

18. Impacto de la sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente en la calidad del pan



FRANCISCO VÁSQUEZ-LARA*

ALMA ROSA ISLAS-RUBIO**

NINA GISELLA HEREDIA-SANDOVAL***

MARÍA DEL CARMEN GRANADOS-NEVÁREZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.360.18>

Resumen

Las harinas tratadas térmicamente pueden tener aplicaciones importantes dentro del procesamiento de alimentos, entre ellas en la elaboración de pan. Se planteó como objetivo modificar las propiedades funcionales en harina de avena (HA), aplicando tratamientos térmicos (80, 100 y 130 °C) para incidir en su capacidad de panificación. Se realizaron sustituciones del 10 y 20% de harina de trigo (HT) con HA tratada térmicamente. La HT y las mezclas de HT-HA utilizadas fueron caracterizadas analizando la distribución del tamaño de la partícula, el color y la capacidad de retención de agua. A las masas se les determinó la capacidad de fermentación. En pan, se midió el envejecimiento mediante el perfil de textura a los 0, 2 y 7 días. Además, se realizó un análisis sensorial por panelistas no entrenados que determinaron su preferencia sobre el pan obtenido de las diferentes formulaciones. Los resultados mostraron una mayor capacidad fermentativa cuando se aplicó

* Doctor en Ciencias, Tecnología y Gestión Alimentaria. Profesor-investigador titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2197-6507> ; correspondencia: favo@ciad.mx

** Doctora en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Profesora-investigadora titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-4065>

*** Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8339-9082>

**** Química Bióloga. Técnico Titular en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-3608>

tratamiento térmico de 100 °C en HA y niveles de sustitución del 10% ($160.13 \text{ cm}^3 \pm 5.96$), así como del 20% ($163.93 \text{ cm}^3 \pm 4.11$) con respecto al control HT ($136.32 \text{ cm}^3 \pm 4.62$). En cuanto al envejecimiento del pan medido al segundo día, se obtuvieron valores de $9.77 \text{ N} \pm 2.63$ en las mezclas HT-HA 10% (130 °C) y de $9.49 \text{ N} \pm 1.56$ en HT-HA 20% (100 °C), menores al obtenido en HT ($17.39 \text{ N} \pm 1.28$). En el análisis sensorial, los panelistas mostraron una mayor aceptación por el pan elaborado con las mezclas HT-HA al 10% y 20% tratadas a 100 °C y la mezcla HT-HA al 10% tratada a 80 °C, además del pan elaborado solo con HT. Se estableció que es posible elaborar un pan con buenas propiedades texturales y sensoriales utilizando hasta un 20% de sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente.

Palabras clave: *tratamiento térmico, perfil de textura, análisis sensorial.*

Introducción

La dependencia actual de la harina de trigo en la región noroeste del país es considerable. Debido a la escasez de trigo para elaborar harinas panaderas, los molineros se ven obligados a importar este grano. Una alternativa para abordar el desabasto de trigo panadero es la utilización de harinas compuestas, las cuales consisten en una mezcla de harinas derivadas de tubérculos ricos en almidón y harinas ricas en proteínas con cereales diferentes al trigo (Seibel, 2006). Entre las harinas más estudiadas para la producción de panes compuestos se encuentran las de maíz, cebada, yuca y garbanzo (Ali et al., 2000). Además, las proteínas de leguminosas pueden utilizarse con éxito en productos horneados, obteniendo un producto enriquecido y con un mejor equilibrio de aminoácidos (Bojňanská et al., 2012).

La avena se considera un cultivo valioso debido a sus atributos nutricionales. En los últimos años, su consumo se ha popularizado como un alimento saludable gracias a su contenido de compuestos bioactivos, como los beta-glucanos, avenantramidas, tocoles, esteroides, ácido fítico y avenacósidos. Estos compuestos contribuyen a la reducción del riesgo de enferme-

dades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2, trastornos gastrointestinales y cáncer (Martínez y Peñas, 2017).

