



Crocancia sensorial y picos sonoros de galletas de avena y granola evaluados por pruebas aceleradas

Sensory crunchiness and sound peaks of oatmeal cookies and granola evaluated through accelerated testing.

Thelmo Montoya ^a; Víctor Vásquez-Villalobos ^{b,*}

a. Departamento de Ciencias Agroindustriales (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n Trujillo Perú

*Autor para correspondencia: vyasquez@unitru.edu.pe (V. Vásquez -Villalobos)

b. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú,

Recibido 26 Octubre 2016; Aceptado 31 Diciembre 2016.

RESUMEN

Se investigó la relación entre la crocancia sensorial y el valor de los picos sonoros de galletas dulces de avena y granola marca Quaker en envases de laminado de aluminio con polietileno de baja densidad, empleando pruebas aceleradas a temperaturas de 30, 40 y 50 °C en un ambiente con 100% de humedad relativa producido por baño María a presión atmosférica. Se evaluó la crocancia a las 0, 7, 24, 41 y 48 horas a través de picos sonoros (dB), obtenidos en una cámara acústica con ayuda de un sonómetro y pruebas paralelas de análisis sensorial de su crocancia mediante pruebas hedónicas, utilizando 14 panelistas entrenados; estableciéndose una relación entre ambas a través de la determinación del punto de corte y vida útil en condiciones de alta humedad relativa. Se observó en el tiempo una disminución del valor de los picos sonoros (dB) en las galletas durante las pruebas aceleradas a temperaturas de 30, 40 y 50 °C, las que mostraron una cinética de orden cero y elevados coeficientes de determinación R^2 (0,96 a 0,99). Igualmente una disminución de la crocancia sensorial al aumentar la temperatura. Se determinó un elevado coeficiente de determinación de 0,93 entre los picos sonoros y la crocancia sensorial en galletas, obteniendo una crocancia sensorial límite de 7,3 (dentro de una escala hedónica de 10 divisiones de "poco crocante" a "muy crocante") con un punto de corte de pico sonoro de 94,61 dB. Se obtuvo una vida útil de las galletas en un ambiente de elevada humedad relativa a 20 °C de 31,5 horas, con un valor límite de confianza superior e inferior de 39,1 y 24 horas respectivamente, con un 20% del error típico de regresión ($s=1,94$).

Palabras clave: crocancia sensorial, picos sonoros, pruebas aceleradas, punto de corte, vida útil.

ABSTRACT

We investigated the relationship between the sensory crunchiness and the value of sound peaks of oatmeal cookies and granola Quaker brand in containers of rolled aluminum with low density polyethylene, using accelerated testing at temperatures of 30 °, 40 ° and 50 °C in an environment with 100% of relative humidity produced by a double boiler at atmospheric pressure. The crunchiness at 0, 7, 24, 41 and 48 hours through sound (dB) peaks was evaluated, obtained in an acoustic chamber using a sound meter and parallel tests of sensory analysis of their crunchiness, through hedonic tests, by means of 14 trained panelists; establishing a relationship between both via the determination of the cutting point and shelf life under conditions of high relative humidity. Within the time, it was observed a reduction in the value of sound (dB) peaks in the cookies during accelerated testing at temperatures of 30°, 40 ° and 50 °C, which showed a zero-order kinetics and high coefficients of R^2 (0.96 to 0.99) determination. Also a decrease of the sensory crunchiness was spotted at the temperature increase. It was determined a high coefficient of 0.93 determination between sound peaks and the sensory crunchiness in cookies, obtaining a sensory crunchiness limit of 7.3 (within a hedonic scale of 10 divisions from "little brittle" to "very crispy") with a sound peak cutting point of 94.61 dB. A cookies shelf life was obtained in an environment of high relative humidity at 20 °C of 31.5 hours, with a limit value of upper and lower confidence of 39.1 and 24 hours respectively, with 20% of the standard regression error ($s = 1.94$).

Keywords: Sensory crocancy, sound peaks, accelerated tests, cut-off point, useful life.

1. Introducción

Las galletas se consumen en casi todos los niveles de la sociedad. Las razones para la gran popularidad de estos productos horneados incluyen su fácil adquisición, listos para comer, de buena calidad nutricional, disponible en diferentes gustos y tener una larga vida útil (Ajila *et al.*, 2008). Una característica sensorial importante de las galletas como la de otros alimentos, en el cual el consumidor basa su apreciación es su carácter crujiente y/o crocante (Luyten *et al.*, 2004). Según Piazza *et al.* (2007) el carácter crujiente es una propiedad notoria textural de la mayoría de productos alimenticios frescos y secos, así como es un sinónimo de frescura y es asimismo una respuesta simultánea a los estímulos mecánicos y acústicos. Caracteriza a estos alimentos sus estructuras complejas y heterogéneas, que están directamente relacionados con sus propiedades y procesos de producción. Su historia térmica y mecánica durante las etapas de su fabricación conduce a la formación de su estructura y propiedades físicas, los que finalmente se relacionan con sus atributos sensoriales. Según Szczesniak (2002), Vickers (1987), Vickers y Bourne (1976), Wilkinson *et al.* (2001) los atributos crujiente y/o crocante son descripciones de la punta de un *iceberg* proverbial, cuando se estudia las sensaciones de comidas al horno o frituras alimenticias. Son parte de un complejo de sensaciones que comprende, *flavour*, olor, sabor y en particular la textura y el sonido. No existen definiciones exactas de los términos, pero hay un consenso general que las sensaciones sensoriales crujientes y/o crocantes están relacionadas con las propiedades de fractura de los productos alimenticios (Vincent, 1998). Para un producto crujiente y/o crocante la textura debe ser en términos físicos, firme y frágil; el producto tiende a fracturarse y desintegrarse abruptamente y completamente durante el mordisco y la masticación (Luyten *et al.*, 2004; Roudaut *et al.*, 2002; Vickers, 1987), siendo evidente, que la emisión de sonidos tiene un gran efecto en la percepción sensorial (Dijksterhuis *et al.*, 2007). Productos con una estructura crujiente son materiales predominantemente basados en almidón vítreo y generalmente se describen como materiales celulares frágiles, dentro de los que se encuentran productos de

