

Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de productos de panificación horneados con microondas

Gutiérrez Cárdenas M. G., Gómez Salazar J.A., Saldaña Robles A., Sosa Morales M.E.*

Posgrado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.
Carretera Irapuato-Silao km 9, Ex-Hacienda El Copal, 36500 Irapuato, Gto., México.

mg.gutierrezcardenas@ugto.mx, msosa@ugto.mx

RESUMEN:

El horneado por convección ha sido uno de los métodos tradicionales en este proceso, sin embargo, requiere un alto gasto de energía, por lo cual, algunos estudios han tratado de incluir otra tecnología. El uso de microondas se considera de alta eficiencia energética y de menor tiempo de proceso. En este trabajo se evaluó el efecto del horneado con microondas a diferentes potencias y tiempos en dos productos de panificación (galletas y conchas) así también como la aceptación sensorial de los mismos. Se logró obtener dos productos altamente aceptados por el consumidor; para el caso de galletas (producto con leudante químico), el producto fue horneado a una potencia de 362 W durante 2 min y para conchas (producto fermentado con levadura) se usó una potencia de 446 W durante 1 min. En conclusión, se pueden obtener productos altamente aceptados por el consumidor utilizando esta tecnología en el proceso de horneado.

Palabras clave: horneado, microondas, productos de panificación.

ABSTRACT:

Convection baking has been one of the traditional methods in this process, however, it is a process that requires high energy. Some studies have tried to include other technology, such as microwaves. Microwaves are considered of high energy efficiency and short process times. In this work, the effect of microwave baking at different powers and times in two bakery products (cookies and sponge cake bread) was evaluated as well as their sensory acceptance. It was possible to obtain two products highly accepted by the consumers for the case of cookies, the product was baked at MW with a power of 362 W for 2 min, and, on the other hand the sponge-cake bread was baked in the microwave at a power of 446 W for 1 min. In conclusion, highly consumer-accepted products can be obtained using this technology in the baking process.

Key words: baked, microwave, baked products, sensory.

Área: Cereales, leguminosas y oleaginosas

INTRODUCCIÓN

El horneado es una de las etapas más complejas dentro del proceso de panificación, ya que es aquí donde sucede la mayoría de las transformaciones fisicoquímicas en los productos (pérdida de agua, gelatinización del almidón, producción de CO₂, desnaturalización de las proteínas, formación de costra, entre otras) (Chhanwal *et al.*, 2018; Purlis, 2019; Ploteau *et al.*, 2015) además de implicar la transferencia de calor y masas de manera simultánea, es decir, el calor se transfiere a los alimentos desde las superficies calientes, así también como por medio del aire dentro del horno, mientras que la humedad se transfiere gradualmente desde los alimentos hacia el aire que los rodea (Aneke, 2017; Garg *et al.*, 2019).

Los métodos de calentamiento dentro del horneado tienen diferentes mecanismos de calor que influyen en las condiciones del proceso y propiedades del producto final (Garg *et al.*, 2019), basados principalmente en principios de radiación de calor, convección y conducción, en donde en el horneado convencional el calor es transferido por convección del medio de calentamiento a la superficie del producto y por radiación de las paredes del horno hacia el producto y la conducción hacia el centro (Yolacaner *et al.*, 2017), sin embargo este proceso requiere un consumo de energía significativo al aplicar una temperatura relativamente alta (Khatir *et al.*, 2015) y con el fin de analizar y optimizar este proceso se han buscado el uso de nuevas tecnologías, tal como el caso de los microondas (Aneke, 2017).

A diferencia de proceso de cocción convencional en donde se involucran los tres mecanismos de transferencia de calor mencionados anteriormente, las microondas actúan de manera diferente ya que al estar el producto rodeado de aire y éste no se calienta con la radiación de las microondas (Yolacaner *et al.*, 2017), el mecanismo de calentamiento tiene lugar dado a que las microondas producen un movimiento giratorio en los dipolos de moléculas presentes en los alimentos, lo que genera calor debido a la fricción aunado a la interacción de partículas cargadas (como la sal) presentes en el material alimenticio dando como resultado un calentamiento en el interior del cuerpo lo que se conoce como calentamiento volumétrico (Diaz y Moreno, 2017). Debido a su principio de calentamiento único, eficiente y amigable con el medio ambiente, el calentamiento por microondas ha sido ampliamente utilizado tanto a nivel doméstico como industrial (Zhu *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que el mecanismo de transferencia de calor es uno de los factores que afecta la calidad del producto ya que esta varía dentro del proceso de horneado debido al gradiente de temperatura, además del tiempo y flujo de aire, las cuales le confieren al producto características únicas al pan como la corteza, color, textura de la miga y sabor, las cuales son indicadores de calidad de gran importancia (Kahatir *et al.*, 2015; Kokolj *et al.*, 2017). En el horneado con microondas los tiempos de calentamiento son relativamente rápidos, debido a la rápida generación de calor, y esto limita a completar todas las reacciones de horneado ya antes mencionadas, afectando de esta manera la calidad del producto final (Yolacaner *et al.*, 2017).