Por otra parte, se ha estudiado cómo la aplicación de tratamientos térmicos (TT) en harinas puede mejorar sus propiedades funcionales. Las harinas tratadas térmicamente permiten desarrollar formulaciones de harinas compuestas con proporciones más altas del ingrediente de sustitución, generando productos de panificación con una vida útil más larga, textura más fina, miga húmeda y un sabor más dulce. Aunque el mecanismo por el cual el TT mejora la harina no se conoce completamente, se sabe que produce desnaturalización de proteínas y gelatinización parcial de los gránulos de almidón. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue sustituir parcialmente la harina de trigo con harina de avena tratada térmicamente y evaluar las características texturales y sensoriales del pan compuesto.

Métodos

Materias primas

La harina de trigo (HT, marca Los Gallos) y la harina de avena (HA, marca Granvita), junto con el aceite de girasol, la levadura (marca Nevada), el azúcar y la sal, fueron adquiridos en una tienda local en Hermosillo, Sonora, México.

Tratamientos térmicos en harinas

La harina de avena (HA) se sometió a tratamientos térmicos a 80, 100 o 130 °C (Horno Modelo Fagor 2CF-3V) durante 30 minutos. Posteriormente, la HA se introdujo en una cámara de fermentación (Modelo KBF720 Binder, Tuttingen, Alemania) durante 17 horas a 25 °C y 15% de HR. Finalmente, se elaboraron mezclas de harina de trigo (HT) y HA tratada térmicamente en proporciones de 90:10 y 80:20 (p/p), respectivamente.

Caracterización de las harinas

Distribución del tamaño de la partícula (DTP). Se analizó la DTP de las harinas en términos de $d(0.1) \mu\text{m}$, $d(0.5) \mu\text{m}$ y $d(0.9) \mu\text{m}$, representando el diámetro máximo del 10%, 50% y 90% de las partículas, respectivamente, además de la media del volumen ponderado $D[4,3] \mu\text{m}$. Se utilizó un equipo de dispersión por láser (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, UK) con una unidad Scirocco (Dry Powder Unit).

Determinación del color y la capacidad de retención de agua (CRA). Para la medición del color se utilizó un colorímetro Konica Minolta (Modelo Chroma Meter CR-400, Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón). Los parámetros evaluados fueron L^* (luminosidad), a^* (variación de rojo a verde) y b^* (variación de amarillo a azul). La capacidad de retención de agua (CRA) se analizó según el método 56-11.02 (AACC, 2000).

Caracterización de las masas

Elaboración de las masas. Las masas se elaboraron de acuerdo con el método propuesto por Verdú et al. (2015). La capacidad fermentativa se determinó por el método propuesto por Soleimani Pour-Damanab et al. (2011).

Caracterización del pan

Elaboración de los panes. Se colocaron 250 g de masa en moldes de panificación, los cuales se introdujeron en la cámara de fermentación (90% HR y 40 °C) por 1 hora. Finalmente, se hornearon en un horno, modelo Fagor 2CF-3V, a 200 °C durante 15 minutos.

Análisis de perfil de textura (TPA). Este análisis se realizó en la miga del pan, cortada en cilindros de 4 cm de alto y 3.1 cm de diámetro. Se empleó un texturómetro TA-XT Plus (Texture Analyser Stable Micro Systems, Surrey, UK) con el dispositivo TA-40 (40 mm de diámetro). La velocidad del ensayo fue de 1.7 mm/s para comprimir la miga al 50% de su altura. El tiempo entre las compresiones fue de 5 segundos. Los parámetros evaluados fueron: fuerza, gomosidad, masticabilidad y resiliencia (Verdú et al., 2015).

Análisis sensorial de los panes. Se llevó a cabo con 24 panelistas no entrenados que expresaron su nivel de agrado hacia cada uno de los panes elaborados. Los atributos analizados fueron: color, aroma, sabor, textura y aceptación general. Se utilizó una escala hedónica de 8 puntos (0-8), donde 0 representa “muy desagradable” y 8 “muy agradable”.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con un ANOVA de una vía mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI con un nivel de confianza del 95%. Además, para el perfil de textura, se desarrolló un ANOVA multifactorial en el que se analizaron los factores porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones. El análisis sensorial se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con el programa InfoStat, versión actualizada 2020. Los valores con una $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos.