baja humedad horneados y extruidos, como galletas, biscochos, palitos de pan, tostadas de pan, *chips*, etc. (Gibson y Ashby, 1988; Roudaut *et al.* 2002). De acuerdo a lo mencionado, lo crujiente se relaciona con textura y emisión de sonido y el almidón juega un papel muy importante en el control de la textura y apariencia de productos finales (Wang, 1997) donde la relación y el tipo de mezclas de harina pueden afectar a la calidad de galletas. La existencia de una relación entre lo crujiente y las características de sonidos crocantes, ha sido hipotetizado por varios investigadores. Muchos autores han presentado métodos para analizar la fractura y el comportamiento acústico. Drake (1963) fue uno de los primeros investigadores que estudió los sonidos producidos por los alimentos crujientes y encontró que, en la descomposición de la estructura del alimento durante la masticación normal, el sonido declina en la amplitud promedio durante la masticación. Los sonidos durante la trituración se diferencian entre los productos crujientes y menos crujientes. Durante la década entre 1970 y 80, la medición acústica en investigación de alimentos ganó más atención en la caracterización de atributos de textura relacionados con el sonido crujiente/crocante. Vickers y Bourne (1976) estudiaron la grabación de los sonidos del mordisco de alimentos húmedos y secos crujientes y, encontraron que las verduras mostraban mayor amplitud y número de sonidos. Hi *et al.* (1988) encontraron que sonidos de muestras frescas fueron más fuertes y que mostraban una mayor cantidad de componentes de alta frecuencia que los antiguos y rancios *chips* de patata y tortilla. El desarrollo de la medición acústica se produjo a finales de 1990. Dacremont (1995) realizó una clasificación de alimentos secos en crocantes, crujientes y crepitantes según las características espectrales de los sonidos emitidos durante el mordisco. Alimentos crujientes generan sonidos de tono alto con frecuencias superiores a 5 kHz, alimentos crocantes sonidos agudos bajos, con picos de rango de frecuencias de 1,25 a 2 kHz y alimentos crepitantes emiten sonidos de tono bajo con un alto nivel de conducción. En este sentido los productos pueden ser deformados por compresión uniaxial, flexión o penetración. Pruebas de compresión y

flexión son ampliamente utilizadas para la determinación de propiedades mecánicas. Baltsavias (1996) utilizó una prueba de tres puntos de flexión para la investigación de productos crujientes. Chaunier *et al.* (2005), Chen *et al.* (2005) y Varela *et al.* (2006) encontraron en hojuelas de maíz, galletas y almendras tostadas, que las características crujientes están correlacionadas con propiedades mecánicas medidas durante la compresión. Marzec *et al.* (2007) observaron cambios en señales de emisión acústica de panes planos extruidos con los cambios de humedad, utilizando un texturómetro equipado con un micrófono de contacto. Salvador *et al.* (2009) mencionan que la característica de crujencia sensorial de *chips* de patata está relacionada positivamente con el número de fracturas, eventos de sonidos y niveles máximos de presión.

El análisis sensorial proporciona una descripción más completa de la textura, pero existe gran interés en el desarrollo de técnicas instrumentales para la determinación de la crujencia. Las cuales presentan algunas ventajas, especialmente en ambientes industriales donde métodos rápidos y fáciles de usar tienen gran demanda y económicamente son más rentables (Roudaut *et al.* 2002). Según Piazza *et al.* (2007) los métodos sensoriales son el medio principal de la medición de las características texturales de los alimentos, que son muy importantes para la aceptación del consumidor. La naturaleza altamente intensiva del análisis sensorial inevitablemente ha llevado al desarrollo de los métodos instrumentales, los cuales han sido diseñados para medir propiedades de los alimentos que se relacionan con las características relevantes. Medidas mecánicas de crujencia se realizan con instrumentos originalmente desarrollados para la ciencia de los materiales, proporcionando parámetros físicos de importancia fundamental (Piazza *et al.*, 2007). Modelos para el comportamiento de la compresión de sólidos celulares en general han sido propuestos por Gibson y Ashby (1988) e incluyen: una región elástica lineal en la cual la fuerza aumenta proporcionalmente con la deformación; una región meseta donde fuerza permanece en un nivel regularmente constante debido a la rotura de las paredes celulares; y una región de densificación en que fuerza aumenta

