



**ENRIQUECIMIENTO DE PAN CON HARINAS  
DE TEF DE DIFERENTES VARIEDADES.  
EVALUACIÓN DE SU CALIDAD FÍSICA Y  
SENSORIAL**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2013/2014**

**Alumno: David Santos Barreales  
Tutora: Felicidad Ronda Balbás**

**Master en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos  
E.T.S. Ingenierías Agrarias  
Campus de Palencia  
Universidad de Valladolid**

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>1.1. Historia y botánica del tef</b> .....                                | <b>4</b>  |
| <b>1.2. Distribución geográfica</b> .....                                    | <b>4</b>  |
| <b>1.3. Variedades</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>1.4. Valor nutricional. Beneficios del tef</b> .....                      | <b>5</b>  |
| <b>1.5. Propiedades del tef en mezclas con trigo para panificación</b> ..... | <b>6</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>3.1. Materias primas</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>3.2. Formulación</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>3.3. Procedimiento de elaboración del pan</b> .....                       | <b>8</b>  |
| <b>3.4. Caracterización física de los panes con tef</b> .....                | <b>9</b>  |
| <b>3.4.1. Volumen</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>3.4.2. Color de corteza y miga</b> .....                                  | <b>9</b>  |
| <b>3.4.3. Pérdida de peso</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>3.4.4. Textura de la miga</b> .....                                       | <b>9</b>  |
| <b>3.4.5. Textura de la corteza</b> .....                                    | <b>10</b> |
| <b>3.4.6. Humedad</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>3.4.7. Estudio de envejecimiento</b> .....                                | <b>10</b> |
| <b>3.5. Evaluación sensorial</b> .....                                       | <b>10</b> |
| <b>3.6. Tratamiento estadístico de los datos</b> .....                       | <b>11</b> |
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....                                       | <b>11</b> |
| <b>4.1. Propiedades morfogeométricas</b> .....                               | <b>11</b> |
| <b>4.1.1. Volumen</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>4.1.2. Pérdida de peso y humedad</b> .....                                | <b>13</b> |
| <b>4.2. Color</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>4.3. Textura de la miga</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>4.4. Textura de la corteza</b> .....                                      | <b>22</b> |
| <b>4.5. Estudio de envejecimiento</b> .....                                  | <b>23</b> |
| <b>4.6. Evaluación sensorial</b> .....                                       | <b>25</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....   | <b>29</b> |

## RESUMEN

El tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) es un pequeño cereal de la familia *Poaceae* cultivado y consumido mayoritariamente en Etiopía y Eritrea. Actualmente, debido al aumento de la demanda de alimentos funcionales, dietéticos y naturales, el tef está siendo introducido en algunos de estos alimentos por su elevado contenido en aminoácidos esenciales, hierro, zinc y calcio así como por la ausencia de gluten.

El objetivo del presente estudio es introducir este cereal en el pan de trigo, un producto que puede llegar a ser apreciado por los consumidores. Para ello, primero se ha adaptado una fórmula de pan a las características que aporta el tef y posteriormente se han elaborado los panes con diferentes dosis de tef (0%, 10%, 20%, 30% y 40%) y diferentes variedades para evaluar su calidad.

Las conclusiones obtenidas desvelan que la sustitución de harina de trigo por harina de tef en panes sin sobrepasar el 30% hace que aumente el volumen respecto de panes sin tef y que mejoren algunos parámetros texturales. En la evaluación sensorial las tres variedades consiguieron una valoración por encima del punto medio ("me gusta ligeramente") para las diferentes dosis de tef. Por lo tanto estos panes enriquecidos con tef poseen características que agradan a los consumidores.

Palabras clave: tef, calidad del pan, volumen, textura.

## ABSTRACT

Teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) is a grain bearing grass from the family *Poaceae* that is mostly cultivated and consumed in Ethiopia and Eritrea. Currently, due to an increased demand for food ingredients, both dietary and natural, teff is being introduced in some food because of its high levels of essential amino-acids, iron, zinc and calcium, and as it is gluten free.

The objective of this study is the introduction of this grain in wheat bread as a product acceptable to consumers. In order to meet this goal, a bread recipe was first adapted to the positive characteristics of teff and later the bread was made with different amounts of the teff flour (0, 10, 20, 30, and 40%) and different varieties, evaluating the effect on quality of physical and sensory aspects.