Resultados y discusión

Dtp y color

El tamaño de partícula de las harinas, expresado como el volumen medio ponderado ($D [4,3] \mu\text{m}$), fue mayor para la mezcla HT 20% (80 °C) en comparación con HT y el resto de las mezclas, con un valor de $147.03 \pm 13.33 \mu\text{m}$ (Tabla 1). El tamaño de la partícula determina la calidad de las harinas, ya que influye en sus propiedades funcionales y en las propiedades texturales de los alimentos. Gómez (1987) menciona que las partículas de menor tamaño son responsables de una mayor absorción de agua, viscosidad, plasticidad y suavidad de la masa. La variación de la DTP puede deberse a diferencias en la matriz almidón-proteína del endospermo de los cereales. Así, los valores más altos de $D [4,3] \mu\text{m}$ en las muestras analizadas corresponden a las muestras con un mayor nivel de sustitución de HA

(Tabla 18.1). En este sentido, se ha reportado que los trigos duros y suaves varían en la continuidad de la matriz proteica, la adhesión al almidón-proteína y los espacios intracelulares dentro del endospermo (Glenn y Saunders, 1990).

Tabla 18.1. Distribución del tamaño de partícula en HT y en las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C

Harinas	Tratamiento térmico de HA (°C)	Distribución de tamaño de partícula (µm)			
		d (0.1) *	d (0.5) *	d (0.9) *	D [4,3]**
HT		25.53 ± 1.15 ^a	92.32 ± 0.63 ^b	181.11 ± 0.80 ^d	99.42 ± 0.88 ^c
HT: HA 10%	80	21.01 ± 0.07 ^b	89.82 ± 0.30 ^d	198.14 ± 1.86 ^c	113.21 ± 2.28 ^b
HT: HA 20%	80	20.08 ± 0.21 ^c	94.23 ± 1.72 ^a	260.95 ± 21.39 ^a	147.03 ± 13.33 ^a
HT: HA 10%	100	21.07 ± 0.16 ^b	90.44 ± 0.50 ^{cd}	200.29 ± 2.47 ^c	113.92 ± 3.07 ^b
HT: HA 20%	100	19.88 ± 0.11 ^c	91.28 ± 0.59 ^c	226.57 ± 4.03 ^b	118.61 ± 2.61 ^b
HT: HA 10%	130	21.28 ± 0.09 ^b	89.98 ± 0.26 ^d	195.53 ± 1.47 ^c	105.53 ± 1.10 ^c
HT: HA 20%	130	19.93 ± 0.12 ^c	91.10 ± 0.63 ^c	224.54 ± 3.58 ^b	116.78 ± 4.48 ^b

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. *Representan el diámetro máximo del 10%, 50% y 90% de partículas, respectivamente. **Representa el tamaño medio del volumen ponderado del tamaño de partícula. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente (p>0.05). Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, los valores de L* y a* disminuyeron al incrementar el nivel de sustitución (Tabla 18.2). Mientras que para b*, los valores permanecieron estadísticamente iguales, excepto para HT 20% con TT a 130 °C, donde se observó un incremento significativo en a* y b*. El color es un parámetro que se ve afectado por la fuente botánica de la harina (Torbica, 2012). Estos resultados se explican porque la HA es más oscura que la HT, por lo que, al incrementar el nivel de sustitución, disminuyó el valor de L*. Además, pudieron influir el proceso de molienda, el tamaño de la partícula y los carotenoides presentes en la muestra (Protonotariou, 2014). Harinas con valores altos de L* indican una mayor refinación y, por lo tanto, una mayor pérdida de vitaminas y minerales. Los procedimientos de molienda y las tasas de extracción tienen una gran influencia en varios componentes del grano, como cenizas, proteínas, pigmentos y el contenido de almidón dañado que, a su vez, influyen en el color de las harinas. Además, el tamaño de las partículas en las harinas se ha relacionado con diferencias en las especies de trigo, la dureza del grano y el contenido de humedad; el proceso de molienda es otra posible fuente de variación.

