



ENRIQUECIMIENTO DE BIZCOCHOS A BASE DE HARINA DE TEFF. EVALUACIÓN DE SU CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso 2011/12

**Alumna: Sofía García Simón
Tutora: Felicidad Ronda Balbás**

Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera
Universidad de Valladolid

Resumen

El teff es un cereal tropical, cultivado y consumido mayoritariamente en Etiopía. Debido a su valor nutricional, es rico en aminoácidos esenciales, hierro, zinc, calcio y no tiene gluten, podría ser un buen complemento para enriquecer alimentos o para sustituir la harina habitualmente utilizada en productos de panificación o repostería.

En el presente estudio se han elaborado bizcochos con dos tipos de harina de teff en sustitución total o parcial de la harina de trigo. Se ha comprobado su efecto sobre la reología de las masas batidas y sobre las propiedades físicas y sensoriales de los bizcochos elaborados. Igualmente se ha estudiado la posibilidad de mejorar su fórmula mediante el empleo del hidrocoloide Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC).

Las harinas de teff de ambas variedades produjeron bizcochos con menor volumen, siendo mayor el efecto de la variedad marrón sobre este parámetro. También fueron afectados por el tipo de harina otros atributos como la dureza, que se vio incrementada con la harina marrón mientras que la blanca mantuvo un comportamiento similar a la harina de trigo. Ambas variedades, en porcentajes del 50 y 100%, tuvieron una aceptación sensorial cercana al punto medio, "ni me gusta ni me disgusta", y esta puntuación fue disminuyendo según aumentaba la dosis. Ninguna de las elaboraciones alcanzó los niveles de satisfacción de los bizcochos elaborados con un 100% de harina de trigo. Sería conveniente realizar una nueva evaluación sensorial comparando los bizcochos de harina de teff con otros elaborados con harina integral y/o sin gluten u otros productos dietéticos, destinados a una población diferente de la que consume habitualmente los productos tradicionales elaborados con trigo.

Summary

Teff is a tropical cereal, their cultivation and consumption is mostly confined to Ethiopia. Because of its nutritional value, is rich in essential amino acids, iron, zinc, calcium and has no gluten, could be a good complement to enrich foods or to replace flour in gluten-free products.

In the present study, have been developed cakes with two types of teff flour in total or partial replacement of wheat flour. The effect of this flours on the rheology of batters and on physical and sensory properties of the cakes, were tested. Also it has studied the possibility of improving their formula through the use of hydrocolloid hydroxypropylmethylcellulose (HPMC).

Teff flour from both varieties produced cakes with smaller volume, being the effect of the brown variety the most important. Other attributes such as hardness were also affected by the type of flour, which was increased with the brown flour while, white one had similar effect to wheat flour. Both varieties, in percentages of 50 and 100% had a sensory acceptance near of the midpoint, "neither like or dislike", and this score was decreasing as the dose of flour

increased. None of the elaborations reached satisfaction levels of cakes made with 100% wheat flour. It would be desirable to perform a new sensory evaluation comparing the teff flour cakes with other cakes made of whole wheat and / or gluten free or other diet products, intended for a different population of which commonly consumed traditional products made from wheat.

1. Introducción

El teff [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter], es un cereal tropical que, fundamentalmente, se cultiva y consume en Etiopía. Pertenece a la familia de las Poaceae, subfamilia Eragrostoidae (o Chloridoideae), tribu Eragrostae y género *Eragrostis*. Se conocen alrededor de 300 especies del género *Eragrostis*, de las cuales el teff es la única cultivable (Bultosa y Taylor, 2004).

No se saben los detalles exactos de la domesticación del teff, sin embargo, se cree que fue domesticado por primera vez en Etiopía y se supone que se originó en el noreste de África. A pesar de que muchas especies han sido sugeridas como sus antepasados, la teoría más actual, sitúa a la *E. pilosa* como su antecesor salvaje más probable, la cual surgió de la hibridación natural de dos diploides desconocidos, seguida de una duplicación cromosómica. A partir de este momento, la domesticación se llevó a cabo a través de la selección inconsciente de la *E. pilosa* (D'Andrea, 2008).

Características destacables de la domesticación del teff son, que en su selección (incluso en la actualidad), no se buscan semillas más grandes, sino que se centran, en su lugar, en el color del grano (variedades blancas y tintas/marrones) y en las plantas más ramificadas y con un mayor número de panículas, ya que se consideran más productivas (D'Andrea, 2008).

El teff es una planta alotetraploide, posee una raíz fibrosa y, generalmente, presenta tallos erectos. La inflorescencia en forma de panícula puede mostrarse de diferentes formas, desde suelta hasta compacta. Sus espigas tienen 2-12 floretes y la mayoría de las

variedades llegan a medir entre 50-120 cm, pudiendo una sola planta de teff producir hasta 50.000 granos (**Fig.1**). Los granos de teff poseen una gama de colores que van desde el blanco lechoso al marrón oscuro, siendo los colores más comunes el blanco, el blanco cremoso, el marrón claro y el marrón oscuro (**Fig.2**) (Bultosa y Taylor, 2004). Se cree que su nombre deriva de la palabra etíope "teffa", que significa perdido (Arguedas, 2008), lo que hace referencia al pequeño tamaño del grano que va de 0,9-1,7mm de longitud con un

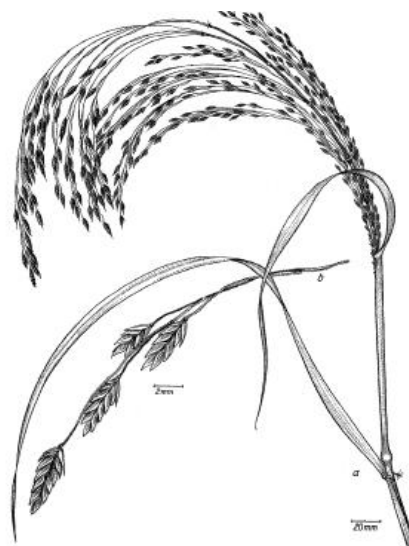


Fig. 1 Planta de teff (Ketema, 1997)

diámetro que varía de 0,7 a 1mm. Tiene forma ovalada y su peso es de unos 2mg o menos, lo que supone aproximadamente un 0,6-0,8 % del peso de un grano de trigo (Bultosa y Taylor, 2004).

El uso de este cereal en Etiopía, va desde la elaboración de comidas hasta la aplicación como un componente para la construcción de adobe (Arguedas, 2008). Principalmente el cereal se destina a consumo humano, siendo un alimento básico para muchos etíopes. Los granos de teff se lavan y se muelen, obteniendo una harina integral con la que se elabora mayoritariamente *injera*, un pan plano, poroso y con un sabor ligeramente ácido (Stewart y Getachew, 1962), obtenido dejando fermentar, de forma espontánea o mediante un iniciador (*irsho*), la harina mezclada con agua, durante aproximadamente 3 días. Finalmente se aligera la masa fermentada, añadiendo agua, y se cocina. Existen otros productos elaborados con harina de teff en Etiopía como son bebidas espirituosas (*katikalla*) y sopas (*muk*), pero también se ha extendido su uso a otros países como EE.UU. donde se ha promovido su utilización como espesante de sopas, guisos y salsas (Bultosa y Taylor, 2004).



Fig. 2 Granos de diferentes variedades de teff (Bultosa y Taylor, 2004)

Lo más destacable de este cereal, es que a pesar de ser tan pequeño, contiene una gran cantidad de nutrientes, y es esto lo que le hace interesante para enriquecer alimentos.

El teff es un cereal que no posee gluten Hopman et al. (2008), en un estudio realizado a pacientes celíacos procedentes de Holanda, donde el teff se utiliza cada vez con más frecuencia, encontraron que su consumo no promovía el desarrollo de síntomas en este tipo de enfermos. Esto indica que este cereal, podría ser una buena alternativa que permitiría elaborar productos para pacientes celíacos con una dieta exenta en gluten.

En cuanto a su valor nutricional, un estudio reciente llevado a cabo por El-Alfy et al. (2012), sobre la composición química de las semillas de la variedad “roja/marrón” muestra que estas poseen un alto valor nutritivo, con altos porcentajes de hidratos de carbono (57,27%), proteínas (20,9%), aminoácidos esenciales (8,15%), mayoritariamente, leucina y lisina (1,71 y 1,35%, respectivamente), vitamina B1 (1,56 mg/100 g) y potasio y calcio (32,4 y 9,63%, respectivamente).

Cabe destacar, su contenido en minerales como el hierro, habiéndosele llegado a atribuir, al teff y al consumo de *injera*, la falta de anemia en la población etíope o el alto rendimiento de sus deportistas y los récords internacionales que poseen (Arguedas, 2008). En la actualidad, varios autores como Abebe et al. (2007), han demostrado que el teff es un cereal con una cantidad de hierro elevada, variable según el tipo de teff, y que los alimentos elaborados con su harina, como el *injera*, también resultan enriquecidos en este mineral. Además ese hierro, junto con el zinc y el calcio procedentes del cereal, mejoran su biodisponibilidad al fermentar la masa. Incluso, se han realizado estudios sobre la capacidad que podría tener el consumo de pan de este cereal en la mejora de los niveles séricos de hierro en mujeres en edad fértil, llegándose a la conclusión de que el consumo de pan de teff puede ayudar a mantener los niveles de hierro sérico (Bokhari et al., 2012).

En cuanto al desarrollo de nuevos productos realizados a base de teff, es un campo que está en expansión. Muchos son los autores que han probado la sustitución de pequeños porcentajes (5-30%) de harina de trigo por este cereal, en panes, obteniendo resultados satisfactorios (Alaunyte et al., 2012; Ezpeleta, 2010; Mohammed et al., 2009). También se encuentran patentes sobre productos desarrollados con teff, como las galletas de un grupo de la Universidad politécnica de Madrid (Callejo y Tesfaye, 2010), pasta (Temtemie, 2007), pasteles, pastas y pan (Roosjen, 2007).

Por todo ello, en este estudio se ha considerado la posibilidad de utilizar la harina de teff como un suplemento que permita enriquecer un producto ampliamente consumido en la actualidad, como son los bizcochos y, que en el caso de la sustitución total de la harina de trigo, suponga una alternativa para personas con enfermedad celiaca.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo ha sido el aumento del valor nutricional de productos de repostería, en este caso bizcochos, enriqueciéndolos con diferentes porcentajes de dos tipos de harina de teff, blanca y marrón.

También se ha evaluado la conveniencia del empleo de HPMC en estos productos para mejorar sus propiedades sensoriales. Se ha estudiado el efecto de este enriquecimiento sobre las características reológicas de las masas batidas y sobre la calidad y vida útil de los productos finales elaborados, utilizando para ello tanto medidas instrumentales como sensoriales.

3. Materiales y métodos

3.1. Ingredientes

Para realizar este estudio, se elaboraron bizcochos a partir de los siguientes ingredientes: Huevos tamaño "L", adquiridos en el mercado local, Azúcar blanco "Azucarera", en formato

de sacos de 5kg (Azucarera Ebro S.L.), Leche entera UHT “emd fresh” en formato de briks 1L (Leite Rio S.L.), Aceite refinado de girasol “Carrefour” en formato de garrafa de 5L (Centros comerciales Carrefour S.A.), Impulsor químico “Royal Baking Powder” en formato de latas de 113g (Kraft Foods España Commercial S.L.U.), Harina acondicionada de trigo Emilio Esteban: “Harina Extra Ana” en formato de sacos de 25kg, Harina de teff blanco “Ecosem” formato de sacos de 25kg (Prograin International B.V.), Harina de teff marrón “Ecosem” formato de sacos de 25kg (Prograin International B.V.) y HPMC (Hidroxi propil metil celulosa) SFE-4000 de Shin-Etsu Chemical Co Ltd. (Japan).

3.2. Formulación y elaboración de los bizcochos de teff

3.2.1. Formulación

La fórmula utilizada para la realización de los bizcochos, se basó en la empleada por Preichardt et al. (2011), para la elaboración de bizcochos sin gluten. Tras sucesivas pruebas, se optimizó la fórmula para harina de teff, estableciéndose finalmente la formulación reflejada en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Formulación para la elaboración de los bizcochos

Ingrediente	Porcentaje en base a harina (%)	Cantidad de ingredientes para la masa de bizcochos (g)	Cantidad de ingredientes para la masa de reología (g)
Harina de trigo	100	260,0	180,0
Harina de teff			
Huevo	100	260,0	180,0
Azúcar	140,9	366,3	253,6
Aceite	22,7	59,0	40,9
Leche	81,8	212,7	147,2
Impulsor	4	10,4	7,2
Hidrocoloide	0-1	2,6	1,8

Se realizaron un total de 14 elaboraciones con dos tipos de harina de teff, blanco y marrón, que sustituyó a la harina de trigo en porcentajes del 0, 25, 50, 75 y 100% para el teff blanco, y del 0, 50 y 100 % para el teff marrón. Se realizaron todas las elaboraciones por duplicado, con presencia y ausencia de HPMC, que siempre se añadió en una dosis única del 1% en base harina.

3.2.2. Procedimiento de elaboración de masas

Se siguió el mismo procedimiento tanto para la realización de las masas batidas utilizadas en los ensayos reológicos como para las masas de bizcocho; para estas últimas se elaboró cantidad suficiente para rellenar 6 moldes de aluminio desechables (109 x 159 x 38 mm) necesarios para el estudio de los parámetros físicos y sensoriales. En primer lugar se pesaron los ingredientes secos (harinas, impulsor químico y HPMC, en el caso de que llevara) con el fin de homogeneizarlos y permitir la posterior integración del hidrocoloide con

el resto de ingredientes. Por otro lado se pesaron los demás productos y se juntaron con los anteriores en un vaso de la amasadora/batidora. Todos los ingredientes fueron pesados en una balanza TE 6101 de Sartorius AG (Germany).

Para realizar el batido de la masa se utilizó una batidora/amasadora Kitchen Aid "Professional" modelo 5KPM50 (St. Joseph, Michigan, USA) con 10 velocidades. Al tratarse de una masa batida el accesorio escogido para el mezclado, fueron las varillas que, a la vez permitían la incorporación de aire en la masa necesario para obtener la esponjosidad propia de los bizcochos. El proceso de batido se llevó a cabo en 3 minutos divididos en dos tiempos. Primero se mezclaron los ingredientes durante 1 minuto a velocidad 6, seguidamente se realizó una parada para bajar, con ayuda de una lengua de pastelería, los restos de harina y masa pegados en las paredes del vaso y finalmente se varillaron 2 minutos más a velocidad 8, para obtener una masa aireada y homogénea.