En la actualidad existen algunos estudios en donde evalúan diferentes productos de panificación horneados con microondas tal y como Garg *et al.* (2019) en donde evaluaron propiedades de un producto de panificación de estructura laminada (hojaldre) y obtuvieron un proceso 5 veces más rápido además de no tener diferencia significativa de volumen y dureza de la masa entre productos horneados convencionalmente y por microondas. Por otro lado Papisidero *et al.* (2016) no obtuvieron resultados deseados en cuestión de la corteza de pan de arroz al tener una apariencia pálida, sin embargo el aumento de volumen y contenido de humedad podrían aumentarse utilizando esta tecnología en comparación con el método convencional de horneado. Además de estudiar las características fisicoquímicas de los productos horneados con esta tecnología autores como Alifaki y Sakiyan (2017) también encontraron las condiciones de potencia y tiempo de tratamiento, en donde la potencia mostró un efecto significativo en el horneado de pastel de garbanzo, mientras que el tiempo afectó la pérdida de peso, porosidad y volumen específico.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del horneado con microondas en los parámetros fisicoquímicos de dos productos de panificación (galletas y bollo tipo concha) en comparación con el horneado convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se elaboraron dos productos de panificación: galletas y bollo tipo concha. Para la elaboración de galletas, se realizaron según la metodología empleada por Da Mota *et al.* (2011). Se incorporó el azúcar glass y la mantequilla y se mezcla, posteriormente se agregó las yemas y claras de huevo y se homogeneizó la mezcla. Las galletas crudas se cortaron con un diámetro de 7 cm y un espesor de 0.5 cm.

Para la elaboración del bollo se realizó de acuerdo con la metodología empleada por Da-Mota *et al.* (2011), en donde los ingredientes secos se agregaron primero y después el agua y la leche. El amasado fue durante 5 min hasta incorporar toda el agua y posteriormente se dejó amasando 10 min más. Para la fermentación, la masa se introdujo en un recipiente y se mantiene a una temperatura de entre $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 1 h y se desgasificó. Posteriormente se hicieron piezas de 100 g aproximadamente y se colocó la cubierta, posteriormente se colocaron en moldes de acero inoxidable, previamente engrasados. Se volvieron a fermentar durante 60 min más.

Tabla 1. Formulación para elaboración de galletas.

Formulación galleta	
Ingrediente	Cantidad (%)
Harina de trigo	100
Mantequilla	53
Azúcar	46
Levadura	1.6
Extracto de vainilla	1.4
Yema de huevo	0.4
Clara de huevo	0.2

Tabla 2. Elaboración de bollo tipo “concha”.

Formulación para la elaboración del bollo	
Ingrediente	Cantidad (%)
Harina de trigo	100
Azúcar	20
Levadura	1
Sal	1
Polvo para hornear	0.5
Mantequilla	21.6
Agua	10/15
Leche	10
Huevo	0.3/0.4
Formulación cubierta de concha	
Harina	60
Azúcar	30
Mantequilla	46.6

Horneado convencional

El horneado convencional se realizó en un horno eléctrico marca T-Fal con capacidad de 18 L (Mod. OF32A5MX, 1300 W). Para el horneado de galletas, se colocaron dos piezas de galletas en la bandeja del horno y se realizó una cocción a dos temperaturas (160 y 180°C) durante 12 min (Krystyjan *et al.*, 2015). Para el caso de las conchas se colocaron 2 piezas en la bandeja del horno y se llevó a cabo la cocción a 180°C durante 15 min (Da-Mota *et al.*, 2011). El horneado se realizó por triplicado para cada producto.

Horneado con microondas.