Tabla 18.2. *Determinación del color de HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C*

Harinas	Tratamiento térmico de HA (°C)	Color		
		L*	a*	b*
HT		95.94 ± 0.17 ^a	4.58 ± 0.03 ^b	2.76 ± 0.09 ^{bc}
HT: HA 10%	80	94.86 ± 0.16 ^c	4.30 ± 0.01 ^f	2.79 ± 0.10 ^b
HT: HA 20%	80	93.95 ± 0.17 ^d	4.39 ± 0.03 ^d	2.79 ± 0.17 ^b
HT: HA 10%	100	95.10 ± 0.14 ^b	4.29 ± 0.01 ^f	2.63 ± 0.06 ^c
HT: HA 20%	100	93.85 ± 0.18 ^d	4.35 ± 0.02 ^e	2.88 ± 0.08 ^b
HT: HA 10%	130	94.77 ± 0.08 ^c	4.45 ± 0.01 ^c	2.80 ± 0.06 ^b
HT: HA 20%	130	92.99 ± 0.21 ^c	4.68 ± 0.03 ^a	4.41 ± 0.13 ^a

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. L* (luminosidad), a* (variación de rojo a verde), b* (variación de amarillo a azul). Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ($p > 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

Capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad fermentativa

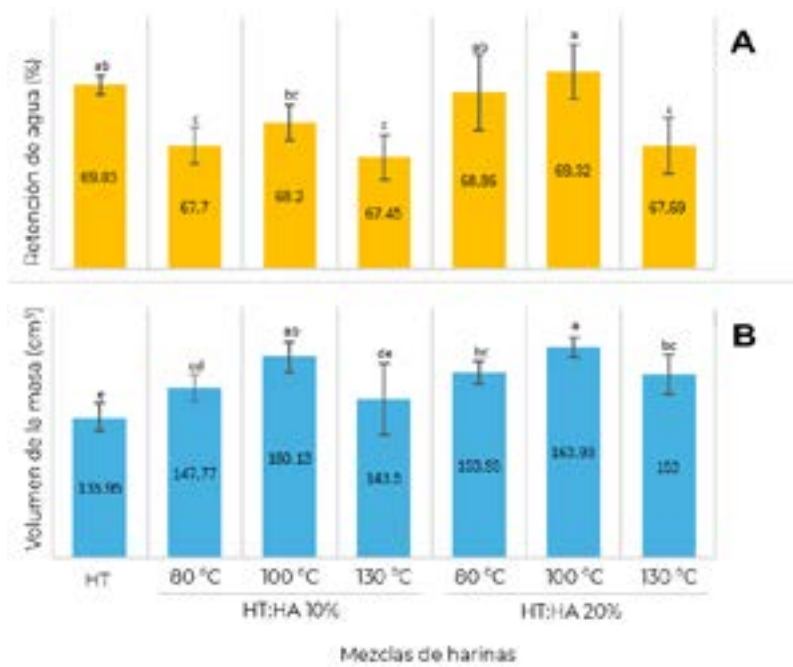
La Figura 1 muestra la CRA y la capacidad fermentativa (volumen de la masa) de la HT y las mezclas de HT con HA. La HT y la mezcla HT al 20% tratada a 80 °C o 100 °C mostraron los valores más altos de CRA (69.03, 68.86 y 69.32%, respectivamente), sin presentar diferencias significativas entre ellas. Los altos contenidos de fibra de la HA podrían afectar la CRA, con una tendencia a incrementarse al aumentar el porcentaje de sustitución. Las propiedades de hidratación están influenciadas por las proteínas y los polisacáridos presentes en la harina, y también se ven afectadas por el proceso de molienda, debido al daño que causan en las estructuras del grano y almidón, lo cual puede ser un factor importante en el incremento de la CRA en las harinas.