Una vez terminada la elaboración de la masa, en el caso de las que se usaron para reología y densidad, se vertieron en un bote cilíndrico con tapadera para su estudio inmediato y, en el caso de masas para la elaboración de los bizcochos horneados, se procedió a pesar, en la misma báscula utilizada para el pesaje de los ingredientes, 170g de masa en cada uno de los 6 moldes de aluminio, que fueron engrasados previamente con aceite de girasol para facilitar su posterior desmoldado.

Finalmente se hornearon los bizcochos durante 30 minutos a una temperatura de 180°C en un horno modular eléctrico marca Salva, modelo PANEL ST-99, serie 7851-8K (Dicoel S.L.). Antes de desmoldar los bizcochos, se dejaron reposar y enfriar durante una hora. Una vez fríos se desmoldaron, dos de ellos se utilizaron para una medición en fresco y, los cuatro restantes se envasaron en bolsas de polietileno: 1 se conservó en cámara a 20°C durante 4 días para evaluar vida útil y los otros 3 se congelaron para la evaluación sensorial.

3.3. Medida de las propiedades de las masas batidas

3.3.1. Densidad

La densidad del batido se midió utilizando una probeta de cristal calibrada con una capacidad de 100ml y se determinó a través de la relación entre el peso de 100ml de masa y el mismo volumen de agua destilada. Estas medidas se realizaron por duplicado.

3.3.2. Reología

Este tipo de pruebas sólo se realizó en las masas elaboradas con diferentes porcentajes de la variedad blanca de harina de teff (incluyendo el 0% de teff). La cantidad de masa usada para cada prueba y repetición fue de 40,1mL.

Se realizaron ensayos reológicos oscilatorios de esfuerzo y de frecuencia y ensayos de flujo, utilizando un reómetro rotacional HAAKE RheoStress1 de Thermo Fisher Scientific (Karlsruhe, Germany), equipado con cilindros concéntricos para masas fluidas, un baño termostático Phoenix II P1-C25P para mantener una temperatura de 25°C constante durante los ensayos y el software “RheoWin 3” también de Thermo Fisher Scientific. Antes de realizar cada ensayo se ajustó la sonda a la posición “0”, de forma automática.

3.3.2.1. Barrido de esfuerzos

Se realizó un barrido de esfuerzos a cada masa batida, para determinar la zona viscoelástica lineal y establecer el esfuerzo a aplicar en el barrido de frecuencias posterior. Para ello se sometió a los batidos, recién elaborados, a un barrido desde 0Pa hasta 50Pa a una frecuencia constante de 1 Hz, precedido de un tiempo de reposo de 300s, obteniéndose una zona viscoelástica lineal para todas las masas, entre los 20-25Pa.

3.3.2.2. Barrido de frecuencias

Tras el barrido de esfuerzos, se sometieron a las masas a un barrido de frecuencias de 0,1 a 20 Hz y una deformación constante (en la zona viscoelástica lineal), obtenida en el ensayo anterior, de 20 o 25 Pa según la masa. Este ensayo se realizó por duplicado, cambiando la masa para cada una de las repeticiones y con tiempo de reposo previo de 300s.

Los barridos de frecuencias se ajustaron al modelo de la Ley de la Potencia (Ronda et al., 2011):

$$G' = G'_1 \cdot \omega^a$$

$$G'' = G''_1 \cdot \omega^b$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} = \frac{G''_1}{G'_1} \cdot \omega^{b-a} = (\tan \delta)_1 \cdot \omega^c$$

Donde los coeficientes G'_1 , G''_1 y $(\tan \delta)_1$ representan los módulos elástico, viscoso y la tangente de pérdida a una frecuencia de 1 Hz, respectivamente. Y los exponentes a , b y c cuantifican el grado de dependencia de estos módulos y de la tangente de pérdida con la variación de la frecuencia.

3.3.2.3. Flujo

Los ensayos de flujo se realizaron con un tiempo previo de reposo de la masa, de 500s. Los ensayos se llevaron a cabo con control de esfuerzo variando este parámetro entre 0,1 y 48Pa tomando un total de 100 medidas en un doble barrido, ascendente y descendente, con el objeto de establecer la dependencia con el tiempo del comportamiento reológico de estos batidos. Se llevaron a cabo dos-tres repeticiones, cada 30 minutos, por cada muestra

estudiada ya que se observó que los resultados variaban mucho según el tiempo que la masa había estado en espera.

Los datos experimentales se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele (**Fig. 3**) y se halló la diferencia entre las áreas de las curvas ascendente y descendente (histéresis), para evaluar la tixotropía de los batidos, usando el programa Rheowin 3 Data Manager (Thermo Fischer Scientifics, Karlsruhe, Alemania).

Fig. 3. Modelo de Ostwald de Waele

$$\tau = K \cdot \gamma^n$$

Donde τ y γ representan deformación (medida en Pa) y velocidad de corte (medida en s^{-1}), respectivamente y K y n son parámetros empíricos, siendo K el índice de consistencia y n el índice de comportamiento de flujo.

3.4. Medida de las características físicas de los bizcochos de teff

3.4.1. Propiedades morfogeométricas de los bizcochos

Volumen

El volumen de los bizcochos se determinó a través de un medidor de volumen BVM-L370 de la marca TexVol Instruments (Viken, Sweden). El software para realizar dicha medida fue "BreadCalcu" que proporciona el volumen en cm^3 . El volumen se evaluó en fresco (día 0), en dos bizcochos de cada elaboración.

Relación alto/ancho

Se midieron el alto, ancho y largo de dos bizcochos de cada elaboración con un pie de rey digital. Debido a que la largura es un parámetro constante porque se utilizaron los mismos moldes para todas las elaboraciones, la relación alto/ancho se cuantificó para conocer la magnitud con la que aumentaba la altura de los bizcochos.

Índices de simetría, uniformidad y volumen

Al igual que en el caso anterior, se utilizó un calibre digital para medir dos rebanadas de cada elaboración (una de cada bizcocho el día 0) según el método AACC 10-91.01, donde se toman cinco medidas para posteriormente obtener los índices de simetría, uniformidad y volumen de las diferentes elaboraciones.

Pérdida de peso

La pérdida de peso se obtuvo pesando, en la balanza TE 6101 de Sartorius, los seis bizcochos de cada elaboración, una vez fríos y desmoldados y se restó este peso a 170g (el peso de la masa enmoldada para hornear).

3.4.2. Textura

Para evaluar la textura se utilizó un texturómetro universal TA-TX2 de Stable Microsystems (Surrey, UK) con una sonda cilíndrica de aluminio de 20mm (P20) y el software "Texture Expert". Se realizó un ensayo TPA, de doble compresión, sobre dos rebanadas (2cm), tomadas del centro de los bizcochos, que fueron sometidas a una deformación del 50%. Se empleó una velocidad de la sonda durante el ensayo de 1 mm/s y un tiempo de espera entre compresiones de 30 s. Estas medidas se llevaron a cabo en dos bizcochos de cada elaboración, y permitieron obtener datos sobre la dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad, resiliencia y adhesividad de los bizcochos.

3.4.3. Color

Se evaluó el color de la corteza y de la miga de los bizcochos. Para ello se realizaron para cada elaboración: cuatro medidas del color de la corteza, dos en cada bizcocho, y cuatro medidas de la miga, una en cada una de las dos rebanadas que se sacaron de cada bizcocho. El color se midió con un colorímetro CN 508i de marca Minolta (Osaka, Japón), en las coordenadas $L^*a^*b^*$. Posteriormente, a partir de L^* , a^* y b^* se obtuvieron el tono (h) y la saturación o croma (C^*), usándose el espacio de color L^*C^*h para el análisis de los resultados.

3.4.4. Análisis de imagen (Alveolado)

Para realizar el análisis de imagen, se escanearon, en blanco y negro, cuatro rebanadas de dos bizcochos para cada elaboración, en un escáner HP Scanjet G3110. Estas imágenes fueron tratadas con el programa "WCIF ImageJ" tomando una sección de miga de 10x10mm.

3.4.5. Vida útil

La vida útil de los bizcochos se determinó realizando un ensayo TPA, igual que el aplicado a los bizcochos fresco, sobre un bizcocho almacenado cuatro días a 20°C desde su elaboración. El análisis se realizó por duplicado sobre dos rebanadas de un mismo bizcocho.

3.5. Evaluación sensorial de los bizcochos de teff

Para comprobar la calidad de los bizcochos realizados, y obtener información sobre la opinión de los consumidores potenciales de estos productos, se realizó una prueba afectiva de grado de satisfacción. En esta evaluación participaron un total de 100 jueces no

entrenados, entre los que había varones y mujeres con edades comprendidas entre los 18 y los 52 años, que se encontraban en el Campus de la Yutera de Palencia.

La prueba, se realizó sobre 10 muestras de bizcocho: 0% teff, 50% teff blanco, 50% teff marrón, 100% teff blanco y 100% teff marrón, con y sin HPMC cada una de ellas. Para que la cata no se extendiese demasiado en el tiempo, se eligió una escala hedónica verbal de 5 puntos (siendo el 1, “me disgusta mucho” y el 5, “me gusta mucho”). Además, se incluyó en la ficha de cata un apartado para que los catadores asignaran signos positivos o negativos a los atributos más destacados de los bizcochos, de manera que, aunque este dato no se pudiera valorar estadísticamente, sí nos ayudaría a conocer de manera global cuales eran los atributos que más afectaban en la puntuación del grado de satisfacción (ANEXO II).

3.6. Tratamiento estadístico de los datos

Con el fin de evaluar el efecto de los diferentes factores estudiados (tipo de teff, porcentaje del mismo y la presencia o no de HPMC), sobre los batidos y los bizcochos horneados, se realizó un ANOVA multifactorial utilizando el programa Statgraphics Centurión XVI, Versión 16.1.17. Se utilizó el test de Fisher (LSD) para describir medias con un nivel de confianza del 95%.

4. Resultados y discusión

4.1. Propiedades de los bizcochos

4.1.1. Propiedades morfogeométricas y pérdida de peso en el horneado

Las **Tablas 2 y 3** (en el ANEXO I) recogen los resultados de las propiedades morfogeométricas (volumen y factores de forma) y la pérdida de peso durante el horneado de los bizcochos elaborados en el presente estudio.

Volumen

Tanto en el caso del teff blanco como en el marrón, la dosis de teff y la presencia de HPMC tuvieron efecto significativo sobre el volumen ($p < 0,001$ en todos los casos). El HPMC produjo un aumento del volumen en ambas variedades de bizcochos, suponiendo su presencia un incremento, en promedio, del 3% del volumen en los bizcochos de teff marrón y del 6% en los bizcochos de teff blanco (**Fig. 4 y 5**). Estos resultados son similares a los obtenidos por Gómez et al. (2007) donde, al igual que en el caso de nuestros bizcochos de harina de teff blanca, el uso de un 1% de HPMC también supuso un aumento del volumen de aproximadamente el 6% frente al control.

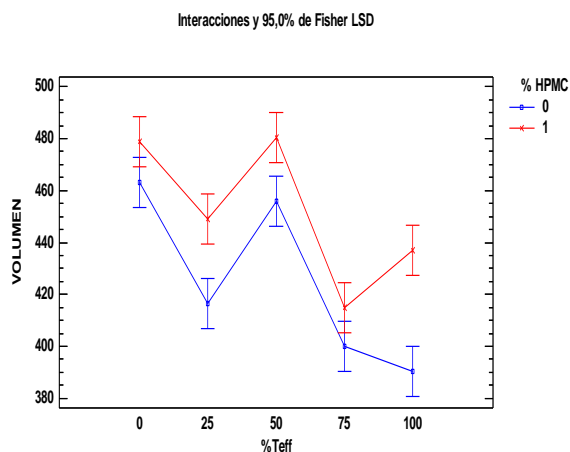


Fig. 4 Efecto de la dosis de harina de teff blanca y la presencia de HPMC sobre el volumen de los bizcochos.

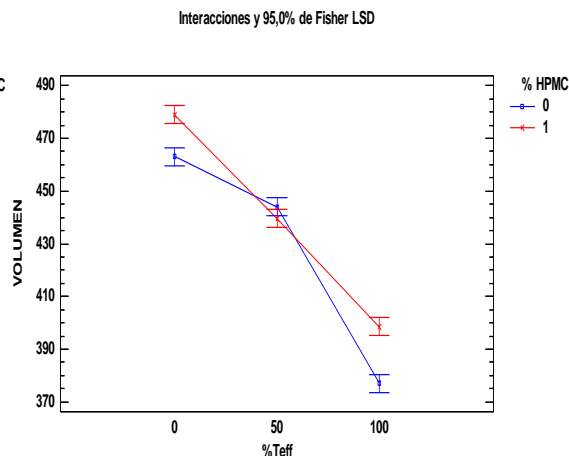


Fig. 5 Efecto de la dosis de harina de teff marrón y la presencia de HPMC sobre el volumen de los bizcochos.

La sustitución de harina de trigo por harina de teff, tanto marrón como blanca, condujo a bizcochos de menor volumen. Según se aumentaba la dosis de teff, el volumen se reducía, produciéndose reducciones del volumen de un 12% en la variedad blanca y hasta un 18% en la marrón, entre los bizcochos de trigo y los elaborados con un 100% de teff de ambas variedades (**Fig. 4** y **5**). Parece que su incremento redujo el volumen en aquellas elaboraciones sin HPMC, aunque en el caso de 50% teff blanco, esta diferencia de volumen no alcanzó niveles significativos (**Tabla 3**). Mohammed et al. (2009) obtuvieron resultados similares en panes de molde, donde una sustitución del 20% de harina de trigo por harina de teff, produjo panes con un volumen menor que los de trigo, aunque en este caso la sustitución de pequeñas cantidades, 5, 10 y 15%, sí conseguían aumentar el volumen con respecto a los panes elaborados sólo con trigo.

El análisis de varianza, ANOVA multifactorial, aplicado a las elaboraciones con 0, 50 y 100 % de harina de teff permitió concluir el efecto significativo ($p < 0,001$) del tipo de harina de teff, la dosis de teff y de la presencia de HPMC en dosis del 1 % sobre el volumen de los bizcochos. En las **figuras 6** y **7** se muestran las interacciones dobles, también significativas ($p < 0,05$), del tipo - dosis de teff y del tipo de teff-presencia de HPMC, sobre el volumen de los bizcochos. Cada punto de la gráfica representa el valor medio y las barras representan el intervalo LSD de Fischer. Puede concluirse que los bizcochos elaborados con harina blanca de teff tuvieron más volumen que los elaborados con harina marrón, aunque en ambos casos tuvieron menor volumen que los de harina de trigo. A mayor dosis de sustitución se obtuvo menor volumen en los bizcochos. El HPMC, aunque aumentó el volumen de todos los bizcochos, lo hizo en mayor medida cuando la harina de teff empleada fue la blanca.