rápidamente debido a la compactación de la estructura. Una estructura frágil porosa tiene una característica de melladura (*jaggedness*) sobrepuesta sobre estas curvas, que resulta de la fractura abrupta de las paredes celulares. La parametrización de los atributos de textura crujiente puede diferir en la manera que se analizan la trama de deformación de la fuerza, mediante la extracción de algunos parámetros, o considerando la señal en su conjunto (Piazza *et al.*, 2007). Ensayos mecánicos constituyen un enfoque bien-experimentado en ciencia de los alimentos para analizar su estructura, relacionar con las emisiones acústicas, en particular para los productos crujientes, pero como sostienen Piazza *et al.* (2007) tienen aún que desarrollarse plenamente. La técnica de emisión de sonido se ha utilizado como una medición objetiva de la textura de alimentos frágiles desde los años 60. En 1976 Vickers y Bourne propusieron una teoría psico-acústica de crujencia, mientras que en los años setenta la mayoría de los estudios sobre productos de panadería, patatas fritas y rosquillas crocantes, correlacionaban la emisión de sonido para las mediciones sensoriales de descriptores de textura crujiente (Seymour y Hamann, 1988). Una mejora en la evaluación instrumental de crujencia podría surgir si, los datos acústicos son recolectados a lo largo del tiempo, con el fin de proporcionar una fuente adicional de información sobre la textura (Piazza *et al.*, 2007). Las características típicas de muchos productos sólidos duros crujientes, crocantes es su comportamiento de fractura frágil, sobre todo acompañado de un fuerte sonido (emisión acústica o vibración) que está estrechamente relacionada con sus atributos de textura (Maruyama *et al.* 2008; Taniwaki *et al.*, 2006; van Vliet y Primo-Martín, 2011). Así, los investigadores han combinado test mecánicos, tales como compresión, penetración y prueba de flexión de tres puntos, con análisis de señal acústicas (Chen y Opara, 2013). Según Saeleaw y Schleining (2011) comúnmente la crujencia es medida con las variables sensoriales, mecánicas y morfológicas. Recientemente, el análisis de grabaciones acústicas con test mecánicos parece ser una técnica interesante de alimentos crujientes, donde la propagación de las ondas de sonido, se realizan de regiones alternativas de

compresión (aumento de densidad de las moléculas) y rarefacción (disminución de la densidad de las moléculas) por desplazamiento a través del aire (Speaks, 1999). La amplitud del desplazamiento de las moléculas desde el equilibrio, puede ser registrada por grabación acústica en test mecánico y representada en función del tiempo (amplitud-tiempo). Cuando se utiliza un micrófono, la presión acústica es proporcional a la señal de voltaje desde el micrófono y se representa como un nivel de presión sonora (NPS) en función del tiempo o deformación.

Los paneles de consumidores constituyen la herramienta más apropiada para determinar cuándo un alimento llega al fin de su vida útil. Sin embargo, un ensayo realizado con consumidores en múltiples sesiones, necesarias para un estudio de vida útil, es demasiado costoso y poco práctico. Un panel de evaluadores entrenados es mucho más simple de convocar. Pero un panel entrenado sólo realiza mediciones analíticas de atributos de sabor, aroma y apariencia. Según Vásquez-Villalobos *et al.* (2015) una metodología comúnmente utilizada es la escala no estructurada (ENE), donde se observa la reacción del consumidor entre los extremos de la intensidad del atributo percibido y, la asignación de la intensidad es a criterio de la persona con un determinado valor que no es expresado dentro de un rango, sino como un valor puntual, considerando que este efecto no es del todo confiable debido a que los evaluadores parten de supuestos subyacentes no razonables ni verificables. La determinación de los niveles de sabor o de intensidad de color a partir de los cuales los consumidores comienzan a notar un cambio con respecto al producto fresco, puede obtenerse mediante la correlación de un panel de consumidores con evaluadores entrenados. Esta metodología se denomina “punto de corte”; el cual se expresa como el valor de intensidad sensorial, en que un consumidor comienza a percibir un cambio en el producto en comparación con la muestra fresca (Hough y Friszman, 2005).

En la presente investigación se evaluó por pruebas aceleradas la crocancia sensorial y picos sonoros de galletas de avena y granola marca quaker determinándose su correlación, punto de corte y vida útil a alta humedad relativa.

2. Materiales y métodos

Materiales y equipos

Se utilizó galletas marca Quaker de avena y granola, envasadas en laminado de aluminio con polietileno de baja densidad, herméticamente cerradas, adquiridas del mercado Metro Óvalo Papal Trujillo/La Libertad/Perú. Que según lo declarado tiene los siguientes ingredientes: avena mediana, hojuelas de avena, maní triturado, harina de avena, coco rallado, almendra tostada, miel de abeja), harina de trigo fortificada (vitamina B1, vitamina B2, niacina, ácido fólico, hierro), azúcar, agua, grasa vegetal (aceite de palma, aceite de girasol, lecitina, antioxidante TBHQ), panela en polvo, salvado de trigo, huevo líquido pasteurizado, polidextrosa, leche descremada en polvo, suero de leche en polvo, bicarbonato de sodio, germen de trigo, sal yodada, bicarbonato de amonio, sulfato de aluminio y sodio, colorante caramelo, saborizante a miel natural y saborizante canela (Figura 1).



Figura 1. Envases y galletas dulces marca Quaker de avena y granola.