La CRA depende, en gran medida, del grado de molienda y el método utilizado, además de la variación en el contenido de almidón dañado, que es uno de los factores principales del incremento en su variabilidad. La CRA nos da información acerca de la funcionalidad de las harinas, así como de su habilidad para absorber agua durante el proceso de mezclado y liberar esa misma agua durante el proceso de panificación. También nos da una idea del grado de refinación de las harinas, ya que al reducir el tamaño de

partícula se genera un incremento en el almidón dañado, lo que afecta negativamente la capacidad de la harina para el desarrollo adecuado del producto final.

La capacidad fermentativa, medida como el volumen de la masa durante 1 hora de fermentación, se muestra en la Figura 1B. Los valores más altos corresponden a las mezclas de HT al 10% y 20% tratadas a 100 °C (163.93 y 160.13 cm³, respectivamente), superando considerablemente el volumen obtenido por la HT (139.95 cm³). Esto podría tener un efecto importante en el volumen y las propiedades texturales del pan, parámetros considerados importantes de calidad que determinan las preferencias del consumidor al momento de comprar este tipo de alimentos. Este comportamiento puede estar relacionado con el aporte de beta- glucanos de la avena, que normalmente se utilizan como ingredientes en alimentos funcionales, pero también

Figura 18.1. Capacidad de retención de agua (A) y capacidad fermentativa (B) de HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C



Fuente: elaboración propia.

mejoran las propiedades viscoelásticas en formulaciones de panes libres de gluten (Lazaridou y Biliaderis, 2007).

La formación de la masa es uno de los procesos más importantes en la industria de la panificación, y puede ser afectada por el contenido de proteína y su calidad, así como por la formación de una matriz proteína-almidón que actúa como una membrana capaz de estabilizar las células de gas en expansión. El amasado es crucial para el proceso de panificación, ya que crea las burbujas iniciales que proporcionan los puntos de nucleación, los cuales serán inflados con el CO_2 producido durante la fermentación. La estructura de una masa fermentada es una dispersión discreta de burbujas en una matriz proteica continua (embebida con gránulos de almidón), donde la viscoelasticidad de las masas permite que las burbujas se expandan y retengan gas. Diferentes estudios han mostrado que el gas generado en la fermentación no es retenido cuando la masa tiene contenidos de humedad por debajo del 35% del peso total de la masa, pero la retención de gas mejora cuando el contenido de agua está cercano o por encima del 44% (Chio-tellis y Campbell, 2003).

Análisis de perfil de textura (TPA)

El envejecimiento del pan está relacionado con los cambios indeseables que se presentan, además de la contaminación microbiana, en el tiempo que pasa desde su elaboración hasta su consumo. Para evaluar la estabilidad del pan durante su almacenamiento, se analizó el TPA a los 0, 2 y 7 días. Los resultados se muestran en la Tabla 3. El día 0 se observó un incremento en fuerza, gomosidad y masticabilidad en los panes elaborados con HT y HA 20% (130 °C), lo cual indica que al día 0 todas las mezclas de HA (tratada térmicamente), excepto las mencionadas anteriormente, generaron panes más blandos, un parámetro muy importante al momento de consumir un producto de panificación. El día 2 y 7 se observó un comportamiento similar, con la incorporación del pan obtenido de HA 10% (80 °C). La gomosidad y masticabilidad aumentaron a medida que se incrementó el tiempo, mientras que la resiliencia disminuyó.

La blandura o dureza de la miga es uno de los atributos de textura más

importantes debido a la percepción de frescura del producto, en este caso pan, que nos brinda una estimación de la calidad del mismo. En cuanto a la textura de la miga del pan, las propiedades mecánicas, como la firmeza y la elasticidad, son de las más importantes, ya que frecuentemente se relacionan con las características asociadas a la palatabilidad/masticabilidad (Hernández y Durán, 2012). Además, muestran una influencia importante al ser analizadas sensorialmente, pues definen la aceptabilidad de este tipo de producto.