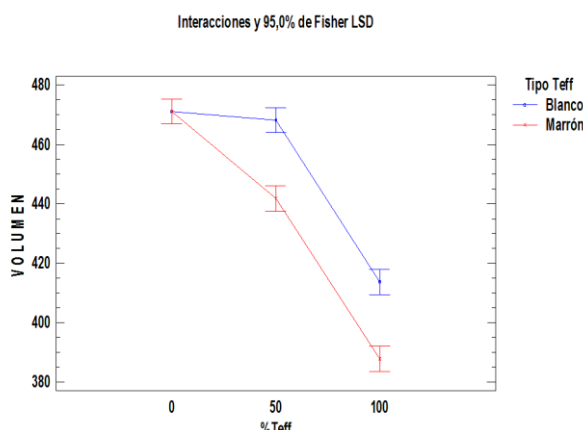


Fig. 6 Efecto de la dosis y tipo de teff sobre el volumen de los bizcochos.

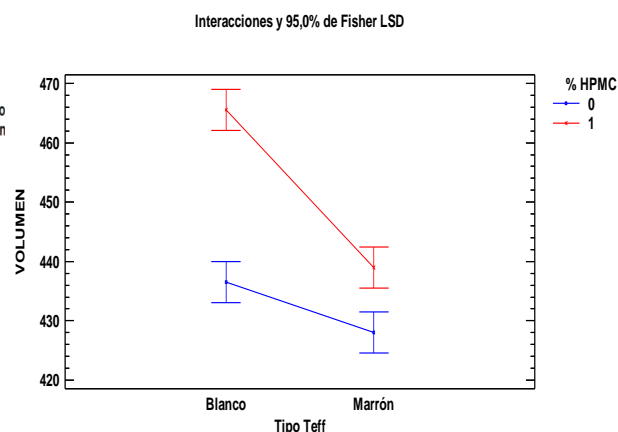


Fig. 7 Efecto de la presencia de HPMC en función del tipo de teff sobre el volumen de los bizcochos

Factores de forma

No se observaron diferencias estadísticamente significativas, en ninguno de los parámetros estudiados, con la presencia de HPMC en ninguna de las dos variedades de teff. Sin embargo, sí se observó que la presencia de teff, en ambos casos, disminuyó el índice de volumen y la relación alto/ancho, con respecto a los bizcochos que no poseían teff, mostrándose diferencias estadísticamente significativas en todos los bizcochos de la variedad blanca excepto el que poseía el 50% de teff y HPMC. En el caso de la variedad marrón, esta diferencia fue significativa en el índice de volumen pero no en la relación alto/ancho.

El análisis de varianza, ANOVA, aplicado a las elaboraciones con harina de teff del 0, 50 y 100%, permitió concluir que ni el porcentaje ni el tipo de harina de teff, ni la presencia de HPMC tuvieron efecto significativo sobre el índice de simetría. Sobre el índice de volumen, ejercieron un efecto significativo ($p < 0,001$) el % de teff y el HPMC, pero no el tipo de teff. Estos efectos fueron los mismos que los obtenidos para el volumen. El índice de uniformidad no resultó afectado significativamente por ninguno de los factores de estudio.

Pérdida de peso

La pérdida de peso de los bizcochos durante el horneado, que da una idea de la capacidad de retención de agua de los ingredientes que lo constituyen, varió significativamente con los factores de estudio HPMC y % de harina de teff ($p < 0,001$). El HPMC aumentó la pérdida de peso de forma significativa en todos los bizcochos. Sólo los bizcochos con un 50% de harina de teff marrón tuvieron menor pérdida de peso en la elaboración con HPMC. La **figuras 8 y 9** muestran la evolución de la pérdida de peso para los bizcochos elaborados con harina de teff blanca y marrón.

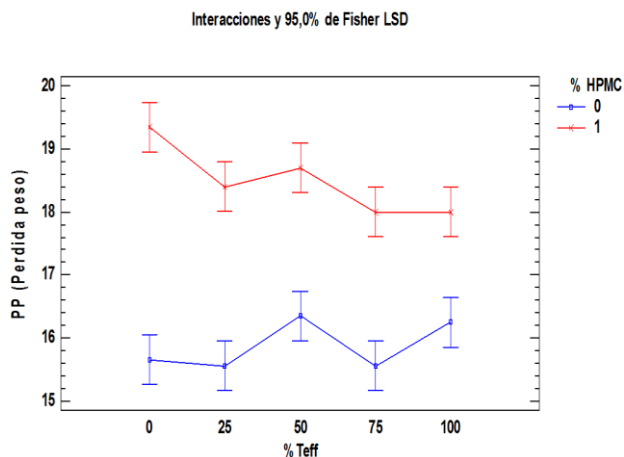


Fig. 8 Efecto de la dosis de harina de teff blanco y de la presencia de HPMC sobre la pérdida de peso durante el horneado de los bizcochos

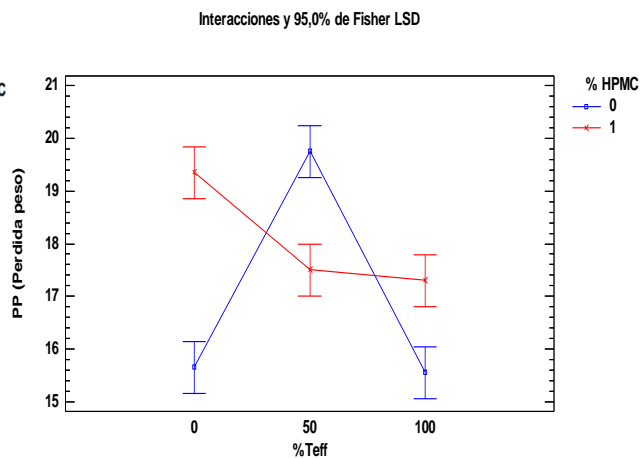


Fig. 9 Efecto de la dosis de harina de teff marrón y de la presencia de HPMC sobre la pérdida de peso durante el horneado de los bizcochos

Trabajos anteriores (Gómez et al, 2007) demostraron que el HPMC en dosis del 1 % aumentaba la pérdida de peso durante el horneado de bizcochos de trigo. Este comportamiento es en realidad un comportamiento anómalo si lo comparamos con la actuación habitual de los hidrocoloides, que normalmente ayudan a disminuir las pérdidas de agua durante el horneado, debido a su gran capacidad de ligar agua, asociada a la gran cantidad de grupos hidroxilo en su composición molecular (Gómez et al. 2007). El efecto del HPMC sobre el aumento de la pérdida de peso fue mayor para la harina de trigo 100% que para los bizcochos elaborados con harina de teff.

4.1.2. Textura

La variación en los parámetros texturales debida al porcentaje de teff, blanco y marrón, añadido en la fórmula y a la presencia de HPMC, se muestran en las **tablas 4 y 5** (ANEXO I).

Harina de teff blanca

Se observó que los bizcochos que no llevaban HPMC eran más duros que los que sí lo llevaban, aunque solo se alcanzaron diferencias significativas en las elaboraciones con el 25 y con el 100% de teff blanco (**Fig. 10**). En cuanto a la presencia y porcentaje de teff, no parece que tengan influencia sobre la dureza.

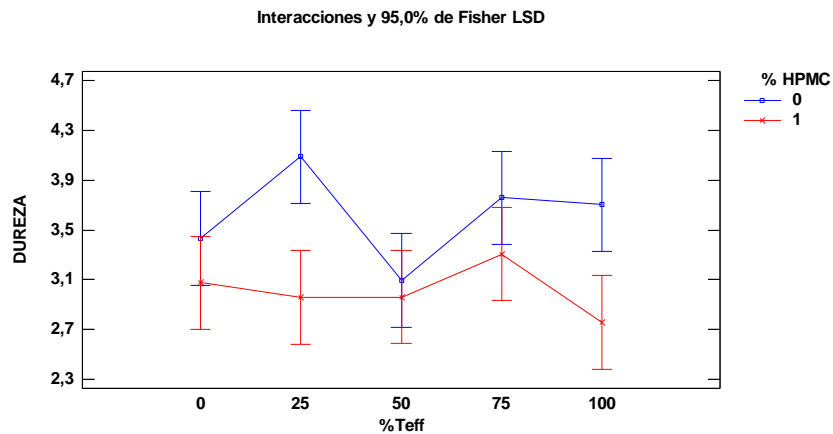


Fig. 10 Efecto de la dosis de harina de teff blanco y de la presencia de HPMC sobre la dureza de los bizcochos

En la elasticidad no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes formulaciones. Por lo tanto, ni el teff, ni el HPMC, como se concluyó en otros ensayos realizados con bizcochos Gómez et al. (2007), parecieron tener influencia sobre este parámetro.

Dónde si se apreciaron diferencias significativas con la presencia de teff, es en la cohesividad y resiliencia, ya que ambas disminuyeron según aumentaba el porcentaje de harina de la variedad blanca, siendo menores estos valores en el caso del 100% teff blanco. Lo que significa que un aumento de la cantidad de teff afectó a la estructura interna de los bizcochos haciendo que presentaran menor resistencia.

Harina de teff marrón

En el caso de las elaboraciones con harina de teff marrón, se observó que el porcentaje de teff tuvo efecto significativo sobre la dureza ($p < 0,001$) y que el bizcocho elaborado con un 100% de teff marrón era más duro significativamente que el de trigo (**Fig. 11**). Por otro lado, se apreciaron diferencias significativas en cuanto a la cohesividad entre los bizcochos con y sin teff siendo mayor en los que no poseían teff y disminuyendo según aumentaba el porcentaje de este, al igual que ocurrió en la variedad blanca. Dentro de los bizcochos que llevaban teff el HPMC hizo que la cohesividad aumentara. Estos resultados, en los que dureza y cohesividad aumentan según se produce el incremento del porcentaje de teff, coinciden con los de De la Hera et al. (2012) en los que se utilizó harina de lentejas para elaborar bizcochos. También Gómez et al. (2008) observaron que el incremento de la dosis de harina de garbanzo en bizcochos producía un incremento en su dureza. Esto hace pensar que el teff marrón podría tener un comportamiento similar a las harinas de legumbres.

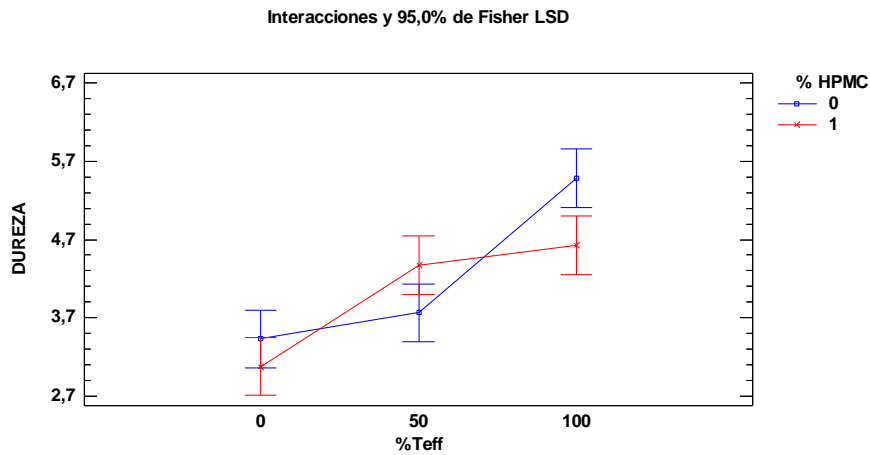


Fig. 11 Efecto de la dosis de harina de teff marrón y de la presencia de HPMC sobre la dureza de los bizcochos

Gomosidad y masticabilidad no presentaron diferencias significativas entre elaboraciones. La resiliencia disminuyó con el incremento de teff marrón en la fórmula, no existiendo diferencias significativas entre aquellas fórmulas con y sin HPMC, dentro de las que llevan teff marrón.

Si comparamos el efecto del tipo de harina de teff sobre la dureza de los bizcochos, mediante un ANOVA factorial aplicado a las elaboraciones con 0, 50 y 100% de harina de teff, podemos concluir que el tipo de harina de teff sí tuvo un efecto significativo sobre la dureza, resultando los bizcochos elaborados con la harina de teff marrón, en promedio, un 30% más duros que los elaborados con harina de teff blanca (ver **Fig.12**)

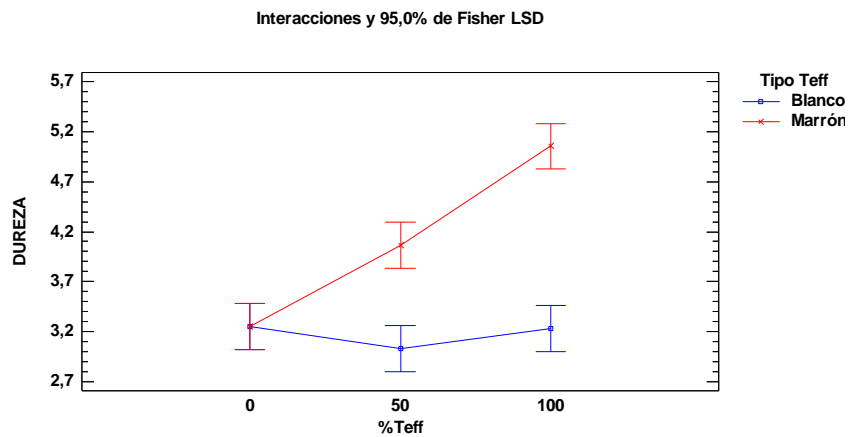


Fig. 12 Efecto del tipo y dosis de teff sobre la dureza de los bizcochos

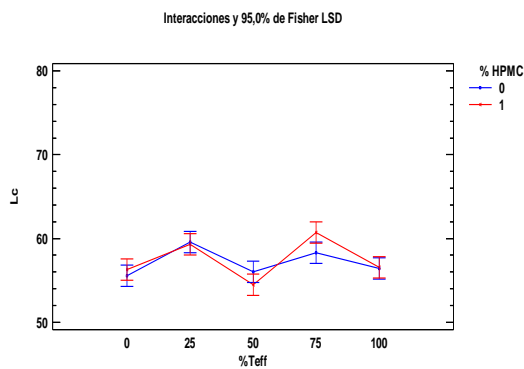
4.1.3. Color

Los resultados de los ensayos de color se muestran en las **tablas 6 y 7** (ANEXO I).