Baño María Memmert 10 L WNB-10; cámara acústica de madera de doble pared con material aislante de sonido de grosor 4,5 cm laterales y parte inferior y 3,8 cm superior, 40 cm de largo, 29 cm de ancho y 40 cm de altura; sonómetro marca Vernier, modelo SLM-BTA, 35 a 130 dB ($\pm 0,1$ dB); cable del sonómetro marca Vernier, code CB-SLM; interfase de sonido marca Vernier LabPro, modelo v6.2.2.0; software Vernier

Logger Pro 3.8.5; procesador Intel inside CoreI 3, 3-4GHz, memoria 4GB DDR3, Hdd500 GB; monitor Advance 20” Modelo GL2055A.

Metodología Experimental

La secuencia experimental desarrollada se presenta en la Figura 2. Las galletas en sus respectivos envases, fueron colocados dentro de un ambiente con vapor producido por baño María a presión atmosférica a temperaturas de 30, 40 y 50 °C, evaluándose su crocancia desde el inicio (0 horas) y cada 7, 24, 41 y 48 h, mediante la determinación de picos sonoros, obtenidos en la cámara acústica con ayuda del sonómetro y pruebas paralelas de análisis sensorial de la crocancia mediante pruebas Hedónicas. Estableciéndose una relación entre ambas, a través de la determinación del punto de corte y vida útil en condiciones de alta humedad relativa (100%).

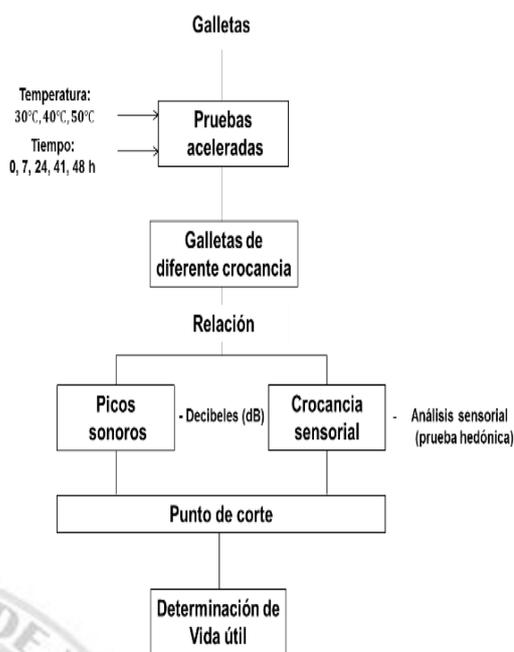


Figura 2. Esquema experimental para evaluar la relación entre la crocancia sensorial y el valor de los picos sonoros de galletas dulces de avena y granola.

Determinación de la crocancia

Las galletas se colocaron sobre un soporte con una muesca, sobre la cual se colocó el dispositivo de presión para producir la ruptura por efecto del peso (6,2 kg), captándose el sonido en función a la crocancia mediante un micrófono digital, acoplado a un sonómetro/interfase de

adquisición de datos, que permitió registrarlos en la memoria de la computadora (Figura 3 y Figura 4). De manera paralela se realizaron pruebas sensoriales Hedónicas de crocancia, utilizando 14 panelistas entrenados familiarizados con este atributo, para lo cual se utilizó una escala no-estructurada de 10 centímetros de acuerdo a la ficha mostrada en la Figura 5.

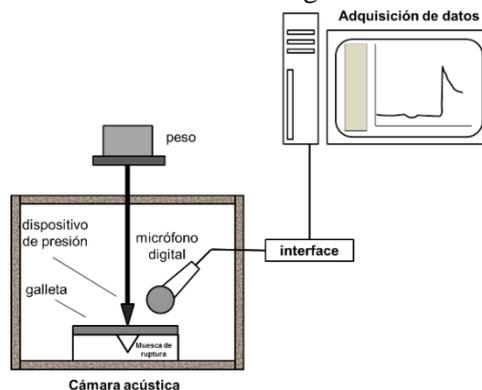


Figura 3. Esquema del sistema de adquisición de datos de picos sonoros en la cámara acústica por efecto de la ruptura de galletas dulces de avena y granola.

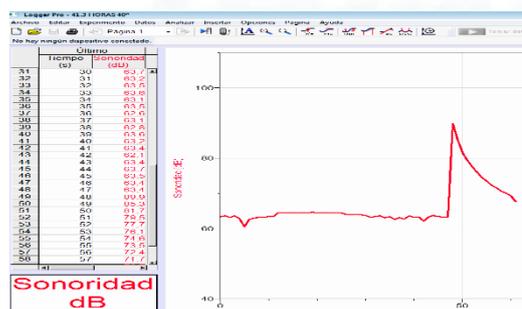


Figura 4. Vista de detalle de pantalla de la computadora donde se muestra la historia del sonido y valor del pico sonoro (dB) al momento de ruptura de la galleta.

Muestra: _____ N° Panelista: _____ Fecha: _____

Evalúe el atributo **crocancia** colocando una cruz en la línea adjunta.

Poco crocante Muy crocante

Observaciones: _____

Figura 5. Ficha de escala no-estructurada para el análisis sensorial de la crocancia.

Determinación del punto de corte

El punto de corte se determinó utilizando la siguiente ecuación (Hough *et al.*, 2005):

$$S = F - Z_{\alpha} \sqrt{\frac{2CME}{n}}$$

Dónde:

S: Valor en el atributo crocancia en la galleta el cual comienza a disminuir significativamente.

F: Aceptabilidad de la muestra fresca (promedio de los n consumidores).