El horneado con microondas se realizó en un horno doméstico marca IO MABE (Mod. IO160MDI, 1550 W). Para el horneado de galletas, se colocó una galleta en el centro de la cavidad de microondas con una elevación de 7 cm del plato giratorio y se utilizó una potencia del 50% (362 W) durante 3 tiempos (1 min-30 s, 1min-45 s y 2 min). Por otro lado, el horneado de las conchas se colocó una pieza en el centro del plato giratorio con una elevación de

7 cm y se utilizaron 3 potencias de salida del 60, 70 y 80% (446, 507 y 595 W y 2 tiempos para cada una de las potencias (1 min y 1min-30 s) (Waleed *et al.*, 2019)

Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó a partir de 5 g de muestra triturada. Posteriormente, se secaron las muestras en un horno (Shel LAB) a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 h hasta llegar a peso constante. Se realizará el cálculo para la determinación de humedad (AOAC, 2000). Cada determinación se realizó por triplicado.

Determinación de color

Se determinó por medio de un colorímetro (ColorFlex EZ), por triplicado usando los parámetros a^* , b^* , L^* y ΔE^* (Ballat *et al.*, 2014) calculando la diferencia de color por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. (1)} \quad \Delta E^* = \sqrt{(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2}$$

Donde:

L^*_0 , a^*_0 , b^*_0 son los valores de las muestras frescas y L^* , a^* , b^* son los valores de las muestras ya procesadas.

Determinación de volumen específico

La determinación del volumen específico se realizó mediante la modificación del método 10-50 de la AACC (1998) por desplazamiento de semillas, en este caso se utilizaron esferas de unicel de 0.3 mm de diámetro aproximadamente. Las esferas de unicel se colocaron en una probeta de 1 L (36.5 cm de altura y 6.5 cm de diámetro) y se introduce el producto horneado a fin de estar sumergido y se toma la medida de desplazamiento.

Determinación de textura

Los análisis de textura se llevaron a cabo utilizando un texturómetro TA-TX2 (Texture Technologies, Scardale, NY). Para las galletas se determinó la fracturabilidad empleando una sonda de cuchilla sin filo con una velocidad de descenso de 2 mm/s y una distancia de penetración de 6 mm (Soler-Martinez *et al.*, 2017). Para el caso de las conchas, se evaluó la dureza de la miga por medio de la adaptación del método 74-10 de la AACC (2000 en el producto sin corteza de 2 cm de espesor, empleando un émbolo de cara plana de 5 cm de diámetro a una velocidad de descenso 1.7 mm/s y una distancia de recorrido de 10 mm.

Análisis sensorial

Se llevó a cabo a 6 panelistas semi-entrenados por medio de una prueba hedónica de 7 puntos en donde 1 me gusta extremadamente y 7 me disgusta extremadamente, evaluando la aceptación en general (Nuñez-Zuñiga, 2019).

Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de ANOVA y Tukey al 95% de confianza usando el software Statgraphics Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Apariencia de los productos.

A modo de figura, se pueden observar las galletas horneadas por diferentes métodos de calefacción: convección (CV) y microondas (MW). En la Fig. (1) se puede observar que los métodos de cocción no son perceptibles a simple vista entre los tratamientos de microondas (3, 4 y 5), mientras que para el caso del horneado CV se notan diferencias entre sí (1 y 2).

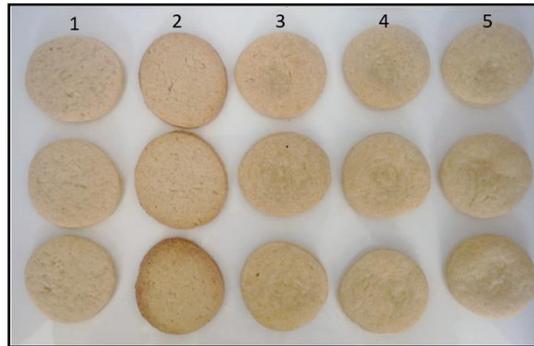


Figura 1. Efecto en la apariencia de galletas de manteca horneadas mediante dos procesos diferentes: microondas (MW P 362 W) y convección (CV). La numeración corresponde a las siguientes condiciones: 1-CV 160°C/12 min, 2-CV 180°C/12 min, 3-MW P 362 W/1 min 30 s, 4-MW P 362 W 1min 45 s y 5-MW 362 W 2 min.