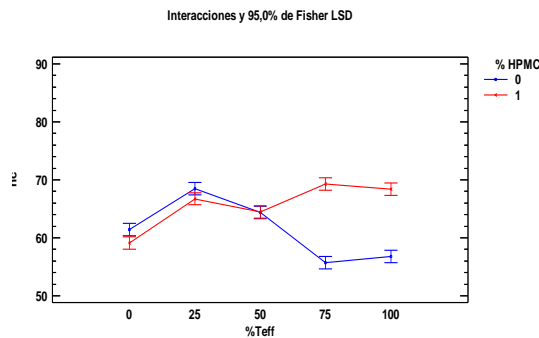
Harina de teff blanca

En los bizcochos elaborados con la variedad blanca de teff, no se observaron diferencias importantes en la luminosidad (L^*) de la corteza ni por efecto de la dosis de teff ni de la presencia de HPMC (ver **Fig. 13a**). Sí se observó que la luminosidad de la miga disminuía con la dosis de teff, indicando que era más oscura según aumentaba el porcentaje de teff en la fórmula (ver **Fig. 14a**). Así, los bizcochos elaborados con 100% de harina de teff blanca tuvieron una luminosidad de miga un 33% menor que los de 100% trigo.

a)



b)



c)

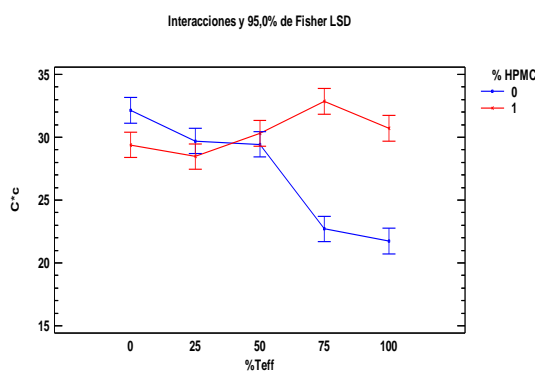
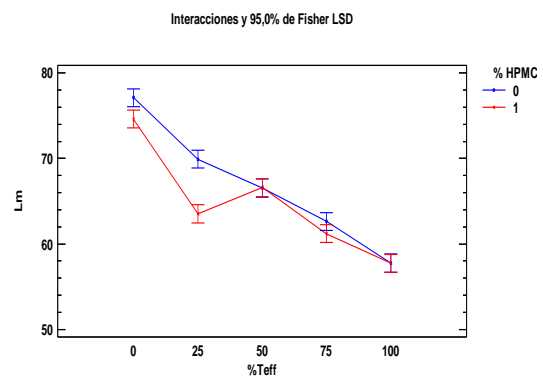
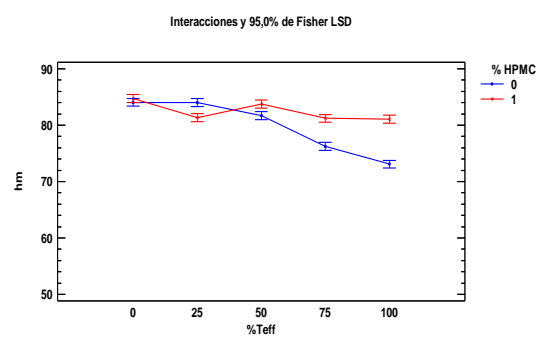


Fig. 13 Efecto de la dosis de harina de teff blanco y de la presencia de HPMC sobre la Luminosidad (a) el tono (b) y la saturación (c) de la corteza

a)



b)



c)

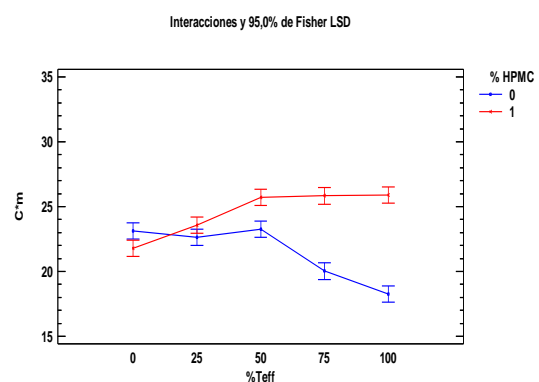


Fig. 14 Efecto de la dosis de harina de teff blanco y de la presencia de HPMC sobre la Luminosidad (a) el tono (b) y la saturación (c) de la miga

La adición de harina de teff, en particular en las dosis más elevadas, del 75% y 100%, condujo a reducciones de la saturación tanto de la corteza como de la miga de los bizcochos, como puede verse en las **Figuras 13c** y **14c**. Esto significa que el color de los bizcochos con teff resultó menos vivo que el de los bizcochos de 100% trigo o con bajas proporciones de teff. En la saturación, tanto en la corteza como en la miga, se apreciaron diferencias significativas entre los bizcochos que poseían HPMC y los que no lo llevaban, en aquellas elaboraciones que poseían un porcentaje igual o superior al 75% de teff. Los bizcochos elaborados con un 75 y 100% de teff y sin HPMC tuvieron saturaciones significativamente menores que el resto de las elaboraciones. El HPMC parece que compensó la disminución de saturación que el teff llevó consigo, tanto en la corteza como en la miga.

El tono (*h*), de la corteza (ver **Figura 13b**) estuvo entre tonos rojizo y amarillento, más cercanos al rojo y no presentó diferencias importantes para dosis bajas de harina de teff, al igual que ocurrió con el tono de la miga. Los tonos de la miga (**Figura 14b**), que fueron más elevados que en la corteza, y tendieron más al amarillo, mostraron un descenso significativo al aumentar la dosis de teff hasta el 75 y 100%, siendo más rojizos que los de trigo o que los de porcentajes bajos de este cereal. Al igual que se ha comentado para la saturación, también en el caso del tono se comprobó un efecto significativo del HPMC. El HPMC pareció compensar la disminución del tono de la corteza y de la miga de los bizcochos con elevadas dosis de teff, llevándolos de nuevo hacia tonos más amarillos, similares a los de los bizcochos de trigo.

Harina de teff marrón

En los bizcochos elaborados con la variedad marrón, se observó que el incremento del porcentaje de teff disminuía de forma significativa la luminosidad (L^*) de la corteza, haciendo que fuese más oscura (ver **Figura 15a**). Esto es lógico debido a que la harina de teff de la variedad marrón se caracteriza por tener un color bastante más oscuro que la harina de trigo. Este hecho también se apreció en la miga (ver **Figura 16a**), donde el cambio de luminosidad asociado al aumento de teff fue notablemente más acusado que en la corteza. Esto era esperable ya que el color de la miga se ve fundamentalmente afectado por el color de los ingredientes mientras que el color de la corteza viene muy influido por la extensión de la reacción de Maillard que depende fundamentalmente de la temperatura y tiempo de horneado (Ronda et al., 2005) que en todos los casos se mantuvo constante. El HPMC tuvo efecto significativo sobre la luminosidad de la miga. Hizo que las elaboraciones con mayor porcentaje de teff, 50 y 100%, fuesen más claras que las que no lo llevaban.

Los bizcochos presentaron diferencias significativas en la saturación (C^*) de la corteza en función de la dosis de teff (**Figura 15c**). La saturación fue menor en los bizcochos elaborados con 50% ó 100% de teff que en los bizcochos elaborados a base de 100% trigo. En la miga (**Figura 16c**) estas diferencias con los de trigo también fueron significativas. En el caso de la

miga, la saturación también se vio afectada por la presencia de HPMC que hizo que, en todos los casos, la miga con HPMC resultase menos saturada (colores menos vivos). Con independencia de ello, la saturación de la miga presentó siempre valores más bajos que en la corteza.

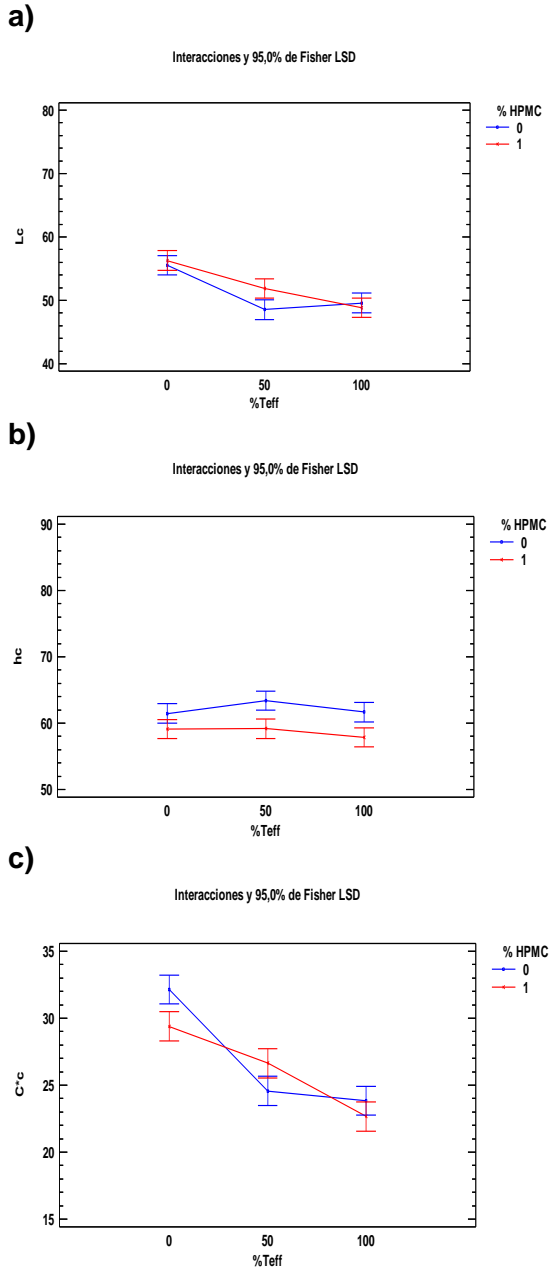


Fig. 15 Efecto de la dosis de harina de teff marrón y de la presencia de HPMC sobre la Luminosidad (a) el tono (b) y la saturación (c) de la corteza

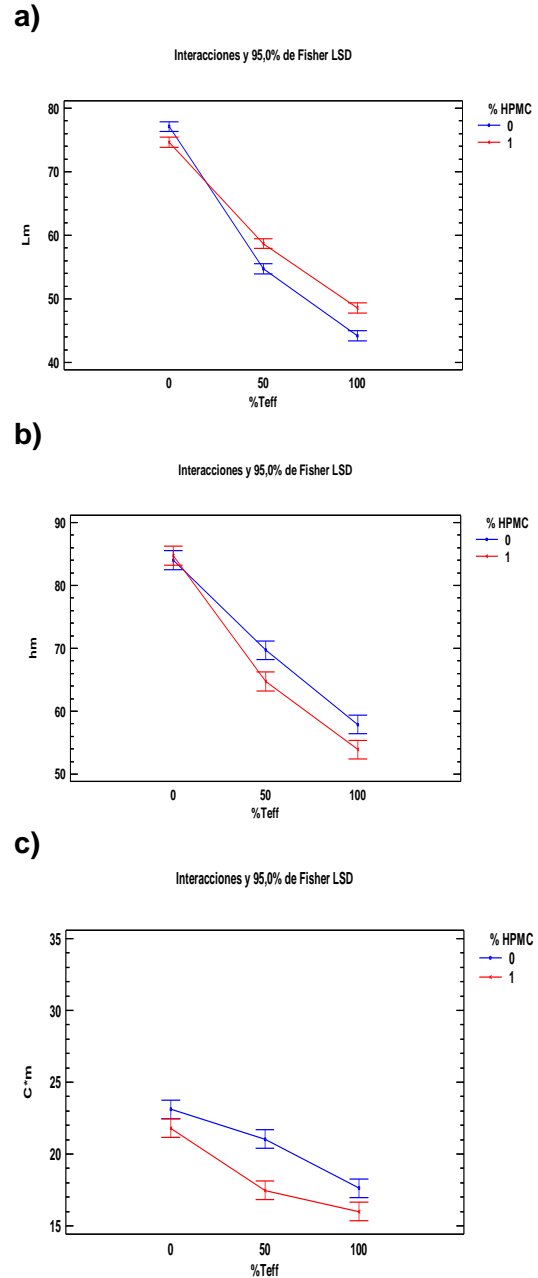


Fig. 16 Efecto de la dosis de harina de teff marrón y de la presencia de HPMC sobre la Luminosidad (a) el tono (b) y la saturación (c) de la miga

Al igual que en la variedad de teff blanca, la corteza de los bizcochos realizados con teff marrón presentó tonos que se encontraron entre el amarillo y el rojo, tendiendo más hacia el rojo (con un valor promedio de 60°), pero además, en el caso de esta variedad, la corteza presentó diferencias significativas entre aquellas elaboraciones que poseían HPMC y las que

no lo llevaban, haciendo, este hidrocólido, que la corteza fuese más hacia tonos rojizos. Lo mismo ocurrió con la miga y la presencia de hidrocólido, pero además en el caso de la miga se evidencia que la presencia y el incremento del porcentaje de teff influyeron de manera muy acusada en el tono, haciendo que fuese aún más rojizo. El teff produjo una reducción en el tono del bizcocho de aproximadamente 28°.

Si comparamos el efecto del tipo de harina de teff sobre el color de los bizcochos, mediante un ANOVA factorial aplicado a las elaboraciones con 0, 50 y 100% de harina de teff, podemos concluir que el tipo de harina de teff sí tuvo un efecto significativo sobre el color de los bizcochos. Los bizcochos elaborados con la harina de teff marrón resultaron en promedio con una miga de menor luminosidad (12 % menor), menor tono (18% menor) y menor saturación (18% menor) que los elaborados con harina blanca. El color de la corteza también presentó la misma tendencia, aunque en este caso las diferencias fueron más suaves. La luminosidad de la corteza bajó un 8%, la saturación un 9% y el tono solamente un 3%

4.2. Vida útil

La variación en los parámetros texturales al cuarto día de envejecimiento respecto a los valores de los bizcochos frescos se muestran en las **tablas 8 y 9** (ANEXO I).

Harina de teff blanca

No se observaron diferencias significativas en el incremento de la dureza del día 0 al 4 en las diferentes elaboraciones de teff blanco con respecto a la de trigo, lo que no coincide con otros ensayos realizados con panes, en los que se sustituyó harina de trigo por 0%, 10%, 20% y 30% de harina de teff blanca y se observó que este endurecimiento incrementaba frente al control, durante 8 días de almacenamiento (Alaunyte et al., 2012).

Al igual que vieron Gómez et al. (2007), se observó que el HPMC no tuvo influencia significativa en el endurecimiento de los bizcochos durante el almacenamiento (**Fig.17**).