$Z_{5\%}$: Coordenada de la curva normal para un ensayo de una cola con un nivel de significación del 5% = 1,645. Para calcular el Z, se empleó un ensayo de una cola debido a que se asume que el producto almacenado debe tener una aceptabilidad más baja que el producto fresco,

CME: Cuadrado medio del error obtenido del análisis de varianza de los consumidores empleando como factores de variación muestra y consumidor. El cuadrado medio del error (CME) es un indicador de la precisión del ensayo (Snedecor y Cochran; 1989),

n : Número de consumidores.

Una vez obtenido el valor S, se representó gráficamente una recta de regresión entre los valores promedio de crocancia obtenidos de los panelistas, en función de los valores en dB máximos de los picos sonoros obtenidos en las pruebas correspondientes. El valor S de crocancia sensorial, se interceptó en la recta mencionada obteniéndose el punto de corte (C).

Determinación de la vida útil

Con el valor del punto de corte (valor máximo de pico sonoro), en la respectiva representación gráfica de la variación del valor de los picos sonoros de las galletas a las temperaturas de 30, 40 y 50 °C en función del tiempo, se determinaron los valores de los tiempos máximos para cada temperatura, lo cual permitió representar el tiempo de vida útil en función a la temperatura, cuya función linealizada permite estimar su predicción. Considerando que para la linealización se aplicó un proceso de regresión, Montgomery y Runger (2012) recomiendan tener en cuenta intervalos de confianza dentro de valores superiores e inferiores al 95% para respuesta de valor promedio, lo cual se realizó utilizando la ecuación (2):

$$\bar{Y}_0 \pm t(v, 1 - \alpha / 2) \left\{ \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right\}^{1/2} s$$

Dónde: \bar{Y}_0 es un punto ubicado dentro de la línea promedio a un valor dado de la

ordenada (y); $t(v, 1 - \alpha / 2)$ es la distribución t de *student* de 2 colas; s es el error típico.

3. Resultados y discusión

La variación de los picos sonoros (dB) de las galletas en pruebas aceleradas a temperaturas de 30, 40 y 50 °C y humedad relativa elevada de 100% (Tabla 1), muestran una disminución con el aumento de la temperatura y tiempo, con una cinética de orden cero, elevados coeficientes de determinación entre 0,96 y 0,99 (Figura 6) y una Energía de Activación de 41,37 kJ/mol.

Tabla 1. Valores promedio de los picos sonoros (dB) en galletas dulces de avena y granola en pruebas aceleradas en función

Tiempo (h)	Temperatura		
	30 °C	40 °C	50 °C
0	97,33	97,33	97,33
7	95,90	95,60	94,60
24	94,38	93,28	89,40
41	93,13	92,08	85,63
48	91,83	91,00	82,90

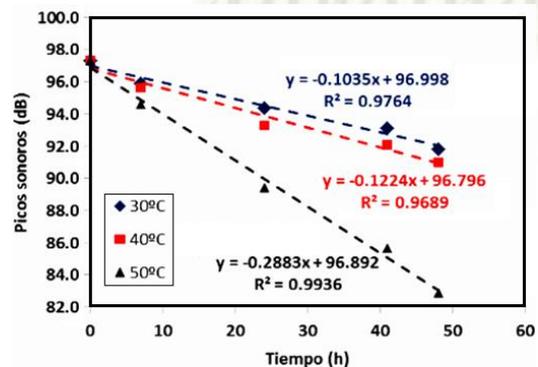


Figura 6. Variación del valor de los picos sonoros (dB) en galletas dulces de avena y granola en pruebas aceleradas.

Es posible inferir que la disminución de los picos sonoros está relacionado al incremento de la humedad. Ya que de acuerdo a Labuza y Hyman (1998) las galletas pueden ser consideradas de múltiples dominios. Su vida útil puede ser limitada por la redistribución de agua entre las diferentes partes, las que pueden tener un impacto negativo en la textura (Piga *et al.*, 2005) y aumentar la susceptibilidad al crecimiento microbiano (Secchi *et al.*, 2011). De hecho, la migración de humedad dentro del sistema del alimento

puede conducir a la recristalización de la sacarosa, que a su vez resulta en un cambio en la firmeza e incremento en la actividad de agua (Labuza *et al.*, 2004; Piga *et al.*, 2005). El grado de recristalización de la sacarosa ha sido determinado en pruebas de laboratorio en galletas por Belcourt y Labuza (2007), quienes demostraron que la tasa de firmeza de galletas suaves, durante el almacenamiento, se reduce mediante la sustitución de sacarosa con rafinosa.

La vida útil de los alimentos envasados en materiales plásticos, está limitada básicamente por los fenómenos de transferencia de masa que pueden afectar la calidad y/o inocuidad del producto. La principal fuerza que dirige la transferencia de moléculas a través de un sistema de envasado es la tendencia del sistema al equilibrio de potencial químico (Hernández y Gavara, 1999). Los procesos de transferencia de masa en sistemas de envasado con materiales poliméricos, hacen referencia a los procesos de migración, sorción y permeabilidad. La permeabilidad es el proceso de transferencia de masa y/o energía en el cual se produce el paso de moléculas a través del material polimérico. Este proceso por tanto puede ser descrito por dos mecanismos, por un lado, el flujo capilar, que implica el paso de moléculas a través de poros o bien defectos propios del material de envase, y el proceso de permeabilidad por difusión (Guarda y Galotto, 2001). La difusión por su parte, es el proceso resultante de tres mecanismos: adsorción de las moléculas permeantes desde/entre la atmósfera interna/externa, difusión de las moléculas permeadas a través del material plástico; y desorción de las moléculas permeadas desde/entre la atmósfera interna/externa (Aguilera, 2007). El proceso de difusión que tiene lugar a favor de la gradiente de concentración y se rige según la ley de Fick, que regula la ley general del transporte de un soluto causado por gradiente de concentración o presión (Treybal, 1980). En la presente investigación, se tuvo una mayor presión de vapor en el ambiente externo producida por una alta humedad relativa en el ambiente con baño María.