Para el caso de las conchas se muestra a modo de figura (Fig. 2) la apariencia del horneado con MW en comparación con el horneado CV, en donde se puede observar que la parte de la cubierta presenta forma irregular en comparación con el CV como es el caso 3 (MW P507 W 1 min), en la que la formación de CO₂ ocasionó el estallamiento de la superficie provocando esta irregularidad.



Figura 2. Efecto en la apariencia de conchas horneadas mediante dos procesos diferentes: microondas (MW P362 W) y convección (CV). La numeración corresponde a las siguientes condiciones: Control-CV 180°C/15 min, 1-MW P446 W/ 1 min, 2- MW P446 W 1 min 30 s, 3-MW P507 W 1 min, 4-MW P507 W 1 min 30 s, 5-MW P595 W 1 min y 6-MW P595W 1 min 30 s.

Análisis fisicoquímicos (humedad, color, volumen específico y textura).

Humedad

El contenido de humedad (base húmeda) de las galletas se muestra en el Tabla 1, en donde se puede observar que el tiempo y método de cocción afecta en este parámetro, es decir éste decrece conforme aumenta los tiempos de procesamiento para los dos casos (CV y MW). El análisis estadístico muestra que el tratamiento MW P362 W1 min 30 s y CV 180°C 12 min presentaron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$). Por otro lado, el contenido de humedad fue menor en la cocción CV donde los valores bajaron hasta 4.5% mientras que en el horneado con microondas se mantienen alrededor del 6%. Wallet *et al.* (2019) obtuvieron resultados similares al hornear galletas

de manera convencional y con microondas en donde sus porcentajes de humedad variaban entre 8.56 a 12.07%. Según la NMX-F-006-1993 las galletas comerciales deben tener una humedad máxima de 8%, por lo que las humedades de las galletas cumplen con esta norma.

Para el caso de las conchas en la Fig 2 se puede observar que los tratamientos afectan la humedad ($p < 0.05$). El tratamiento que presenta mayor humedad es el control CV 180°C 15 min con 25.14% mientras que el tratamiento que presenta mayor pérdida de humedad es MW P595W 1min 30s, cabe destacar que el tiempo de proceso en MW disminuye este parámetro. Garg *et al.* (2019) obtuvieron un porcentaje de humedad de aproximadamente 30.99% (base húmeda) en horneado de pan laminado con microondas.

Color

El color es uno de los parámetros más importantes que confieren calidad en el producto, la evaluación de este parámetro se puede observar en la Tabla 1, en donde para el parámetro L* (luminosidad) se observa que las muestras MW P362W 1min 30 s y CV 160°C 12 min, dentro del análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas en este parámetro ($p < 0.05$) entre tratamientos, esto quiere decir que el método de horneado no afecta la luminosidad de las muestras de galleta, de igual manera para el parámetro a* (rojo-verde); por otro lado, para el parámetro b* (amarillo-azul) se puede observar que los tiempos de tratamiento mas largos presentan diferencia significativa ($p < 0.05$). Finalmente, la diferencia de color (ΔE) se observa que los valores de los tratamientos MW P 362W 1 min 30 s y los tratamientos de CV presentan diferencia significativa ($p < 0.05$). Garg *et al.* (2019) encontraron que la cocción por microondas en productos de panificación presentaba un dorado insuficiente en comparación de horneado por convección.

Para el parámetro de color en las conchas se evaluaron los cambios de color en la miga, en donde para el parámetro L* (luminosidad) no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$), es decir entre la luminosidad no se ve afectada entre los tratamientos (CV y MW), ni tampoco entre los tratamientos de microondas. Por otro lado, el parámetro a* (rojo-verde) si se vio afectado entre tratamientos, presentando diferencias significativas entre si ($p < 0.05$); la comparación de medias con un nivel de confianza del 95% (Tukey) demostró que existe diferencia significativa entre todos los tratamientos. Srikanlaya *et al.* (2017) atribuyen el aumento de este parámetro a las reacciones de Maillard al aumentar la temperatura en los tiempos más largos de proceso, obteniendo resultados similares en el aumento de este parámetro en el horneado de pan de arroz por microondas. El parámetro b* (amarillo-azul) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), en la Tabla 1 se puede observar que los valores pierden color amarillo conforme aumentan los tiempos de tratamiento. Para la diferencia de color ΔE no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0.05$). Esto quiere decir que los tratamientos no influyen en la diferencia de color de la miga de la concha.