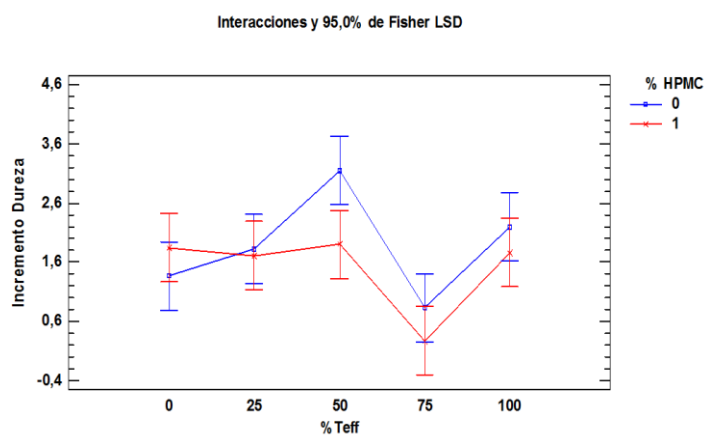


Fig. 17 Efecto de la dosis de teff blanca y la presencia de HPMC en el incremento de dureza de los bizcochos

Cambios más destacables se produjeron en la cohesividad, que disminuyó, a los 4 días de envejecimiento, de manera significativa ($p < 0,001$) con el porcentaje de teff. La presencia de HPMC sin embargo, no produjo efecto significativo sobre la cohesividad de los bizcochos.

Harina de teff marrón

A diferencia del teff blanco, en la variedad marrón el porcentaje de teff tuvo efecto significativo ($p < 0,001$) en el incremento de dureza de los bizcochos a los 4 días.

De la misma manera que ocurrió en el caso de la variedad blanca, la dosis de teff, redujo la cohesividad de forma significativa frente a los bizcochos de trigo 100%, a los 4 días de envejecimiento.

El HPMC no presentó efecto significativo sobre ninguno de los parámetros estudiados para la vida útil excepto para la elasticidad, donde su presencia pareció aumentar la elasticidad en los bizcochos que poseían teff, igualando esta variación a la de los bizcochos de trigo (**Fig.18**).

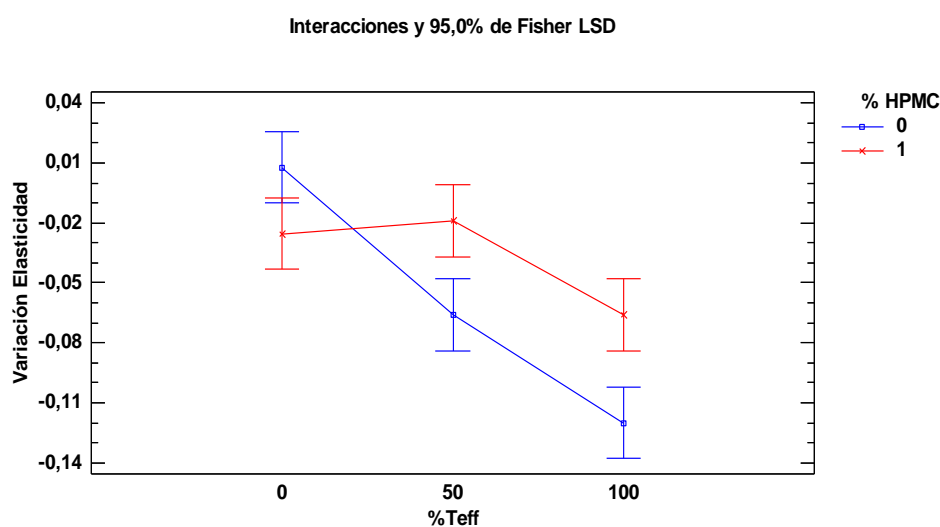


Fig. 18 Efecto de la dosis de teff marrón y la presencia de HPMC sobre la variación de la elasticidad tras 4 días de almacenamiento de los bizcochos

Si comparamos el efecto del tipo de harina de teff sobre la variación de la dureza de los bizcochos, mediante un ANOVA factorial aplicado a las elaboraciones con 0, 50 y 100% de harina de teff, podemos concluir que el tipo de harina de teff sí tuvo un efecto significativo sobre esta variación ($p < 0,05$). Se observó que los bizcochos elaborados con la harina blanca de teff endurecían más que los de harina marrón, que en origen eran más duros (**Fig.19**).

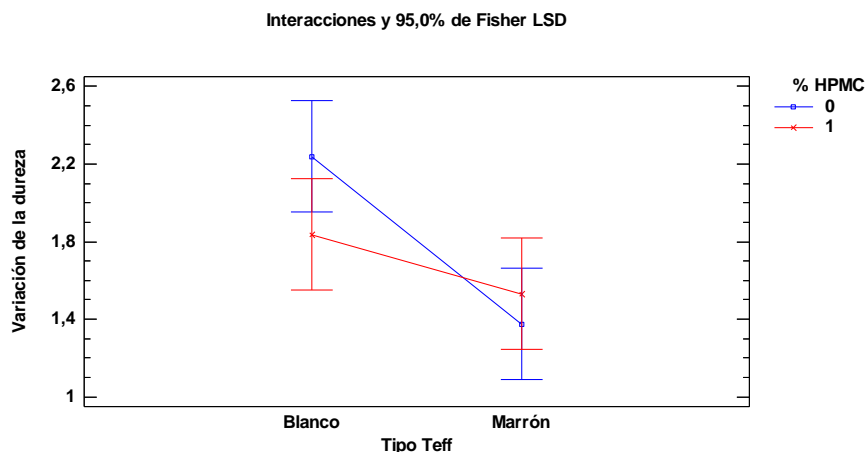


Fig. 19 Efecto del tipo de teff y la presencia de HPMC en la variación de la dureza de los bizcochos tras 4 días de almacenamiento

4.3. Alveolado

Los resultados obtenidos tras el análisis de imagen de ambas harinas de teff se muestran en las **tablas 10 y 11** (ANEXO I).

Harina de teff blanca

Los resultados mostraron que tanto la presencia de HPMC como la dosis de harina de teff blanca tuvieron efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el porcentaje vacío. El HPMC produjo un mayor porcentaje de huecos, es decir de alveolos, lo que supone una mayor retención de gas. Los bizcochos con HPMC, presentaron en promedio, aproximadamente un 29% más de porcentaje vacío que los que no lo llevaban. También se observó que la presencia de teff, comparado con los bizcochos de trigo, hacía que esta diferencia en el porcentaje vacío fuera menor entre los bizcochos con y sin HPMC (**Fig.20a**), lo que significa que la presencia de teff supone una menor retención de gas, esto concuerda con bizcochos que presentan volúmenes inferiores.

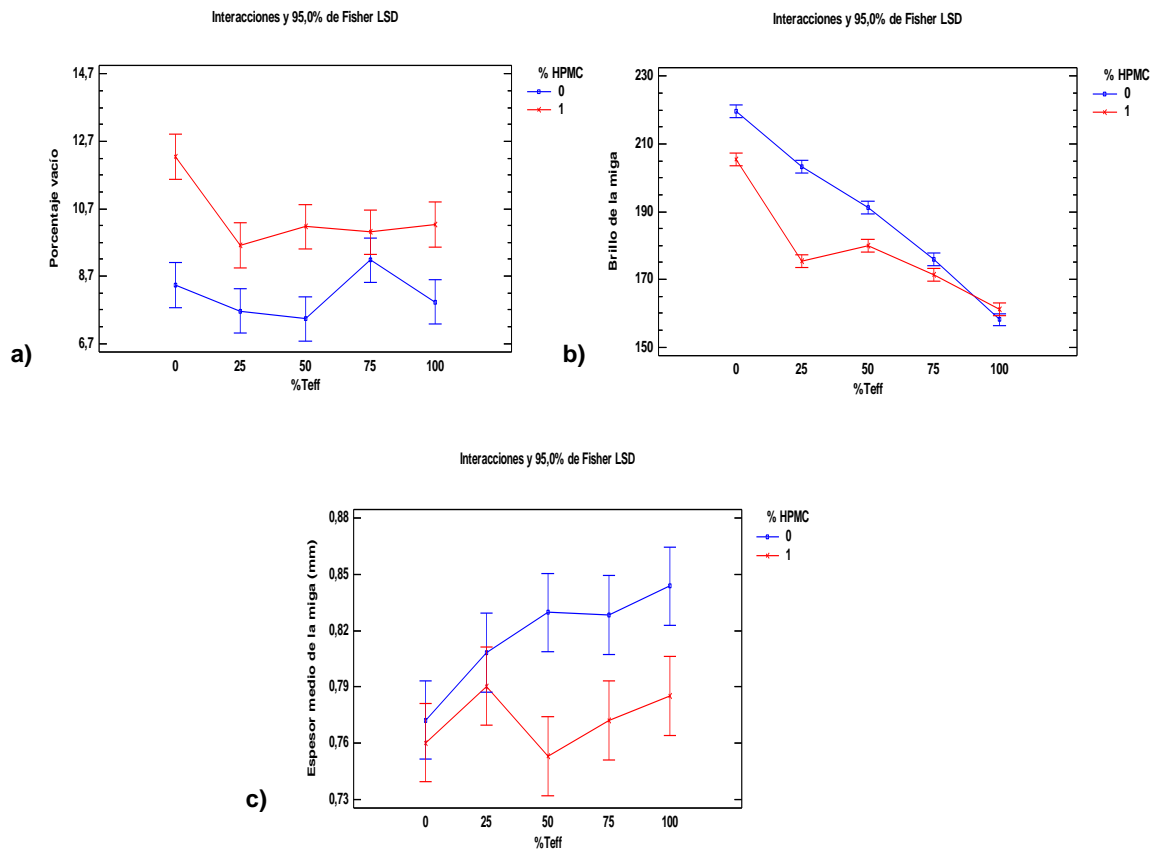


Fig. 20 Efecto de la dosis de teff y la presencia de HPMC sobre el porcentaje vacío (a), el brillo de la miga (b) y el espesor de la pared (c) de los bizcochos elaborados con harina de teff blanca

El brillo de la miga en los bizcochos tiende hacia el blanco (0 sería negro y el valor 255 sería blanco) y disminuye según se aumenta el porcentaje de harina de teff. Estos resultados son esperables para la harina de teff ya que es una harina integral y las partículas de salvado podrían ser las que produjeran migas más oscuras (Alaunyte et al., 2012). También el HPMC tuvo efecto significativo ($p > 0,001$) sobre el brillo de los bizcochos, resultando, en promedio, bizcochos con un 6% menos de brillo (**Fig.20b**).

Sobre el espesor de la pared de los alveolos, tanto la dosis de teff como la presencia de HPMC ejercieron efecto significativo ($p < 0,05$). El porcentaje de teff aumentó el espesor de los alveolos. Sin embargo, la presencia de HPMC en los bizcochos con teff, hizo que el espesor fuera muy similar al de los bizcochos 100% trigo (**Fig.20c**), lo que hace pensar que el HPMC podría compensar ese aumento del espesor provocado por el teff.

El área media de los alveolos no presentó diferencias significativas entre elaboraciones.

En cuanto a la cantidad de alveolos de diferentes tamaños que se formaron en estos bizcochos, no se observaron diferencias significativas en cuanto a los porcentajes, presentando todos ellos alveolos pequeños, mayoritariamente de menos de 1mm.

Finalmente, la densidad alveolar, referida al número de alveolos por cm^2 , no se vio afectada por la presencia de teff, aunque sí presentó cierta tendencia, no significativa en todos los casos, a aumentar en presencia de dicho cereal y HPMC.

Harina de teff marrón

En el caso del teff marrón, al igual que los bizcochos elaborados con la variedad blanca, tanto la presencia de HPMC como la dosis de teff tuvieron efecto significativo ($p > 0,05$) sobre el porcentaje de huecos. En este caso, al contrario que en la blanca, el aumento de la dosis hizo que aumentara el porcentaje vacío en un promedio del 59% entre los bizcochos elaborados solo con trigo y los elaborados solo con teff marrón (**Fig.21a**).

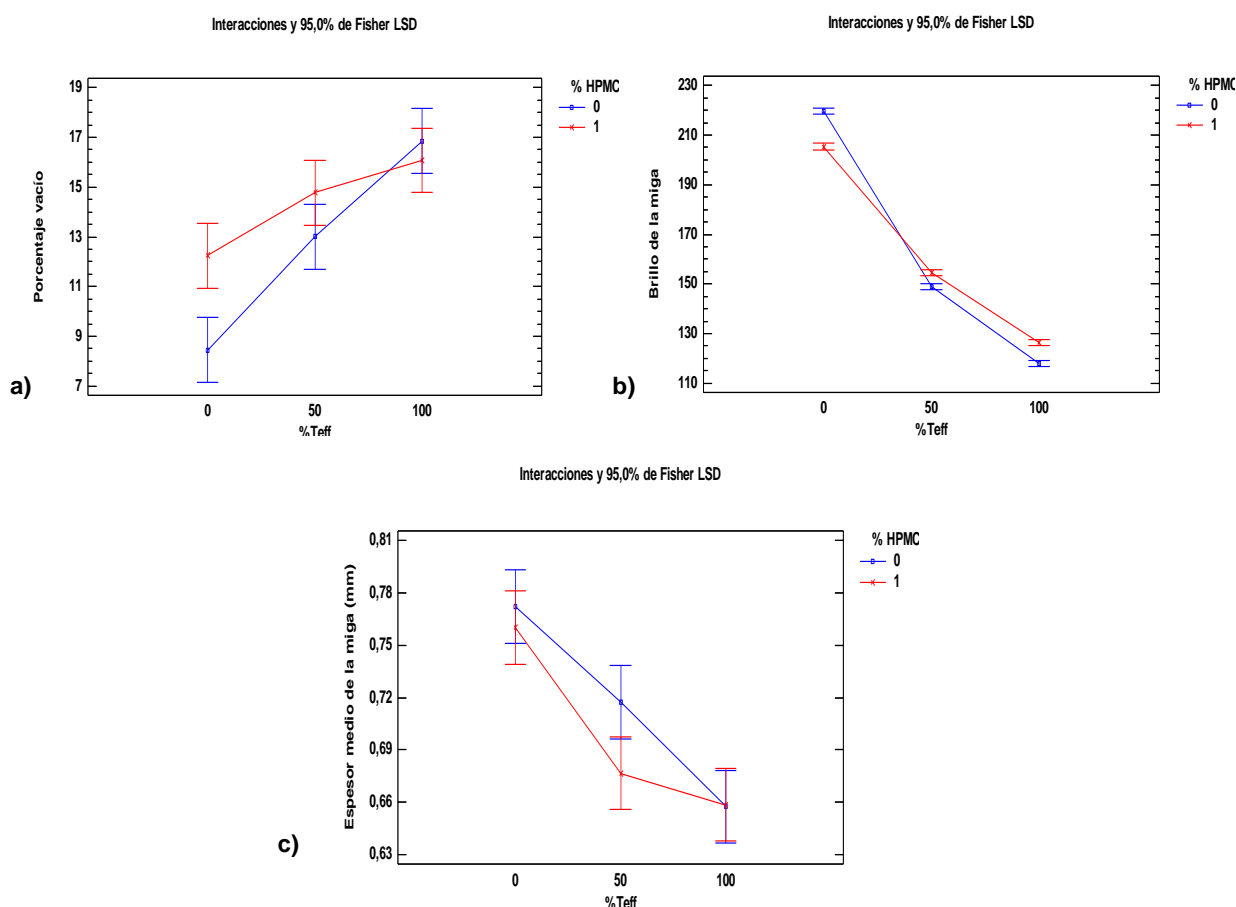


Fig. 21 Efecto de la dosis de teff y la presencia de HPMC sobre el porcentaje vacío (a), el brillo de la miga (b) y el espesor de la pared (c) de los bizcochos elaborados con harina de teff marrón

En cuanto al brillo de la miga, sólo la dosis de teff tuvo efecto significativo ($p < 0,001$). El incremento de la proporción de teff utilizado redujo este parámetro, tendiendo más hacia el “negro” (**Fig.21b**).