De acuerdo Resolución Ministerial N° 1020-2010/MINSA “Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de

Productos de Panificación, Galletería y Pastelería” (MINSA, 2011), las galletas deben poseer una humedad máxima de 12% para mantener su crocancia, textura, suavidad a la masticación y sabor. El envase para galletas normalmente es un material flexible BOPP (monocapa o laminado) que puede ser hoja de aluminio unido por extrusión a distintos plásticos como polietileno de baja densidad (PEBD) u otro material apropiado, herméticamente cerrado (termosellado). La permeabilidad a los gases y a los líquidos en el polímero aumenta con la temperatura de acuerdo a la relación descrita por Arrhenius. Dentro de las posibles razones en la cual la temperatura afecta la permeabilidad están el incremento de la movilidad molecular; cambio en la estructura del polímero (disminución de la cristalinidad); cambio en la solubilidad. Para algunos polímeros, la exposición a la humedad influye en sus propiedades de barrera. El vapor de agua acelera la difusión de los gases y vapores en polímeros que presentan alta afinidad por el agua, ya que actúa como un agente plastificante del polímero incrementando la movilidad molecular. Por lo general, el efecto plastificante del agua se produce en film hidrofílicos, tales como el copolímero etileno vinil alcohol (EVOH) y algunas poliamidas (Aguilera, 2007).

Tabla 2. Variación de los picos sonoros y valores de la crocancia sensorial promedio de galletas en pruebas aceleradas determinada en escala no estructurada

Muestra	Tratamiento	Picos sonoros (dB)	Crocancia sensorial
1*	0 h x 30°C	97,33	8,02
2*	0 h x 40°C	97,33	8,01
3	7 h x 30°C	95,90	7,86
4	7 h x 40°C	95,60	7,31
5	24 h x 30°C	94,38	7,35
6	24 h x 40°C	93,28	7,20
7	41 h x 30°C	93,13	6,84
8	41 h x 40°C	92,08	6,46
9	48 h x 30°C	91,83	6,63
10	48 h x 40°C	91,00	6,10

(*) Galleta fresca inicial

Los resultados de la variación de los picos sonoros, obtenidos de manera paralela a las pruebas de crocancia sensorial de las galletas realizadas por los panelistas a temperaturas

de 30 °C y 40 °C a las 0, 7, 24, 41, 48 horas; se muestran en la Tabla 2. Denotándose igualmente una disminución de la crocancia sensorial al aumentar la temperatura y el tiempo. Tesch *et al.* (1996), Roudaut *et al.* (1998) y Duizer (2001) mencionan que la intensidad del sonido emitido esta fuertemente relacionada con la humedad de los materiales, la cual como se ha mencionado anteriormente, aumenta en la presente investigación, por la transferencia de masa del vapor de agua desde el exterior durante las pruebas aceleradas.

La relación entre los picos sonoros y la crocancia sensorial de las galletas (Figura 7) muestra un coeficiente de determinación elevado R^2 de 0,933, siendo posible, con la ecuación (1), obtener una crocancia sensorial límite (S) de 7,3, con un punto de corte de pico sonoro de 94,61 dB y con las ecuaciones de ajuste de la Figura 6 a las temperatura de 30 °C, 40 °C y 50 °C, se obtuvo los valores respectivos de tiempo de vida útil de 23,10; 17,89 y 7,97 horas; los que representados en la Figura 8 permitieron proyectar la vida útil a diferentes temperaturas a alta humedad relativa. Obteniendo a 20 °C una vida útil promedio de 31,5 horas, con un valor límite de confianza superior e inferior de 39,1 y 24 horas respectivamente, utilizando un 20% del error típico de regresión (s) en la ecuación (2).

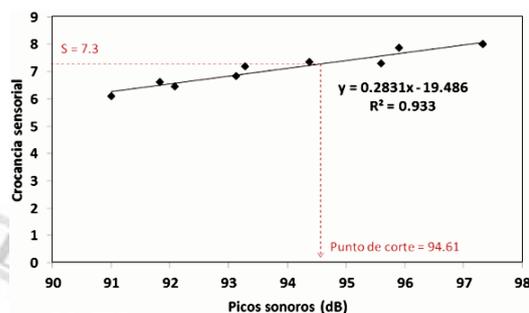


Figura 7. Relación entre el valor de picos sonoros y la crocancia sensorial de galletas dulces de avena y granola determinadas en pruebas aceleradas.

De acuerdo a los resultados observados en la Figura 7, existe una relación entre los picos sonoros y la crocancia determinada por pruebas sensoriales, lo cual facilita la evaluación de la crocancia sensorial con el método instrumental de determinación de sonido y, evaluación de los picos sonoros.