Volumen específico y textura.

El volumen específico de las galletas presenta diferencias significativas entre los tratamientos MW P 362W 1 min 30 s y CV 160°C 12 min ($p < 0.05$). Sin embargo, entre tratamientos de MW no presentan diferencia significativa y de igual manera entre tratamientos de CV. Por otro lado, la textura aumenta con el tiempo de tratamientos de microondas, mientras que para el tratamiento convencional disminuye un 3.7% la fuerza máxima para fracturar la galleta, sin embargo, entre tratamientos no presentan diferencia significativa entre si ($p > 0.05$). Crisologo-Bueno (2019) obtuvieron resultados de entre 0.53 hasta 3.98 N en la fracturabilidad de galletas nutritivas en horneado convencional.

En el de las conchas en el volumen específico (cm^3/g) no presentaron diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$), sin embargo, se puede observar que a mayores potencias se obtienen valores mayores de volumen específico con valores que van desde 4.76 a 5.26 cm^3/g . Chen *et al.*, 2014, encontraron valores de volumen específico de 2.5 a 3.75 cm^3/g para un pan elaborado en horneado convencional. Los valores de textura aumentaron conforme aumentaban los tiempos de tratamiento y potencias, encontrándose diferencia significativa entre los tratamientos de horneado ($p < 0.05$), en donde los tratamientos de MW P 595W tuvieron diferencia significativa con el control, dado a que fueron los valores que presentaron mayor dureza con 1.21 y 2.70 N. Qu *et al.* (2020) concordaron con que los tiempos de tratamiento en horneado con microondas de pan aumentan la dureza del mismo obteniendo panes mas suaves a los 20 s a comparación de su tratamiento más largo de 30 s.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de dos productos de panificación (galletas y conchas).

Producto	Tratamiento	Propiedades fisicoquímicas					Volumen específico (cm ³ /g)	Textura (N)
		%Humedad (base húmeda)	Color					
			L*	a*	b*	ΔE		
Galletas	1 MW P362W 1 min 30s	7.21 ± 0.12 ^b	65.37 ± 0.96 ^c	5.13 ± 0.43 ^b	29.88 ± 0.84 ^{ab}	72.06 ± 1.16 ^b	2.37 ± 0.26 ^b	0.42 ± 0.13 ^a
	2 MW P362W 1 min 45s	6.12 ± 0.14 ^{bc}	66.27 ± 0.26 ^{bc}	4.69 ± 0.14 ^b	29.41 ± 0.27 ^{ab}	72.66 ± 0.28 ^{ab}	1.83 ± 0.12 ^{ab}	0.71 ± 0.21 ^a
	3 MW P362W 2 min	6.21 ± 0.33 ^{bc}	67.12 ± 0.78 ^{ab}	4.98 ± 0.06 ^b	30.25 ± 0.21 ^a	73.79 ± 0.80 ^{ab}	1.91 ± 0.17 ^{ab}	0.68 ± 0.26 ^a
	4 CV 160°C 12 min	6.52 ± 0.23 ^{bc}	68.37 ± 0.83 ^a	4.96 ± 0.10 ^b	28.84 ± 0.19 ^b	74.35 ± 0.68 ^a	1.43 ± 0.14 ^a	0.54 ± 0.14 ^a
	5 CV 180°C 12 min	4.50 ± 1.56 ^c	67.42 ± 0.18 ^{ab}	5.45 ± 0.21 ^b	30.45 ± 0.55 ^a	74.15 ± 0.38 ^a	1.74 ± 0.47 ^{ab}	0.52 ± 0.13 ^a
Conchas	1 CV 180°C 15 min	25.14 ± 0.19 ^a	65 ± 0.83 ^a	0.65 ± 0.03 ^g	19.72 ± 0.11 ^e	8.66 ± 0.09 ^a	4.32 ± 0.33 ^a	0.34 ± 0.06 ^c
	2 MW P446W 1 min	24.27 ± 0.18 ^a	70.14 ± 0.11 ^a	3.11 ± 0.04 ^a	21.81 ± 0.04 ^c	7.16 ± 0.10 ^a	4.76 ± 1.12 ^a	0.46 ± 0.09 ^c
	3 MW P446W 1 min y 30 s	22.45 ± 0.15 ^b	75.61 ± 0.28 ^a	1.13 ± 0.02 ^f	19.94 ± 0.05 ^e	12.71 ± 0.25 ^a	4.76 ± 0.43 ^a	0.62 ± 0.22 ^c
	4 MW P507W 1 min	22.66 ± 0.33 ^b	67.13 ± 0.28 ^a	2.35 ± 0.01 ^b	22.97 ± 0.07 ^a	5.08 ± 0.10 ^a	4.41 ± 0.59 ^a	0.80 ± 0.16 ^{bc}
	5 MW P507W 1 min y 30s	19.80 ± 0.35 ^c	72.85 ± 0.29 ^a	1.70 ± 0.01 ^e	21.84 ± 0.14 ^c	9.33 ± 0.30 ^a	5.02 ± 1.38 ^a	0.86 ± 0.10 ^{bc}
	6 MW P595W 1 min	22.77 ± 0.13 ^b	71.59 ± 0.72 ^a	1.18 ± 0.01 ^d	21.50 ± 0.08 ^d	8.64 ± 0.45 ^a	4.94 ± 0.11 ^a	1.21 ± 0.25 ^b
	7 MW P595W 1 min y 30s	17.63 ± 0.09 ^d	70.38 ± 0.48 ^a	1.92 ± 0.03 ^c	22.52 ± 0.18 ^b	7.12 ± 0.18 ^a	5.26 ± 0.29 ^a	2.70 ± 0.57 ^a