La variedad de harina de teff marrón afectó al espesor de la pared de los alveolos de forma diferente a la blanca, ya que el incremento del porcentaje de esta harina marrón supuso una

disminución del espesor en un 14% entre los bizcochos elaborados solo con trigo y los bizcochos 100% teff (**Fig.21c**).

El área media de los alveolos no presentó diferencias significativas entre las elaboraciones que incorporaban teff marrón, pero si se apreció una diferencia significativa entre estas y la elaboración realizada con un 100% de trigo y sin HPMC, que poseía un área media menor.

El tamaño de los alveolos en los bizcochos de la variedad marrón, tampoco presentó grandes diferencias entre elaboraciones, aunque sí se puede destacar que poseían un mayor número de alveolos de tamaño grande (2-25mm) que la variedad blanca.

En la densidad alveolar, en este caso, no se apreciaron diferencias significativas entre elaboraciones.

Comparando el efecto del tipo de harina de teff sobre el porcentaje de vacío de los bizcochos, mediante un ANOVA factorial aplicado a las elaboraciones con 0, 50 y 100% de harina de teff, podemos concluir que el tipo de harina de teff sí tuvo un efecto significativo sobre este parámetro observándose un porcentaje de alveolado de los bizcochos marrones un 44% mayor que el de los blancos (**Fig.22a**). De la misma forma se comparó el efecto del tipo de harina de teff sobre el espesor de la pared de los alveolos, obteniéndose también efecto significativo. En este caso, fue el teff blanco el que obtuvo un espesor de miga un 12% mayor que el teff marrón (**Fig.22b**).

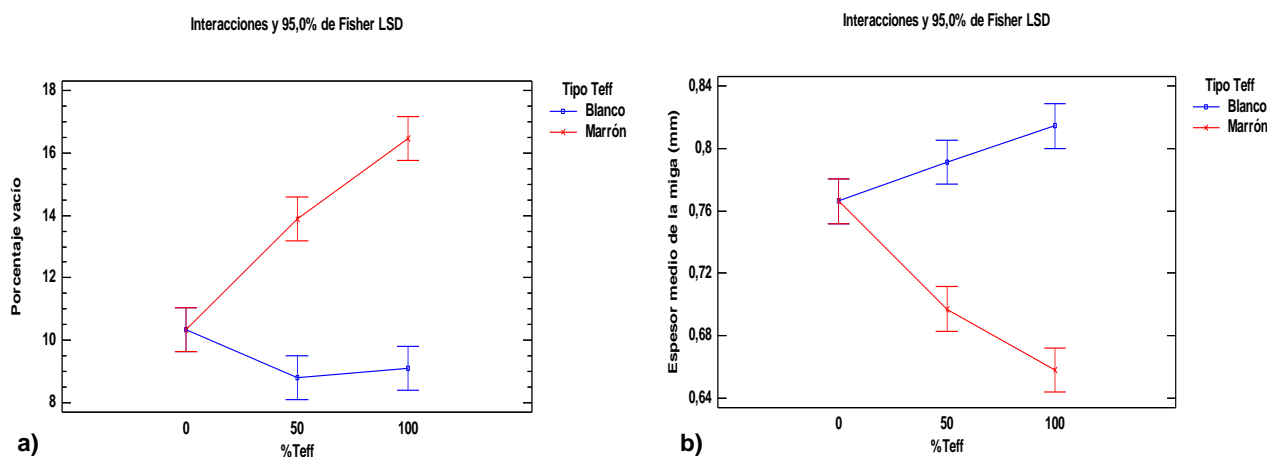


Fig. 22 Efecto del tipo y la dosis de teff sobre el porcentaje vacío (a) y el espesor de la miga (b) de los bizcochos

4.4. Propiedades de las masas batidas

Estas propiedades, solo fueron evaluadas en la variedad blanca de harina de teff.

Densidad

La dosis de teff utilizada no tuvo efecto significativo sobre la densidad de la masa batida. La presencia de HPMC si tuvo efecto significativo ($p < 0,001$) sobre dicho parámetro, aumentando en promedio un 11% la densidad de las masas. Lo que indica que las masas con HPMC tienen menos aire. Esto puede deberse a la mayor viscosidad de las masas con HPMC que hace que incorporen menos aire durante la fase de batido (Gomez et al., 2007).

Tabla 12 Densidad de las masas batidas

Teff (%)	HPMC (%)	Densidad (g/mL)	Error estándar
0	0	0,869 ^{ab}	0,032
	1	1,005 ^d	0,032
25	0	0,885 ^{abc}	0,032
	1	0,969 ^{cd}	0,032
50	0	0,798 ^a	0,032
	1	0,944 ^{bcd}	0,032
75	0	0,838 ^a	0,032
	1	0,888 ^{abc}	0,032
100	0	0,840 ^a	0,032
	1	0,884 ^{abc}	0,032

La variabilidad de los resultados obtenidos (ver **tabla 12**) según la dosis de teff, pudo deberse a la falta de homogeneidad en la harina de teff blanco, poseía pequeñas semillas sin moler, lo que pudo hacer que, según la cantidad de semillas cayeran en la porción de la masa a medir, la densidad del batido fuera mayor o menor.

Ensayos oscilatorios de barrido de frecuencias

La **Tabla 13** (ANEXO I), resume los coeficientes G'_1 y G''_1 y los exponentes a y b obtenidos mediante el ajuste de las curvas G' y G'' a una ecuación potencial. Los altos valores de r^2 ($> 0,99$) demuestran el buen ajuste de los sistemas estudiados al modelo de la Ley de la Potencia.

Para todas las masas estudiadas, el módulo viscoso (G''_1) presentó valores más altos que el módulo elástico (G'_1), lo que supone valores de $\tan \delta_1$ mayores que 1. Esto significa, que el carácter de las masas batidas de bizcocho, que siguen esta fórmula, es más parecido a líquido que a sólido. Además, este valor de la tangente, fue significativamente mayor en las masas que no poseían HPMC (**Fig.23**), lo que significa que la adición de HPMC a este tipo de batidos aumentó tanto el módulo elástico como el viscoso, pero este último en menor medida, lo que supone que esta adición produjo masas con un carácter menos parecido a líquido.

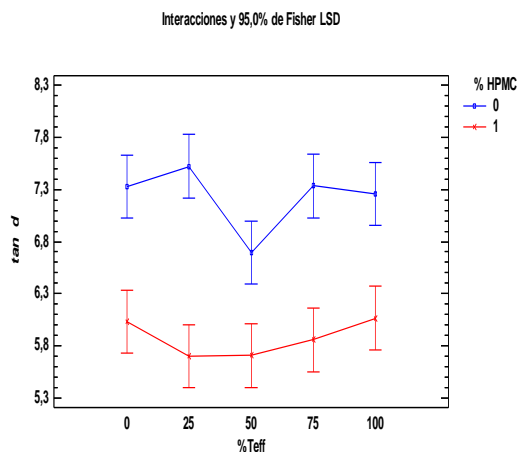


Fig. 23 Efecto de la dosis y la presencia de HPMC sobre la $\tan \delta_1$

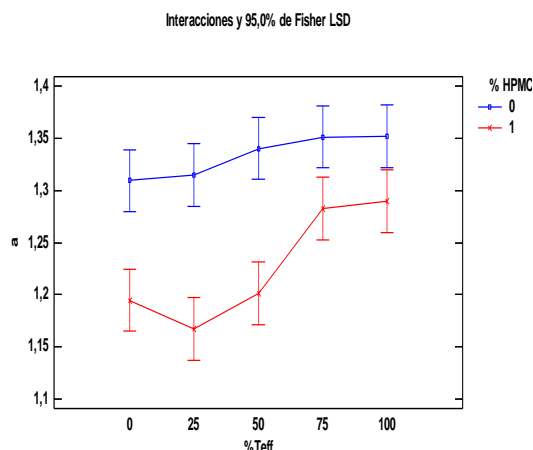


Fig. 24 Efecto de la dosis y la presencia de HPMC sobre el exponente a

Por otro lado, la presencia de HPMC hizo que el exponente a fuera significativamente menor, lo que supuso una menor dependencia de G'_1 de la frecuencia, es decir, que la masa poseía una estructura más estable (**Fig.24**). El exponente b no presentó diferencias significativas para ninguna de las masas batidas.

Ensayos de flujo

Los datos experimentales proporcionaron un buen ajuste ($r^2 > 0,99$) al modelo de Ostwald de Waele (**Tabla 14**, ANEXO I). Todos los batidos presentaron un índice de flujo $n < 1$, lo que indica que tuvieron un comportamiento reológico no newtoniano, de fluido pseudoplástico. Además, como se puede comprobar en la **Fig.**

25, su comportamiento dependió mucho del tiempo, lo que responde a un comportamiento tixotrópico,

observándose que su viscosidad disminuyó con el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, apareciendo un fenómeno de histéresis entre las curvas ascendente y descendente. Se observó una gran variación de la histéresis entre repeticiones. Esta variación, podría deberse a la elevada proporción de huevo que poseen las masas, ya que este huevo proporciona volumen durante el batido de la masa, mediante la incorporación de aire, y este se va

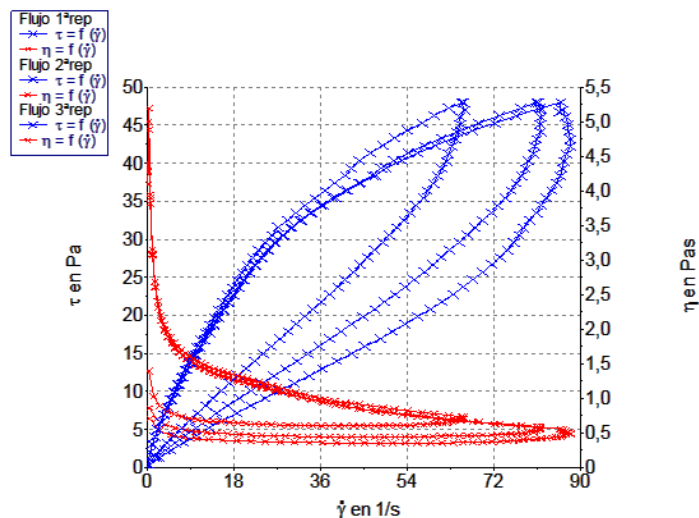


Fig. 25 Ejemplo de ensayo de flujo en masa batida de teff blanco. En esta gráfica se observa el comportamiento tixotrópico y la variación con el tiempo de reposo entre repeticiones, de la masa 100% teff blanco sin HPMC

perdiendo con el tiempo que la masa permanece en reposo entre medidas (**Figura 25** y **Tabla 14**, ANEXO I).

4.5. Evaluación sensorial

Todas las elaboraciones evaluadas sensorialmente obtuvieron una valoración por encima del 2,7 (cercano al punto intermedio, “ni me gusta ni me disgusta”), lo que significa que ninguna de ellas disgustó en gran medida a los catadores.

Las muestras más valoradas, fueron, como era de esperar, las elaboradas con trigo 100%, tanto con HPMC como sin él, seguidas por las que tenían un 50% de teff tanto blanco como marrón. Finalmente, las menos apreciadas fueron las elaboradas con un 100% de teff, también de ambas variedades, no presentando diferencias significativas entre ellas. Tampoco parece que la presencia de HPMC influyera en el grado de satisfacción, ya que no se apreciaron diferencias significativas entre las elaboraciones iguales con y sin HPMC, que obtuvieron resultados muy similares (**Tabla 15**).

Tabla 15 Resultados del grado de satisfacción de los bizcochos

Tipo de Teff	Teff (%)	HPMC (%)	Grado de satisfacción	Error estándar
----	0	0	4,27 ^d	0,11
		1	4,10 ^d	0,11
Blanco	50	0	3,80 ^c	0,11
		1	3,64 ^{bc}	0,11
	100	0	2,88 ^a	0,11
		1	2,73 ^a	0,11
Marrón	50	0	3,61 ^{bc}	0,11
		1	3,50 ^b	0,11
	100	0	2,94 ^a	0,11
		1	2,70 ^a	0,11

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Si se compara el efecto del tipo de teff sobre el grado de satisfacción, a través de un ANOVA factorial, se puede concluir que el tipo de teff no tuvo efecto significativo sobre el grado de satisfacción. Sin embargo, tanto la dosis de teff como la presencia de HPMC si que tuvieron efecto significativo sobre el grado de satisfacción. El aumento de la dosis de teff redujo su grado de satisfacción en un promedio del 33% entre aquellos bizcochos elaborados con trigo y los de 100% de harina de teff de ambas variedades (**Fig.26**).