Este aspecto es concordante con lo reportado por Piazza *et al.* (2007) quienes sostienen que el carácter crujiente, se relaciona con la estructura de los alimentos y sus propiedades mecánicas, debido a la capacidad de generar un sonido apropiado y que una técnica instrumental objetiva acústica-mecánica, para el análisis de textura de alimentos puede suministrar información útil sobre la estructura de productos crujientes.

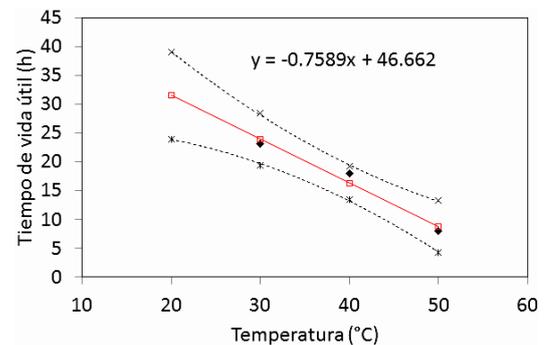


Figura 8. Tendencias promedio (■) e intervalos de confianza del tiempo de la vida útil de galletas dulces crocantes de avena y granola en condiciones de alta humedad relativa y error típico de regresión corregido.

Saeleaw y Schleining (2010) han mencionado que, para la mejor comprensión de la sensación crujiente, han sido usadas y evaluadas por muchos investigadores técnicas sensoriales, de textura y acústicas. En este sentido adicionalmente Piazza *et al.* (2007) sostienen que cuando una fuerza es aplicada a un elemento crujiente, su estructura se tensiona hasta llegar a un punto crítico, la acción de la fuerza externa provoca la ruptura de las frágiles paredes de la estructura celular que comienzan a vibrar. La vibración es transmitida a través del aire como ondas acústicas, lo que genera el sonido. La crujencia sensorial es por lo tanto la percepción de los eventos de deformación y tiempo, pero, sobre todo, de sus efectos acústicos simultáneos. Constituyendo la aplicación instrumental un aspecto de aplicación práctica, en comparación con los métodos sensoriales. Al respecto Chen y Opara (2013) sostienen que el alto costo y consumo de tiempo de organización de panelistas y preparación de alimentos, limitan su uso y a menudo la evaluación de textura sensorial es aplicada en combinación con la medida instrumental.

4. Conclusiones

Se observó en el tiempo una disminución del valor de los picos sonoros (dB) en galletas de avena y granola marca Quaker envasadas en laminado de aluminio con polietileno de baja densidad, en pruebas aceleradas a temperaturas de 30, 40 y 50°C en condiciones de humedad relativa elevada de 100%, con una cinética de orden cero y elevados coeficientes de determinación entre 0,96 a 0,99. Igualmente una disminución de la crocancia sensorial al aumentar la temperatura. Se tuvo un elevado coeficiente de determinación (R^2) de 0,93 entre los picos sonoros y la crocancia sensorial en galletas de avena y granola, obteniendo una crocancia sensorial límite 7,3 (dentro de una escala Hedónica de 10 divisiones de “poco crocante” a “muy crocante”) con un punto de corte de pico sonoro de 94,61 dB. Se determinó una vida útil de las galletas de avena y granola, en un ambiente de elevada humedad relativa a 20°C de 31,5 horas, con un valor límite de confianza superior e inferior de 39,1 y 24 horas respectivamente, utilizando un 20% del error típico de regresión.