Análisis sensorial

El análisis sensorial elaborado a 6 jueces semi-entrenados se realizó a los dos productos en una escala hedónica descrita anteriormente. En la Fig. 3 se puede observar los resultados obtenidos para el producto de galleta, en donde se obtuvieron valores de aceptabilidad alta ya que la mayoría de los jueces dieron una calificación arriba de menor de 4 (1-me gusta extremadamente hasta 4- ni me gusta ni me disgusta), sin embargo fue el producto con el código 164 (CV 180°C 12 min) el que obtuvo mayor aceptabilidad, seguido del producto 150 (MW P362W 2 min) que fue el segundo en obtener mayor aceptación. Waleed *et al.* (2019) obtuvieron resultados similares al tener mayor aceptabilidad en galletas horneadas convencionalmente en comparación con el horneado en microondas al describir que mediante esta tecnología se obtenían productos mas duros en comparación con el horneado convencional.

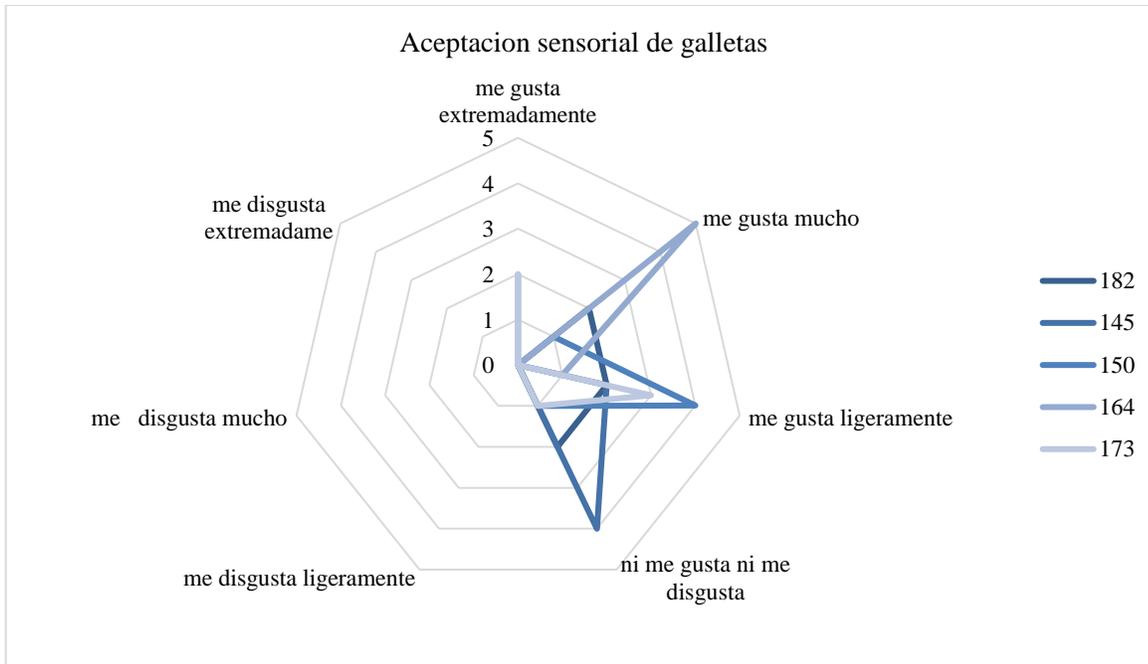