La firmeza de la miga puede ser causada por cambios en la estructura del almidón. El almidón en la harina de trigo está formado por polímeros lineales y ramificados de D-glucosa. La porción lineal, llamada amilosa, está formada por 300 a 3 000 unidades de glucosa conectadas por enlaces alfa 1-4; mientras que la porción de amilopectina ramificada está formada por 2 000 a 200 000 unidades de glucosa unidas por enlaces alfa 1-4 y alfa 1-6. La amilosa constituye el 25 al 30% del gránulo de almidón y la amilopectina el 70 al 75%. Durante el horneado, los gránulos de almidón se hinchan y las cadenas lineales se difunden fuera del gránulo. Después del enfriamiento del pan, las cadenas lineales se juntan para proveer fuerza y darle forma al pan. Las cadenas ramificadas del almidón permanecen dentro del gránulo durante el horneado y se juntan lentamente durante el almacenamiento, lo que hace que la miga se vuelva más firme con el tiempo. Esto explica los incrementos de fuerza en los diferentes panes medidos a los siete días de almacenamiento.

Además del ANOVA simple, se realizó un ANOVA multifactorial para el perfil de textura, donde se analizaron los siguientes factores: porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones. Esto permitió determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la fuerza, la gomosidad, la masticabilidad y la resiliencia. En el caso de la fuerza, se estableció que el factor tiempo de almacenamiento tiene un efecto significativo, así como la interacción entre el porcentaje de sustitución y el tratamiento térmico. Para la gomosidad y masticabilidad, se observó un comportamiento similar al de la fuerza, donde los efectos principales están definidos por el tiempo de almacenamiento y la interacción entre el porcentaje de sustitución y el tratamiento térmico. En el caso de la resiliencia, los efectos principales estu-

vieron definidos por el porcentaje de sustitución, tratamiento térmico y tiempo de almacenamiento, y por las interacciones entre el porcentaje de sustitución y el tratamiento térmico, así como entre el tratamiento térmico y el tiempo de almacenamiento, mostrando todas ellas un efecto estadísticamente significativo con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 18.3. *Perfil de textura del pan elaborado con HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C a los 0, 2 y 7 días de almacenamiento*