Referencias

- Aguilera, C.E. 2007. Determinación de la permeabilidad de aromas a través de films plásticos utilizados para envases de alimentos. Tesis Ingeniero de Alimentos. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química Universidad de Chile.
- Ajila, C.M.; Leelavathi, K.; Rao, H. 2008. Improvement of dietary fibre content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science* 48: 319-326.
- Baltsavias, A. 1996. Mechanical Properties of Short Doughs and their Corresponding Biscuits. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Belcourt, L.A.; Labuza, T.P. 2007. Effect of raffinose on sucrose recrystallization and textural changes in soft cookies. *Journal of Food Science* 72: 65-71.
- Chamier, L.; Courcoux, P.; Valle, G.D.; Lourdin, D. 2005. Physical and sensory evaluation of cornflakes crispness. *Journal of Texture Studies* 36 (1): 93-118.
- Chen, L.; Opara, U.L. 2013. Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. *Food Research International* 51: 823-835.
- Chen, J.; Karlsson, C.; Povey, M. 2005. Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. *Journal of Texture Studies* 36 (2): 139-156.
- Dacremont, C., 1995. Spectral composition of eating sounds generated by crispy, crunchy and crackly foods. *Journal of Texture Studies* 26 (1): 27-43.
- Dijksterhuis, G.; Luyten, H.; Wijk, R.; Mojet, J. 2007. A new sensory vocabulary for crisp and crunchy dry model foods. *Food Quality and Preference* 18: 37-50.
- Drake, B.K. 1963. Food crushing sounds. An introductory study. *Journal of Food Science* 28(2): 233-241.
- Duizer, L. 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science and Technology* 12(1): 17-24.
- Gibson, L.; Ashby, M.L. 1988. Cellular solids, Structure and Properties, Pergamon Press, Oxford.
- Guarda, A.; Galotto, M.J. En: Alvarado J. y Aguilera J.M. (Ed). 2001. Propiedades físicas de materiales plásticos. España, Acirbia, S.A. Pp 285-308.
- Hernández, R.J.; Gavara, R. 1999. Plastic packaging-methods for studying mass transfer interactions. Pira International, Leatherhead, UK, Pp 53.
- Hi, W.E.L.; Deibel, A.E.; Glembin, C.T.; Munday, E.G. 1988. Analysis of food crushing sounds during mastication: frequency-time studies. *Journal of Texture Studies* 19 (1): 27-38.
- Hough, G.H.; Fiszman, S.M. 2005. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Edit. Programa CYTED.
- Labuza, T.P.; Hyman, C.R. 1998. Moisture migration and control in multidomain foods. *Trends in Food Science and Technology* 9: 47-55.
- Labuza, T.; Roe, K.; Payne, C.; Panda, F.; Labuza, T.J.; Labuza, P.S. 2004. Storage stability of dry food systems: influence of state changes during drying and storage. Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004), Sao Paulo, Brazil, pp. 48-68.
- Luyten, H.; Plijter, J.J.; Vliet, T.V. 2004. Crisp/crunchy crusts of cellular foods: a literature review with discussion. *Journal of Texture Studies* 35 (5): 445-492.
- Marzec, A.; Lewicki, P.P.; Ranachowski, Z. 2007. Influence of water activity on acoustic emission of flat extruded bread. *Journal of Food Engineering* 79 (2): 410-422.
- Maruyama, T.T.; Arce, A.I.C.; Ribeiro, L.P.; Costa, E.J. X. 2008. Time-frequency analysis of acoustic noise produced by breaking of crisp biscuits. *Journal of Food Engineering* 86: 100-104.
- MINSA. Ministerio de Salud. 2011. Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería. RM N° 1020-2010/MINSA.
- Montgomery, D.C.; Runger, G.C. 2012. Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. Edit. Limusa Wiley. México D.F.
- Piazza, L.; Gigli, J.; Ballabio, D. 2007. On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 86 (1): 52-59.
- Piga, A.; Catzeddu, P.; Farris, S.; Roggio, T.; Sanguinetti, A.; Scano, E. 2005. Texture evolution of “amaretti” cookies during storage. *European Food Research and Technology* 221: 387e391.
- Roudaut, G.; Dacremont, C.; Meste, M.L. 1998. Influence of water on the crispness of cereal-based foods: acoustic, mechanical, and sensory studies. *Journal of Texture Studies*, 29 (2), 199-213.
- Roudaut, G.; Dacremont, C.; Vallès Pàmies, B.; Colas, B.; Le Meste, M. 2002. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends Food Sci. Technol.* 13: 217-227.
- Saeleaw, M.; Schleining, G. 2010. Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers. *Journal of Food Engineering* 100: 12-24.
- Saeleaw, M.; Schleining, G. 2011. A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. *Journal of Food Engineering* 105: 387-399.
- Salvador, A.; Varela, P.; Sanz, T.; Fiszman, S.M. 2009. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT – Food Science and Technology* 42 (3): 763-767.
- Secchi, N.; Stara, G.; Anedda, R.; Campus, M.; Piga, A.; Roggio, T.; Catzeddu, P. 2011. Effectiveness of sweet ovine whey powder in increasing the shelf life of Amaretti cookies. *LWT - Food Science and Technology* 44: 1073-1078.

- Seymour, S.K.; Hamann, D.D. 1988. *J. Texture Stud.* 19: 79-95.
- Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1989. *Statistical methods.* Ames (Iowa): Iowa State University Press.
- Speaks, C.E. 1999. *Introduction to Sound*, 2-45, Singular Publishing, San Diego. Pp. 155.
- Szczesniak, A.S. 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference* 13: 215-225.
- Taniwaki, M.; Hanada, T.; Sakurai, N. 2006. Device for acoustic measurement of food texture using a piezoelectric sensor. *Food Research International* 39: 1099-1105.
- Tesch, R.; Normand, M.D.; Peleg, M., 1996. Comparison of the acoustic and mechanical signatures of two cellular crunchy cereal foods at various water activity levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70(3): 347-354.
- Treybal, R.E. 1980. *Chemical Engineering Series.* Mass Transfer Operations. McGrawHill. Inc.
- Van Vliet, T.; Primo-Martín, C. 2011. Interplay between product characteristics, oral physiology and texture perception of cellular brittle foods. *Journal of Texture Studies* 42: 82-94.
- Varela, P.; Chen, J.; Fiszman, S.; Povey, M.J.W. 2006. Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics* 20 (6-7): 311-320.
- Vásquez-Villalobos, V.; Vásquez, J.; Méndez, E. 2015. New method for determining sensory shelf life using fuzzy logic: canned marinated artichoke hearts (*Cynara scolymus* L.) case. *Scientia Agropecuaria* 6(2): 99-109.
- Vickers, Z.; Bourne, M.C. 1976. Crispness in Foods - a review. *Journal of Food Science* 41(5): 1153-1157.
- Vickers, Z.M. 1987. Crispness and crunchiness-textural attributes with auditory components. In H. R. Moskowitz (Ed.), *Food texture.* New York, USA: Marcel Dekker inc.
- Vincent, J.F.V. 1998. The quantification of crispness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78: 162-168.
- Wang, S.W. 1997. Starches and starch derivatives in expanded snacks. *Cereal Foods World* 42: 743-750.
- Wilkinson, C.; Dijksterhuis, G.B.; Minekus, M. 2001. From food structure to texture. *Trends in Food Science and Technology* 11: 442-450.

Agroind Sci
Agroind Sci
Agroind Sci