Figura 3. Aceptación sensorial de las galletas. Los códigos pertenecen a los siguientes productos: 182: MW P362W 1 min 30 s, 145: MW P362W 1 min 45 s, 150: MW P362W 2 min, 164: CV 180°C 12 min y 173: CV 160°C 12 min

Por otro lado, en la Fig. 4 se puede observar la aceptabilidad sensorial de las conchas, en donde el producto que obtiene mayor aceptabilidad son 241(MW P446W 1 min), 274 (MW P595W 1 min) y 250 (CV 180°C 15 min), en donde de igual forma el horneado convencional tiene alta aceptabilidad por el consumidor sin embargo las conchas horneadas por microondas también presentan calificaciones aceptables por el consumidor.

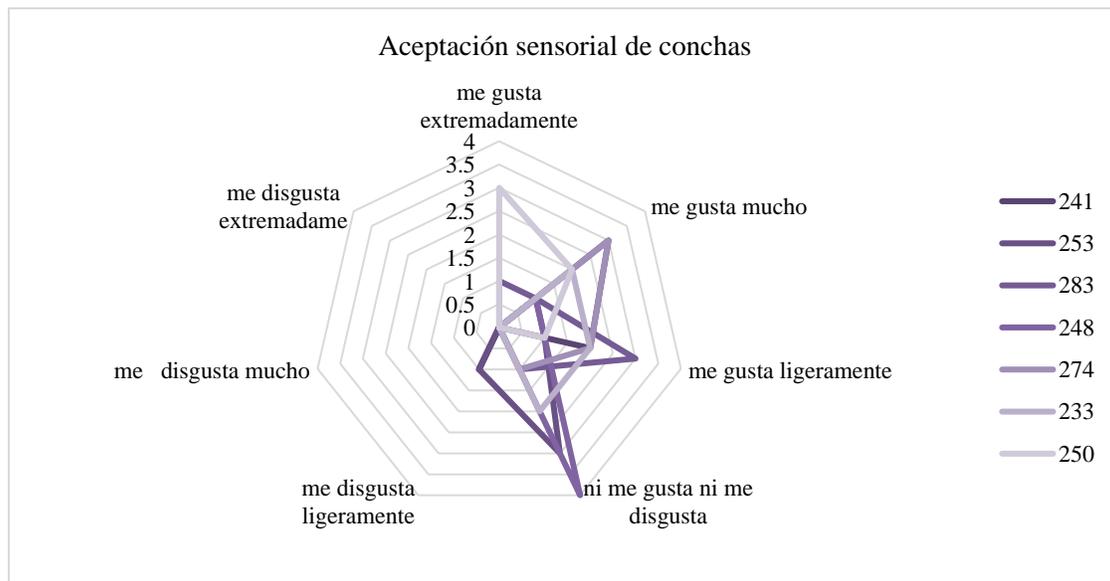


Figura 4. Aceptación sensorial de conchas. Los códigos pertenecen a los siguientes productos: 241: MW P446W 1 min, 253: MW P446W 1 min 30 s, 283: MW P507W 1 min, 248: MW P507W 1 min 30 s, 274: MW P595W 1 min, 233: MW P595 1 min 30 s y 250: CV 180°C 15 min.