Días	Pan	Tratamiento térmico de la HA (°C)	Fuerza (N)	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
Día 0	HT	–	6.25 ± 0.54 ^a	5.04 ± 0.40 ^a	4.76 ± 0.57 ^a	0.46 ± 0.01 ^a
	HT:HA 10%	80	4.02 ± 0.97 ^b	3.34 ± 0.78 ^b	3.31 ± 0.79 ^b	0.43 ± 0.01 ^c
	HT:HA 20%	80	2.57 ± 0.47 ^d	2.16 ± 0.36 ^d	2.14 ± 0.37 ^d	0.40 ± 0.02 ^d
	HT:HA 10%	100	3.22 ± 0.45 ^{cd}	2.70 ± 0.38 ^c	2.58 ± 0.49 ^{cd}	0.44 ± 0.02 ^{ab}
	HT: HA 20%	100	3.45 ± 0.80 ^{bc}	2.85 ± 0.63 ^{bc}	2.79 ± 0.61 ^{bc}	0.41 ± 0.01 ^d
	HT:HA 10%	130	3.21 ± 0.57 ^{bcd}	2.74 ± 0.46 ^{bcd}	2.71 ± 0.48 ^{bcd}	0.46 ± 0.01 ^a
	HT:HA 20%	130	5.47 ± 0.57 ^a	4.59 ± 0.47 ^a	4.53 ± 0.45 ^a	0.44 ± 0.01 ^{ab}
Día 2	HT	–	17.39 ± 1.28 ^a	10.37 ± 0.74 ^{ab}	9.71 ± 0.76 ^{ab}	0.26 ± 0.01 ^{bc}
	HT: HA 10%	80	16.33 ± 1.95 ^a	9.93 ± 1.15 ^b	9.36 ± 1.07 ^b	0.30 ± 0.02 ^{bc}
	HT:HA 20%	80	11.04 ± 1.28 ^{bc}	6.66 ± 0.80 ^d	6.23 ± 0.80 ^d	0.29 ± 0.01 ^c
	HT: HA 10%	100	13.09 ± 0.97 ^b	8.49 ± 0.46 ^c	7.97 ± 0.66 ^c	0.33 ± 0.02 ^a
	HT:HA 20%	100	9.49 ± 1.56 ^c	6.09 ± 0.92 ^d	5.67 ± 0.84 ^d	0.30 ± 0.01 ^{abc}
	HT: HA 10%	130	9.77 ± 2.63 ^c	5.79 ± 1.24 ^d	5.25 ± 1.63 ^d	0.29 ± 0.03 ^{bc}
	HT: HA 20%	130	17.83 ± 2.83 ^a	11.23 ± 2.03 ^a	10.55 ± 1.88 ^a	0.31 ± 0.03 ^{ab}
Día 7	HT	–	19.45 ± 0.81 ^c	10.46 ± 0.36 ^{cd}	9.71 ± 0.31 ^{bc}	0.24 ± 0.02 ^{ab}
	HT: HA 10%	80	26.79 ± 3.28 ^a	13.80 ± 1.70 ^{ab}	12.83 ± 1.54 ^a	0.25 ± 0.01 ^{bc}
	HT: HA 20%	80	17.71 ± 1.83 ^{cd}	8.72 ± 0.81 ^{de}	7.95 ± 0.81 ^{cd}	0.22 ± 0.01 ^d
	HT: HA 10%	100	22.99 ± 4.29 ^b	12.33 ± 1.99 ^{bc}	11.47 ± 1.86 ^{ab}	0.26 ± 0.02 ^{ab}
	HT: HA 20%	100	19.64 ± 2.90 ^c	9.99 ± 1.71 ^d	9.16 ± 1.56 ^{cd}	0.23 ± 0.01 ^{cd}
	HT: HA 10%	130	13.92 ± 2.68 ^d	8.00 ± 1.36 ^e	7.33 ± 1.36 ^d	0.27 ± 0.01 ^a
	HT: HA 20%	130	27.75 ± 4.13 ^a	14.58 ± 1.99 ^a	12.92 ± 2.35 ^a	0.26 ± 0.03 ^{ab}

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente ($p > 0.05$).

Fuente: elaboración propia.

Análisis sensorial

Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 18.4. Utilizando el modelo no paramétrico de Kruskal-Wallis, se observó que los efectos más

significativos en los diferentes parámetros sensoriales analizados fueron sobre el nivel de agrado del sabor y la aceptación general. En cuanto al agrado del sabor, los panelistas no mostraron diferencias significativas en las distintas formulaciones de pan, excepto en la elaborada con HA 20% (130 °C). En términos de aceptación general, las formulaciones más favorecidas fueron aquellas en las que el porcentaje de sustitución de harina de trigo fue del 10% con harina de avena, sin importar el tratamiento térmico al que esta última haya sido sometida. La formulación menos aceptada fue aquella en la que se utilizó el 20% de harina de avena tratada a 130 °C, observándose una semejanza con las evaluaciones de color, aroma y textura, donde esta misma formulación obtuvo los valores más bajos registrados por los panelistas.

Tabla 18.4. *Análisis sensorial del pan elaborado con HT y de las mezclas de HT con HA (10 y 20%) tratada a 80, 100 o 130 °C*