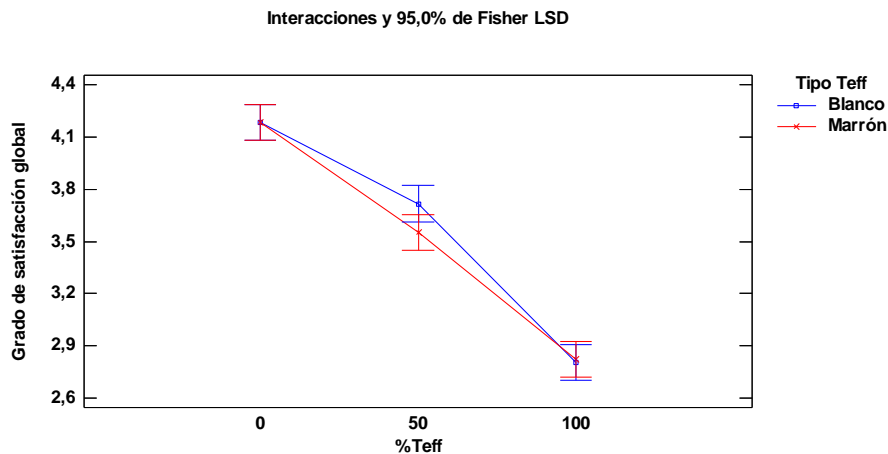


Fig. 26 Efecto del porcentaje y el tipo de teff sobre el grado de satisfacción de los bizcochos

En cuanto a los atributos que influyeron positiva y negativamente, en los de trigo 100%, tanto apariencia como color, olor, sabor y textura influyeron positivamente, siendo la apariencia el atributo mejor valorado en ellos con un 96% de positivos. El bizcocho del 50% teff blanco se valoró de forma positiva en unos porcentajes del 50-70% en todos los atributos, excepto en la textura que parece ser el atributo peor valorado con un 56% de valoraciones positivas y aproximadamente un 30% de valoraciones negativas. En el caso del 50% marrón, la textura es el atributo que recibe mayor porcentaje de valoraciones positivas (en torno a un 60-65%), siendo el color seguido de la apariencia, los que son apreciados más negativamente (30-40%). Los bizcochos elaborados con un 100% de harina de teff, tanto blanca como marrón, recibieron un menor porcentaje de valoraciones positivas de los atributos, siendo los mejor valorados, el color y sabor del blanco (con aproximadamente un 50% de valoraciones positivas) y los peor valorados el sabor y textura de la variedad marrón, con aproximadamente un 50-60% de valoraciones negativas. Esto supone, como era de esperar, que se valoran positivamente aquellos atributos que hacen recordar a los bizcochos clásicos, a los que la población de estas características está más acostumbrada y que se corresponden con los bizcochos elaborados con el 100% de trigo. Sin embargo, la medida del grado de satisfacción, nos hace pensar que este tipo de productos elaborados con un cereal desconocido para nuestra cultura, no tendrían mala aceptación siempre y cuando no se comercialicen o publiquen como bizcochos clásicos.

5. Conclusiones

La sustitución de la harina de trigo, por harina de teff tanto marrón como blanca, en bizcochos puede ser una buena alternativa debido a sus propiedades nutricionales. Si bien esta sustitución en porcentajes elevados, produce un incremento de la dureza con respecto a los bizcochos tradicionales a base de trigo y unos colores más rojizos, oscuros y menos luminosos, las valoraciones sensoriales de ambas variedades superaron las expectativas,

situándose en grados de aceptación cercanos al punto medio. Es claro, que dosis más bajas son las mejor aceptadas en cuanto a que estas son más similares a los bizcochos de trigo.

En cuanto a la inclusión de HPMC en la fórmula, aunque tiene efectos positivos sobre los bizcochos con teff, en los que aumenta su volumen, estas diferencias no fueron apreciadas por los consumidores y por lo tanto, su incorporación en la fórmula aunque interesante, no se considera recomendable, ya que encarecería un producto que, alejado de la consideración de bizcocho tradicional, podría comercializarse con un menor volumen y ser igualmente aceptado.

6. Bibliografía

AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 10-91.01. Use of Layer Cake Measuring Template. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A.
<http://dx.doi.org/10.1094/AACCIntMethod-10-91.01>

Abebe, Y., Bogale, A., Hambidge, K. M., Stoecker, B. J., Bailey, K., y Gibson, R. S. (2007). Phytate, zinc, iron and calcium content of selected raw and prepared foods consumed in rural Sidama, Southern Ethiopia, and implications for bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4), 161-168

Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P., y Derbyshire, E. (2012). Improving the quality of nutrient-rich teff (*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking. *Journal of Cereal Science* 55(1), 22-30.

Arguedas, P. (2008). *TEFF. Survey on the nutritional and health aspects of Teff (Eragrostis tef)*. Memorias, Red-Alfa Lagrotech, Comunidad Europea, Cartagena.

Bokhari, F., Derbyshire, E., Li, W., Brennan, C. S., y Stojceska, V. (2012). A study to establish whether food-based approaches can improve serum iron levels in child-bearing aged women. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 25(1), 95-100

Bultosa, G. y Taylor, J.R.N. (2004). Teff. En C. Wrigley, H. Corke y C.H. Walker (Eds.), *Encyclopedia of Grain Science* (pp.281-290). Oxford: Elsevier Academic Press

Callejo, M.J. y Tesfaye, W. (2010). *Galleta funcional a partir de harina de teff para celíacos y procedimiento para su preparación. ES 2344187 A1*. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas

D'Andrea, A. C. (2008). T'ef (*Eragrostis tef*) in Ancient Agricultural Systems of Highland Ethiopia. *Economic Botany*. 62(4), 547-566.

De la Hera, E., Ruiz-París, E., Oliete, B., y Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT - Food Science and Technology*, 49(1), 48-54

- El-Alfy, T. S., Ezzat, S. M., y Sleem, A. A. (2012). Chemical and biological study of the seeds of *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter. *Natural Product Research*, 26(7), 619-629.
- Ezpeleta, J. I. (2010) *Calidad harino-panadera de la harina de teff (Eragrostis teff (Zucc.) Trotter*. Ponencia presentada en el III Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., y Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1701-1709
- Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., y Rosell, C. M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 167-173
- Hopman, E., Dekking, L., Blokland, M. -, Wuisman, M., Zuijderduin, W., Koning, F. y Schweizer, J. (2008). Tef in the diet of celiac patients in the netherlands. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 43(3), 277-282
- Ketema, S. (1997) Tef. *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter. En *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops* 12. Roma: International Plant Genetic Resources Institute
- Mohammed, M. I. O., Mustafa, A. I., y Osman, G. A. M. (2009). Evaluation of wheat breads supplemented with teff (*eragrostis tef* (zucc.) trotter) grain flour. *Australian Journal of Crop Science*, 3(4), 207-212
- Preichardt, L. D., Vendruscolo, C. T., Gularte, M. A. y Moreira, A. D. S. (2011). The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: Improved bakery products for coeliac patients. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(12), 2591-2597
- Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C. A., y Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549-555.
- Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P. A., y Pando, V. (2011). Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 102(3), 272-277.
- Roosjen, J. (2007). *Procesamiento de harina de teff*. ES 2281011T3. Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Stewart, R. B. y Getachew, A. (1962). Investigations of the nature of injera. *Economic Botany*, 16(2), 127-130
- Temtemie, M. (2007). *Gluten free pasta*. GB 2435195A. London: UK Intellectual Property Office

7. ANEXO I: Tablas de resultados.

Tabla 2. Propiedades morfogeométricas de las elaboraciones a base de teff blanco

Teff (%)	HPMC (%)	Volumen (cm ³)	Factores de forma				Pérdida de peso (g)
			I. Simetría (mm)	I. Volumen (mm)	I. Uniformidad (mm)	Relación alto/ancho	
0	0	463,0 ^{de}	5,7 ^c	140,5 ^d	1,6 ^{abc}	0,510 ^c	15,65 ^{ab}
	1	479,0 ^e	4,6 ^{bc}	159,6 ^e	5,2 ^c	0,668 ^d	19,35 ^d
25	0	416,5 ^b	2,9 ^{abc}	123,4 ^c	0,1 ^a	0,472 ^b	15,55 ^a
	1	449,0 ^{cd}	0,7 ^a	126,4 ^c	1,9 ^{abc}	0,458 ^b	18,40 ^e
50	0	456,0 ^{cd}	2,3 ^{abc}	125,4 ^c	0,8 ^{ab}	0,471 ^b	16,35 ^b
	1	480,5 ^e	3,6 ^{abc}	143,2 ^d	2,9 ^{abc}	0,522 ^c	18,70 ^{cd}
75	0	400,0 ^{ab}	0,2 ^a	111,9 ^b	0,3 ^a	0,465 ^b	15,55 ^a
	1	415,0 ^b	2,2 ^{abc}	109,6 ^b	2,0 ^{abc}	0,415 ^a	18,00 ^c
100	0	390,5 ^a	1,5 ^{ab}	103,7 ^a	0,7 ^{ab}	0,462 ^b	16,25 ^{ab}
	1	437,0 ^c	2,3 ^{abc}	122,5 ^c	4,4 ^{bc}	0,443 ^{ab}	18,00 ^c
Error estándar		6,1	1,2	1,5	1,2	0,011	0,25

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 3. Propiedades morfogeométricas de las elaboraciones a base de teff marrón

Teff (%)	HPMC (%)	Volumen (cm ³)	Factores de forma				Pérdida de peso (g)
			I. Simetría (mm)	I. Volumen (mm)	I. Uniformidad (mm)	Relación alto/ancho	
0	0	463,0 ^d	5,65 ^{ab}	140,5 ^d	1,6 ^a	0,510 ^{bc}	15,65 ^a
	1	479,0 ^e	4,61 ^{ab}	159,6 ^e	5,2 ^a	0,668 ^d	19,35 ^c
50	0	444,0 ^c	9,44 ^b	130,0 ^c	4,8 ^a	0,506 ^{bc}	19,75 ^c
	1	439,5 ^c	4,83 ^{ab}	131,4 ^c	6,0 ^a	0,522 ^c	17,50 ^b
100	0	377,0 ^a	2,31 ^a	105,8 ^a	3,3 ^a	0,448 ^a	15,55 ^a
	1	398,5 ^b	6,22 ^{ab}	118,0 ^b	2,0 ^a	0,471 ^{ab}	17,30 ^b
Error estándar		1,9	2,01	1,8	2,1	0,013	0,28

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 4. Parámetros texturales a día 0 en bizcochos de teff blanco (Ensayo TPA)

Teff (%)	HPMC (%)	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia	Adhesividad
0	0	3,43 ^{abcd}	0,895 ^{bc}	0,6338 ^f	2,17 ^{de}	1,95 ^{cd}	0,3083 ^d	-0,086 ^a
	1	3,08 ^{abc}	0,909 ^c	0,6382 ^f	1,96 ^{bcd}	1,78 ^{bcd}	0,3240 ^d	-0,083 ^a
25	0	4,09 ^d	0,869 ^{abc}	0,5965 ^e	2,44 ^e	2,12 ^d	0,2743 ^{bc}	-0,056 ^a
	1	2,96 ^{ab}	0,881 ^{bc}	0,5560 ^{bc}	1,64 ^{ab}	1,45 ^{ab}	0,2725 ^{bc}	-0,081 ^a
50	0	3,10 ^{abc}	0,864 ^{abc}	0,5731 ^{cd}	1,77 ^{bcd}	1,53 ^b	0,2674 ^{bc}	-0,081 ^a
	1	2,96 ^{ab}	0,882 ^{bc}	0,5862 ^{de}	1,74 ^{bc}	1,54 ^b	0,2805 ^c	-0,044 ^a
75	0	3,76 ^{cd}	0,863 ^{abc}	0,5504 ^b	2,07 ^{cde}	1,78 ^{bcd}	0,2530 ^b	-0,106 ^a
	1	3,31 ^{abc}	0,816 ^a	0,5702 ^{bcd}	1,88 ^{bcd}	1,56 ^{bc}	0,2716 ^{bc}	-0,015 ^a
100	0	3,70 ^{bcd}	0,849 ^{ab}	0,4789 ^a	1,76 ^{bcd}	1,50 ^{ab}	0,2198 ^a	-0,085 ^a
	1	2,75 ^a	0,852 ^{ab}	0,4817 ^a	1,33 ^a	1,13 ^a	0,2185 ^a	-0,053 ^a
Error estándar		0,26	0,019	0,0067	0,14	0,14	0,0075	0,024

Tabla 5. Parámetros texturales a día 0 en bizcochos de teff marrón (Ensayo TPA)

Teff (%)	HPMC (%)	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia	Adhesividad
0	0	3,43 ^a	0,8953 ^{cd}	0,6338 ^e	2,17 ^{ab}	1,95 ^{ab}	0,3083 ^c	-0,0863 ^a
	1	3,08 ^a	0,9088 ^d	0,6382 ^e	1,96 ^a	1,78 ^a	0,3240 ^d	-0,0827 ^a
50	0	3,76 ^{ab}	0,8660 ^b	0,5759 ^c	2,17 ^{ab}	1,88 ^{ab}	0,2646 ^b	-0,2655 ^a
	1	4,37 ^{bc}	0,8746 ^{bc}	0,5929 ^d	2,59 ^b	2,27 ^b	0,2771 ^b	-0,1057 ^a
100	0	5,48 ^d	0,8564 ^b	0,4725 ^a	2,59 ^b	2,22 ^b	0,2045 ^a	-0,1468 ^a
	1	4,63 ^c	0,8308 ^a	0,4965 ^b	2,30 ^{ab}	1,91 ^{ab}	0,2147 ^a	-0,0527 ^a
Error estándar		0,25	0,0078	0,0041	0,15	0,14	0,0046	0,0695

* Para ambas tablas, valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 6. Atributos de color de los bizcochos de teff blanco

Teff (%)	HPMC (%)	Corteza			Miga		
		L*	C*	h (grados)	L*	C*	h (grados)
0	0	55,54 ^a	32,14 ^{de}	61,46 ^c	77,11 ^g	23,12 ^d	84,06 ^d
	1	56,26 ^{ab}	29,40 ^{bc}	59,08 ^b	74,61 ^f	21,79 ^c	84,75 ^d
25	0	59,58 ^c	29,71 ^{bc}	68,48 ^{ef}	69,90 ^e	22,62 ^{cd}	84,02 ^d
	1	59,29 ^c	28,46 ^b	66,74 ^e	63,53 ^c	23,57 ^d	81,34 ^c
50	0	56,05 ^{ab}	29,44 ^{bc}	64,40 ^d	66,54 ^d	23,25 ^d	81,72 ^c
	1	54,49 ^a	30,32 ^{bcd}	64,43 ^d	66,60 ^d	25,72 ^e	83,74 ^d
75	0	58,29 ^{bc}	22,70 ^a	55,68 ^a	62,63 ^{bc}	20,02 ^b	76,25 ^b
	1	60,70 ^c	32,87 ^e	69,25 ^f	61,21 ^b	25,83 ^e	81,22 ^c
100	0	56,43 ^{ab}	21,73 ^a	56,75 ^a	57,77 ^a	18,27 ^a	73,10 ^a
	1	56,57 ^{ab}	30,72 ^{cd}	68,38 ^{ef}	57,75 ^a	25,89 ^e	81,10 ^c
Error estándar		0,88	0,71	0,74	0,73	0,44	0,48