CONCLUSIÓN

El horneado con microondas tiene ventajas y en ciertos parámetros fisicoquímicos de los productos de panificación. De acuerdo con éstos y con la aceptación sensorial de los productos, las galletas horneadas con microondas con una potencia de 362 W (50%) por 2 min y conchas horneadas a una potencia 446 W (60%) durante 1 min serían los mejores productos obtenidos por este método de cocción, a pesar de que aún existe una alta aceptabilidad en los productos horneados convencionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por la beca otorgada para la autora M. G. Gutiérrez-Cárdenas para sus estudios de Maestría y a la Dirección de Apoyo a la Investigación y Posgrado (DAIP) de la Universidad de Guanajuato por el apoyo para el proyecto CIIC-005/2020.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC (1998) AACC Method (10-05. 01): Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul.
- AOAC (1999). Determination of moisture. *Analytical Method. Association of Official Agricultural Chemists*, 124.
- Alifaki, Y. Ö., & Şakıyan, Ö. (2017). Dielectric properties, optimum formulation and microwave baking conditions of chickpea cakes. *Journal of food science and technology*, 54(4), 944-953.
- Aneke, N. N. (2017). *Design, Construction and Performance Evaluation of a Biomass Fired Oven* (Doctoral dissertation).
- Ballat, M.F., (2014). Desarrollo de un producto de panificación mediante harina compuesta de trigo, mandioca y soja. *Trabajo Fin de Máster en Tecnología y calidad en las Industrias Agroalimentarias*, 41.
- Chhanwal, N., Moses, J. A., and Anandharamakrishnan, C. (2018). 10 Improving Bread-Baking Process Under Different Oven Load Conditions by CFD Modeling. *Computational Fluid Dynamics in Food Processing 2e*, 225
- Chen, X. et al. (2014). A Study on Bifidobacterium Lactis Bb12 Viability in Bread During Baking. *Journal of Food Engineering*, 122, February, p.p. 33-37
- Crisologo-Bueno, C. F. (2019). Efecto de la sustitución parcial de Harina de Trigo (*triticum aestivum*) por Harina de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en la elaboración de galletas nutritivas, Trujillo, abril-julio, 2019.
- Da Mota-Zanella, V.M., Bautista-Justo, M., Camarena-Aguilar, E.A., (2011). Formación de las masas. *Manual del Taller de Panificación*. Pág. 54.
- Díaz, J. Á. M., & Moreno, Á. S. H. (2017). *Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas*. UTC.
- Garg, A., Malafrente, L., & Windhab, E. J. (2019). Baking kinetics of laminated dough using convective and microwave heating. *Food and bioproducts processing*, 115, 59-67
- Khatir, Z., Taherkhani, A. R., Paton, J., Thompson, H., Kapur, N., and Toropov, V. (2015). Energy thermal management in commercial bread-baking using a multi-objective optimisation framework. *Applied Thermal Engineering*, 80(1): 141-149.
- Krystyjan, M., Gumul, D., Ziobro, R., and Korus, A. (2015). The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physicochemical and antioxidant properties in biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1): 640-646.
- Kokolj, U., Škerget, L., and Ravnik, J. (2017). A numerical model of the shortbread baking process in a forced convection oven. *Applied Thermal Engineering*, 111(1): 1304-1311
- NMX-F-006-1983. ALIMENTOS. GALLETAS. FOOD. COOKIE. NORMAS MEXICANAS. DIRECCION GENERAL DE NORMAS.
- Ploteau, J. P., Glouannec, P., Nicolas, V., & Magueresse, A. (2015). Experimental investigation of French bread baking under conventional conditions or short infrared emitters. *Applied Thermal Engineering*, 75(1): 461-467.

- Purlis, E. (2019). Simple methods to predict the minimum baking time of bread. *Food Control*, 104(1): 217-223.
- Qu, C., Wang, H., Liu, S., Wang, F., & Liu, C. (2017). Effects of microwave heating of wheat on its functional properties and accelerated storage. *Journal of food science and technology*, 54(11), 3699-3706.
- Soler Martínez, N., Rodríguez Castillejos, G., Perales Torres, A., & González Pérez, A. L. (2017). Análisis proximal, de textura y aceptación de las galletas de trigo, sorgo y frijol. *Arch. latinoamerican. nutrition*, 227-234.
- Waleed, A. A., Mahdi, A. A., Al-Maqtari, Q. A., Fan, M., Wang, L., Li, Y., ... & Zhang, H. (2019). Evaluating the role of microwave-baking and fennel (*Foeniculum vulgare* L.)/nigella (*Nigella sativa* L.) on acrylamide growth and antioxidants potential in biscuits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(3), 2426-2437.
- Yolacaner, E. T., Sumnu, G., & Sahin, S. (2017). Microwave-assisted baking. *The Microwave Processing of Foods*, 117-141.
- Zhu, H., Ye, J., Gulati, T., Yang, Y., Liao, Y., Yang, Y., and Huang, K. (2017). Dynamic analysis of continuous-flow microwave reactor with a screw propeller. *Applied Thermal Engineering*, 123(1): 1456-1461.