<i>Pan</i>	<i>Tratamiento térmico de la HA (°C)</i>	<i>Color</i>	<i>Aroma</i>	<i>Sabor</i>	<i>Textura</i>	<i>Aceptación general</i>
HT	–	6.35 ± 1.85 ^{bc}	5.74 ± 1.63 ^{abc}	6.31 ± 1.29 ^b	6.25 ± 1.07 ^{bc}	6.56 ± 1.15 ^c
HT: HA 10%	80	6.46 ± 1.35 ^{bc}	6.25 ± 1.46 ^{bc}	6.20 ± 1.35 ^b	6.11 ± 1.48 ^{bc}	6.41 ± 1.18 ^{bc}
HT: HA 20%	80	5.87 ± 1.17 ^{ab}	5.56 ± 1.32 ^{ab}	5.70 ± 1.12 ^b	5.92 ± 1.50 ^{bc}	5.77 ± 0.93 ^b
HT: HA 10%	100	6.57 ± 1.29 ^c	6.61 ± 1.39 ^c	6.30 ± 1.34 ^b	6.74 ± 1.26 ^c	6.61 ± 1.21 ^c
HT: HA 20%	100	5.90 ± 0.96 ^{ab}	5.69 ± 1.25 ^{ab}	5.86 ± 1.33 ^b	5.85 ± 1.21 ^{ab}	6.20 ± 0.85 ^{bc}
HT: HA 10%	130	5.84 ± 1.63 ^{bc}	5.97 ± 1.43 ^{abc}	5.69 ± 1.40 ^b	5.88 ± 1.35 ^b	5.69 ± 1.26 ^b
HT: HA 20%	130	4.97 ± 1.31 ^a	5.15 ± 1.41 ^a	4.57 ± 1.46 ^a	5.01 ± 1.11 ^a	4.59 ± 1.48 ^a

HT, Harina de trigo; HA, Harina de avena. Medias con la misma letra dentro de la columna no son diferentes significativamente (p>0.05).

Fuente: elaboración propia.

Conclusión

Es posible elaborar un pan con buenas propiedades texturales y sensoriales, utilizando hasta un 20% de sustitución de harina de trigo por harina de avena tratada térmicamente.

Referencias

- AACC. (2000), *Approved Methods of Analysis*. 11th ed. The American Association of Cereal Chemists; St. Paul, MN, Estados Unidos.
- Ali, H. K., H. M. Esam y M. D. Fathy. (2000). Influence of malt on rheological and baking properties of wheat cassava composite flours. *LWT-Food Science and Technology* 33: 159-164. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0629>
- Bojňanská, T., H. Francáková, M. Líšková y M. Tokár. (2012). Legumes-The alternative raw materials for bread production. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 1: 876-886. https://www.researchgate.net/publication/266886484_Legumes-The_alternative_raw_materials_for_bread_production
- Chiotellis, E., y G. M. Campbell. (2003). Proving of Bread Dough II. Measurement of gas production and retention. *Trans IChemE*, Vol. 81, Part C, 207-216. <http://doi.org/10.1205/096030803322437974>
- Glenn, G. M., y R. M. Saunders. (1990). Physical and structural properties of wheat endosperm associated with grain texture. *Cereal Chemistry* 67 (2) 176-182. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/67_176.pdf
- Gómez, M. H., L. W. Rooney, R. D. Waniska y R. L. Pflugfelder. (1987). Dry corn masa flour for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32 (5) 372- 377.
- Hernández, O. M., y O. D. Duran. (2012). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 10 (2): 61-74. Universidad de Pamplona. Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90326388001>
- Lazaridou, A., y C. G. Biliaderis. (2007). Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science* 46 (2) 101-118. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.003>
- Martínez-Villaluenga, C., y E. Peñas. (2017). Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms *Current Opinion in Food Science* 14:26-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.004>
- Protonotariou, S., A. Drakos, V. Evageliou, C. Ritzoulis y I. Mandala. (2014). Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.008>
- Seibel, W. (2006), "Composite flour", *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*, in Popper, L., Schafer, W. and Freund, W. (pp. 193-198). (Eds), Verlag Agri Media, Hamburg.
- Soleimani Pour-Damanab, A. R., A. Jafari y Sh. Rafiee. (2011). Monitoring the dynamic density of dough during fermentation using a digital imaging method. *Journal of Food Engineering* (107) 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.010>
- Torbica, A., M. Hadnadev y T. D. Hadnadev. (2012). Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*, 48 (1) 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.001>

Verdú, S., F. Vázquez, E. Ivorra, A. J. Sánchez, J. M. Barat y R. Grau. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispánica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science* (65) 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>