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 7. Atributos de color de los bizcochos de teff marrón

Teff (%)	HPMC (%)	Corteza			Miga		
		L*	C*	h (grados)	L*	C*	h (grados)
0	0	55,54 ^c	32,14 ^d	61,46 ^{bc}	77,11 ^f	23,12 ^d	84,06 ^e
	1	56,26 ^c	29,40 ^c	59,08 ^{ab}	74,61 ^e	21,79 ^c	84,75 ^e
50	0	48,53 ^a	24,58 ^{ab}	63,40 ^c	54,74 ^c	21,04 ^c	69,69 ^d
	1	51,87 ^b	26,64 ^b	59,15 ^{ab}	58,70 ^d	17,46 ^b	64,72 ^c
100	0	49,57 ^{ab}	23,84 ^a	61,66 ^{bc}	44,23 ^a	17,61 ^b	57,90 ^b
	1	48,84 ^{ab}	22,66 ^a	57,87 ^a	48,54 ^b	15,99 ^a	53,88 ^a
Error estándar		1,05	0,73	0,97	0,54	0,44	1,02

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 8. Variación de los parámetros texturales en el bizcocho de teff blanco tras 4 días de almacenamiento

Teff (%)	HPMC (%)	Δ Dureza	Δ Elasticidad	Δ Cohesividad	Δ Gomosidad	Δ Masticabilidad	Δ Resiliencia
0	0	1,37 ^{abc}	0,008 ^e	-0,040 ^d	0,68 ^{cd}	0,63 ^{cdef}	-0,0749 ^{bc}
	1	1,84 ^{bc}	-0,025 ^{de}	-0,049 ^d	0,93 ^{de}	0,78 ^{ef}	-0,0973 ^{ab}
25	0	1,82 ^{bc}	-0,005 ^{de}	-0,043 ^d	0,84 ^{de}	0,71 ^{def}	-0,0640 ^c
	1	1,71 ^{bc}	-0,063 ^{bc}	-0,105 ^{abc}	0,46 ^{cd}	0,27 ^{bcd}	-0,1040 ^a
50	0	3,15 ^d	-0,031 ^{cd}	-0,091 ^c	1,24 ^e	0,98 ^f	-0,0945 ^{ab}
	1	1,90 ^{bc}	-0,030 ^{cd}	-0,111 ^{abc}	0,58 ^{cd}	0,44 ^{cde}	-0,1107 ^a
75	0	0,83 ^{ab}	-0,074 ^b	-0,123 ^{ab}	-0,10 ^{ab}	-0,23 ^a	-0,1003 ^a
	1	0,27 ^a	0,008 ^e	-0,110 ^{abc}	-0,23 ^a	-0,21 ^a	-0,0977 ^a
100	0	2,20 ^{cd}	-0,155 ^a	-0,132 ^a	0,28 ^{abc}	-0,08 ^{ab}	-0,0949 ^{ab}
	1	1,76 ^{bc}	-0,090 ^b	-0,096 ^{bc}	0,41 ^{bcd}	0,19 ^{abc}	-0,0750 ^{bc}
Error estándar		0,37	0,011	0,010	0,17	0,15	0,0071

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 9. Variación de los parámetros texturales en el bizcocho de teff marrón tras 4 días de almacenamiento

Teff (%)	HPMC (%)	Δ Dureza	Δ Elasticidad	Δ Cohesividad	Δ Gomosidad	Δ Masticabilidad	Δ Resiliencia
0	0	1,37 ^{bc}	0,0077 ^c	-0,040 ^b	0,677 ^{de}	0,627 ^c	-0,0749 ^{ab}
	1	1,84 ^c	-0,0254 ^c	-0,049 ^b	0,934 ^e	0,777 ^c	-0,0973 ^a
50	0	0,05 ^a	-0,0660 ^b	-0,101 ^a	-0,360 ^a	-0,432 ^a	-0,0908 ^a
	1	0,92 ^b	-0,0188 ^c	-0,092 ^a	0,058 ^b	-0,0003 ^b	-0,0895 ^{ab}
100	0	2,70 ^d	-0,1200 ^a	-0,100 ^a	0,457 ^{cd}	0,026 ^b	-0,0669 ^b
	1	1,84 ^c	-0,0659 ^b	-0,097 ^a	0,285 ^{bc}	0,068 ^b	-0,0676 ^b
Error estándar		0,14	0,0104	0,012	0,096	0,091	0,0066

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 10. Resultados del análisis de imagen de bizcochos de teff blanco

Teff (%)	HPMC (%)	Porcentaje vacío	Brillo de la miga	Espesor (mm)	Área media (mm ²)	Diámetro equivalente medio	%<0,3mm	%0,3-0,6mm	%0,6-1mm	%1-2mm	%2-25mm	Densidad alveolar (n°alv/cm ²)
0	0	8,44 ^{abc}	219,6 ^g	0,772 ^{ab}	0,13773 ^a	0,1924 ^a	69,0 ^{bc}	27,1 ^{ab}	0 ^a	3,8 ^a	0 ^a	55,8 ^{ab}
	1	12,24 ^e	205,4 ^f	0,760 ^a	0,20022 ^d	0,2124 ^{bcd}	46,1 ^a	11,8 ^a	8,0 ^{ab}	19,0 ^b	15,185 ^b	47,8 ^a
25	0	7,67 ^a	203,3 ^f	0,808 ^{bcd}	0,13624 ^a	0,1912 ^a	65,7 ^{bc}	28,4 ^b	2,4 ^a	3,5 ^a	0 ^a	52,3 ^{ab}
	1	9,61 ^{cd}	175,4 ^c	0,790 ^{abc}	0,15521 ^{abc}	0,2051 ^{abcd}	59,9 ^{abc}	33,9 ^b	6,2 ^a	0 ^a	0 ^a	56,0 ^{ab}
50	0	7,43 ^a	191,1 ^e	0,830 ^{cd}	0,14180 ^a	0,1972 ^{ab}	72,6 ^c	21,2 ^{ab}	2,8 ^a	3,4 ^a	0 ^a	47,3 ^a
	1	10,17 ^d	180,0 ^d	0,753 ^a	0,15670 ^{abc}	0,2063 ^{abcd}	63,6 ^{abc}	23,6 ^{ab}	10,0 ^{ab}	2,9 ^a	0 ^a	58,0 ^b
75	0	9,17 ^{bcd}	175,9 ^c	0,828 ^{cd}	0,17519 ^{bcd}	0,2156 ^d	61,4 ^{abc}	24,9 ^{ab}	10,7 ^{ab}	3,0 ^a	0 ^a	47,5 ^a
	1	10,01 ^d	171,4 ^b	0,772 ^{ab}	0,15266 ^{abc}	0,2015 ^{abcd}	66,0 ^{bc}	21,0 ^{ab}	10,1 ^{ab}	2,9 ^a	0 ^a	59,5 ^b
100	0	7,94 ^{ab}	158,1 ^a	0,844 ^d	0,14734 ^{ab}	0,2001 ^{abc}	64,2 ^{abc}	27,5 ^{ab}	4,9 ^a	3,5 ^a	0 ^a	47,3 ^a
	1	10,23 ^d	161,2 ^a	0,785 ^{ab}	0,17718 ^{cd}	0,2150 ^{cd}	52,4 ^{ab}	27,2 ^{ab}	20,5 ^b	0 ^a	0 ^a	52,3 ^{ab}
Error estándar		0,46	1,3	0,015	0,01005	0,0054	6,3	5,7	4,4	3,7	2,8	3,1

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 11. Resultados del análisis de imagen de bizcochos de teff marrón

Teff (%)	HPMC (%)	Porcentaje vacío	Brillo de la miga	Espesor (mm)	Área media (mm ²)	Diámetro equivalente medio	%<0,3mm	%0,3-0,6mm	%0,6-1mm	%1-2mm	%2-25mm	Densidad alveolar (n°alv/cm ²)
0	0	8,44 ^a	219,63 ^f	0,772 ^c	0,1377 ^a	0,1924 ^a	69,0 ^b	27,1 ^b	0 ^a	3,8 ^a	0 ^a	55,8 ^{ab}
	1	12,24 ^b	205,36 ^e	0,760 ^c	0,2002 ^b	0,2124 ^{ab}	46,1 ^a	11,8 ^a	7,96 ^{ab}	19,0 ^a	15,2 ^b	47,8 ^a
50	0	13,00 ^b	148,88 ^c	0,717 ^b	0,2042 ^b	0,2272 ^{bc}	44,9 ^a	27,1 ^b	17,91 ^b	4,6 ^a	5,5 ^{ab}	56,8 ^{ab}
	1	14,77 ^{bc}	154,56 ^d	0,677 ^{ab}	0,2224 ^b	0,2390 ^c	46,3 ^a	26,0 ^b	15,79 ^b	11,9 ^a	0 ^a	60,3 ^b
100	0	16,85 ^c	117,87 ^a	0,657 ^a	0,2360 ^b	0,2381 ^c	45,3 ^a	17,3 ^{ab}	13,11 ^b	15,7 ^a	8,5 ^{ab}	61,0 ^b
	1	16,07 ^c	126,28 ^b	0,658 ^a	0,2337 ^b	0,2398 ^c	40,0 ^a	29,5 ^b	13,82 ^b	16,7 ^a	0 ^a	59,8 ^b
Error estándar		0,88	0,86	0,014	0,0198	0,0083	5,6	4,8	3,98	5,9	4,7	3,3

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 13. Barridos de frecuencia (de 0,1 a 1Hz)

Teff (%)	HPMC (%)	$G' = G'_1 \cdot \omega^a$			$G'' = G''_1 \cdot \omega^b$			$(\tan \delta)_1 = G''_1 / G'_1$	$c = b - a$
		G'_1 (Pa)	a	r^2	G''_1 (Pa)	b	r^2		
0	0	1,055 ^{ab}	1,310 ^{bc}	0,9982	7,73 ^{cde}	0,7436 ^b	0,9998	7,33 ^c	-0,566 ^a
	1	1,361 ^{cd}	1,195 ^a	0,9975	8,18 ^{def}	0,7354 ^b	0,9998	6,03 ^a	-0,459 ^c
25	0	1,025 ^a	1,315 ^{bc}	0,9980	7,70 ^{cd}	0,7507 ^b	0,9997	7,52 ^c	-0,564 ^{ab}
	1	1,527 ^d	1,167 ^a	0,9976	8,68 ^f	0,7389 ^b	0,9998	5,70 ^a	-0,428 ^c
50	0	1,081 ^{ab}	1,341 ^{bc}	0,9988	7,22 ^{abc}	0,7297 ^b	0,9998	6,69 ^b	-0,611 ^a
	1	1,482 ^{cd}	1,201 ^a	0,9978	8,44 ^{ef}	0,7274 ^b	0,9999	5,70 ^a	-0,474 ^{bc}
75	0	0,902 ^a	1,352 ^c	0,9988	6,60 ^a	0,7407 ^b	0,9997	7,33 ^c	-0,611 ^a
	1	1,270 ^{bc}	1,283 ^b	0,9985	7,43 ^{bc}	0,7173 ^b	0,9997	5,86 ^a	-0,565 ^a
100	0	0,930 ^a	1,352 ^c	0,9989	6,74 ^{ab}	0,7245 ^b	0,9996	7,26 ^{bc}	-0,628 ^a
	1	1,098 ^{ab}	1,290 ^b	0,9982	6,66 ^a	0,7261 ^b	0,9993	6,07 ^a	-0,563 ^{ab}
Error estándar		0,071	0,019		0,23	0,0107		0,19	0,029

Valores con letras diferentes en la misma columna, son significativamente ($p \leq 0,05$) diferentes

Tabla 14. Datos obtenidos en el ensayo de flujo

Teff (%)	HPMC (%)	Tiempo de reposo de la masa antes de la medida (min)	k (Pa·s ⁻ⁿ)	n	r^2	Diferencia de áreas
0	0	35	2,881	0,7838	0,9993	107,60
		65	2,762	0,7997	0,9996	93,82
	1	35	4,076	0,6811	0,9983	265,3
		65	3,894	0,6819	0,9977	282,2
25	0	35	3,650	0,6842	0,9977	359,6
		65	2,759	0,7593	0,9990	167,1
	1	35	5,158	0,5927	0,9984	382,9
		65	4,959	0,6037	0,9969	465,2
		95	4,288	0,6428	0,9964	459,3
50	0	35	4,059	0,5996	0,9948	888,2
		65	2,887	0,7149	0,9979	376,6
		95	2,357	0,7755	0,9930	183,5
	1	35	5,681	0,5324	0,9942	822,5
		65	4,998	0,5553	0,9942	746,6
		95	4,249	0,5885	0,9957	750,0
75	0	35	3,643	0,6257	0,9952	823,0
		65	3,331	0,6645	0,9965	422,0
		95	2,579	0,7413	0,9992	205,2
	1	35	5,427	0,5132	0,9935	972,4
		65	4,874	0,5489	0,9931	939,6
		95	4,164	0,6072	0,9953	637,3
100	0	35	4,609	0,5426	0,9932	1288,0
		65	4,469	0,5551	0,9944	1060,0
		95	4,071	0,6025	0,9967	665,5
	1	35	4,593	0,5482	0,9924	1053,0
		65	4,583	0,5462	0,9951	1055,0
		95	3,503	0,6772	0,9982	279,8

8. ANEXO II: Modelo de ficha de cata.

Edad: ____
Sexo: _____

Nacionalidad: _____

Fecha: _____

Producto: BIZCOCHO

Por favor, pruebe las muestras de bizcocho que se le presentan e indique con un número del 1 al 5 según la siguiente escala, su opinión sobre ellas.

Recuerde beber agua entre muestra y muestra.



MUESTRAS									
625	162	970	699	828	921	672	540	711	863

¿Qué atributos (UNO O VARIOS) han pesado más en su valoración de cada muestra?

Marque el/los atributos que hayan influido positivamente con un (+) y el/los atributos que hayan influido negativamente con un (-)

ATRIBUTOS	MUESTRA									
	625	162	970	699	828	921	672	540	711	863
Apariencia										
Color										
Olor										
Sabor										
Textura										

¿Puede identificar algún sabor familiar, en alguna de las muestras, diferente al propio del bizcocho? (indique la muestra/s)

MUCHAS GRACIAS