food rheology and its applications. development in food rheology. Woodhead Publishing, Second Edition. 1-4 pp.
- 5 Ata#, M.; Yardimci, Y. and Temizel, A. 2012. A new approach to aflatoxin detection in chili pepper by machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 87(8):129-141. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.06.001>.
- 6 Bennedsen, B. S.; Peterson, D. L. and Tabb, A. 2005. Identifying defects in images of rotating apples. *Comput. Electron. Agric.* 48(2):92-102. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.01.003>.
- 7 Blanco, M. S.; León, A. E. and Ribotta, P. D. 2019. Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability. *Food Chemistry*. 271(2):309-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.146>.
- 8 Blasco, J.; Aleixos, N.; Cubero, S.; Gomez-Sanchis, J. and Molto, E. 2009. Automatic sorting of satsuma (*Citrus unshiu*) segments using computer vision and morphological features. *Comput. Electron. Agric.* 66(1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.11.006>.
- 9 Brosnan, T. and Sun, D. W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision: a review. *Journal of Food Eng.* 61(1):3-16. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00183-3).
- 10 Dammer, K. H.; Möller, B.; Rodemann, B. and Heppner, D. 2011. Detection of head blight (*Fusarium* ssp.) in winter wheat by colour and multispectral image analyses. *Crop Protection*. 30(4):420-428. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.12.015>.
- 11 Du, C. J. and Sun, D. W. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology*. 15(5):230-249. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.00>.
- 12 Du, C. J. and Sun, D. W. 2006. Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Eng.* 72(1):39-55. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.017>.
- 13 Fustier, P.; Castaigne, F.; Turgeon, S. L. and Billaderis, C. G. 2009. Impact of commercial soft wheat flour streams on dough rheology and quality attributes of cookies. *Journal of Food Engineering*. 90(2):228-237. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.026>.
- 14 Gerrard, D. E.; Gao, X. and Tan, J. 1996. Beef marbling and colour score determination by image processing. *Journal of Food Science*. 61(1):145-148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14745.x>.
- 15 Hosney, R. C. and Rogers, D. E. 1994. Mechanism of sugar functionality in cookies: the science of cookie and cracker production. *In*: Faridi, H. Ed. 1st. St. Paul, MN. American Association of Cereal Chemists. 203-225 pp.
- 16 Inglett, G. E.; Chen, D. and Liu, S. 2015. Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth-oat composites. *LWT-Food Science and Technology*. 63(1):214-220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.056>.

- 17 Islas, A. R.; Preciado, R. E.; Granados, M. C.; Mercado, J. N. and Vásquez, F. 2012. Evaluación de textura en masas multigrano, maíz QPM y maíz blanco. Memorias 4^{to} Congreso Internacional de Nixtamalización. 77-81 pp.
- 18 Maldonado, R. and Pacheco, E. 2000. Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y de plátano verde. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 50(4):1-11. <https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0004-06222000000400011>.
- 19 Mendoza, L. and Aguilera, J. M. 2004. Application of image analysis for classification of ripening bananas. Journal Food Science. 69(9):471-477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09932.x>.
- 20 Munkevik, P.; Hall, G. and Duckett, T. 2007. A computer vision system for appearance based descriptive sensory evaluation of meals. Journal of Food Eng. 78(1):246-256. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.09.033>.
- 21 Pace, B.; Cefola, M.; Renna, F. and Attolico, G. 2011. Relationship between visual appearance and browning as evaluated by image analysis and chemical traits in fresh-cut nectarines. Postharvest Biol. Technol. 61(2-3):178-183. <https://doi:10.1016/j.postharvbio.2011.03.005>.
- 22 Qiao, J.; Sasao, A.; Shibusawa, S.; Kondo, N. and Morimoto, E. 2004. Mobile fruit grading robot (part 1): development of a robotic system for grading sweet peppers. J. JSAM. 66(2):113-122. <https://doi:10.11357/jsam1937.66.2-113>.
- 23 Qiao, J.; Sasao, A.; Shibusawa, S.; Kondo, N. and Morimoto, E. 2005. Mapping yield and quality using the mobile fruit grading robot. Biosyst. Eng. 90(2):135-142. <https://doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.10.002>.
- 24 Schindelin, J.; Arganda-Carreras, I. and Frise, E. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. Nat. Methods 9(7):676-682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>.
- 25 Shafiee, S. S.; Minaei, S.; Charkari, N. M.; Ghasemi-Varnamkhasti, M. and Barzegar, M. 2013. Potential application of machine vision to honey characterization. Trends Food Sci. Technol. 30(2):174-177. <https://doi:10.1016/j.tifs.2012.12.004>.
- 26 Serna-Saldívar, S. R. O. 2003. Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. AGT Editor, SA. 193-194 pp.
- 27 Szczesniak, A. S. 2002. Texture is a sensory property. Food quality and preference. 13(4):215-225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8).
- 28 Slade, L. and Levine, H. 1994. Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients. *In*: Faridi, H. Ed. The Science of Cookie and Cracker Production. Chapman and Hall, London. 23-142 pp.
- 29 Torres, J. D.; Torres, R.; Acevedo, D. and Gallo, L. A. 2015. Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón. Revista Vector. 10(1):14-25.
- 30 Wang, L.; Ye, F.; Li, S.; Wei, F.; Chen, J. and Zhao, G. 2017. Wheat flour enriched with oat β-glucan: a study of hydration, rheological and fermentation properties of dough. Journal of Cereal Science. 75(3):143-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.004>.
- 31 Zapotoczny, P. 2011. Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks. Part I. Single kernel texture. Journal Cereal Science. 54(1):60-68. <https://doi:10.1016/j.jcs.2011.02.012>.



Análisis de imagen aplicada a propiedades morfológicas en galleta de trigo y avena

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 18 July 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3784
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3784

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

firmeza en galleta

grietas superficiales

segmentación de imágenes

Counts

Figures: 5

Tables: 2

Equations: 0

References: 31

Pages: 0