The observations reveal that substituting wheat flour with teff flour of up to 30% increases the size as compared with bread made without teff and that it improves some textural parameters. In the sensory evaluation of the three varieties obtained an above average rating ("I somewhat like it") for the different amounts of teff. Therefore, bread enriched with teff has characteristics with the potential to please consumers and present some important for commercial and nutritional purposes.

Keywords: tef, bread quality, volumen, texture.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Historia y botánica del tef

El tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) es una planta herbácea anual originaria de África donde se consume desde hace cinco mil años. Pertenece a la familia *Poaceae*, subfamilia *Eragrostoidae* (o *Chloridoideae*), tribu *Eragrosteae* y género *Eragrostis*.

El tef 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 tef producir hasta 50.000 granos. Los granos de tef 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. La semilla es de pequeño tamaño con una longitud de 0,9 a 1,7 mm y un diámetro que varía de 0,7 a 1 mm; de forma ovalada su peso suele ser rodar los 2 mg o incluso ser inferior, lo que supone aproximadamente un 0,6-0,8 % del peso de un grano de trigo (Bultosa y Taylor, 2004). En términos agronómicos el tef, es una planta que soporta el estrés hídrico, se adapta a diferentes altitudes y métodos de cultivo y resiste plagas y enfermedades. Necesita un clima templado con una temperatura media de 10°C y nunca inferior a -5°C. La siembra se suele realizar en primavera, recolectándose a los 50-55 días después de la misma (Stallknecht, 1993).

### 1.2. Distribución geográfica

En el año 2011 se cultivaron alrededor de 2,76 millones de hectáreas en todo el mundo, principalmente en Etiopía, Eritrea, la India y Australia y en menor medida en algunos países de Europa (Demeke et al., 2013). En España, es un cultivo en fase experimental que está dando buenos resultados, tanto de adaptación del cultivo como de rentabilidad al agricultor. En su precio influye el hecho de que su semilla esté restringida y que haya una única propietaria de la patente del tef ecológico en Europa (Ecosem Europa).

Es un cereal muy importante en Etiopía, ya que tiene múltiples usos, desde alimentación humana y animal, hasta como componente para la fabricación de adobes (Arguedas, 2008). De su grano se obtiene la harina integral con la que se elabora la “injera” un tipo de pan, poroso y con un sabor ácido que acompaña al “wot”, guiso tradicional de Etiopía. Para elaborar la “injera” se mezcla la harina con agua y se deja fermentar de forma espontánea o añadiendo un iniciador (*irsho*), durante 3 días; después se cocina. La principal levadura que genera esta fermentación es *Candida guilliermondii* (Stewart y Getachew, 1962). El tef también es usado en otras

elaboraciones etíopes como sopas (*muk*) y bebidas espirituosas (*katikalla*) (Taylor, 2003).

### 1.3. Variedades

Se conocen alrededor de 300 especies del género *Eragrostis*, de las cuales el tef es la única cultivable (Bultosa y Taylor, 2004).

En Etiopía se han catalogado hasta 34 variedades diferentes de tef. En el presente estudio se han caracterizado los panes elaborados con tres variedades importantes: Dz-Cr-99 (tef marrón), Dz-Cr-37 (tef blanco) y Dz-Cr-387 (Qouncho, tef blanco). Estas variedades no solo presentan diferencias en su coloración, sino que también tienen diferencias en su composición química, como observó Abebe et al. (2014) y Bultosa (2007). Así el tef Dz-Cr-37 presenta un mayor contenido en proteínas (10,5%) respecto de las otras dos variedades (8,9%) y también un menor contenido en grasas e hidratos de carbono.

### 1.4. Valor nutricional. Beneficios del tef.

Uno de los aspectos más interesantes del tef es que contiene una gran cantidad de nutrientes, y por ello es muy interesante para enriquecer alimentos. Contienen gran cantidad de fibra alimentaria y hierro, además de proteínas de buena calidad. Es comparado habitualmente con la quínoa y el mijo. Por cada 100 g de harina contiene en promedio: 65,4 g de hidratos de carbono, 13,3 g de proteínas, 2,1 g de grasas, de las cuales 0,7 g son saturadas, 0,7 g monoinsaturadas, 0,7 g poliinsaturadas, 135 mg de omega-3; 936 mg de omega-6; 7,9 g de fibra, 170 mg de calcio, 480 mg de potasio, 5,4 mg de hierro, 0,2 mg de vitamina C, 3,8 mg de manganeso, 0,7 g de cobre, 4,4 mg de zinc, y 186 mg de magnesio (Bultosa, 2002). Su valor energético es de 330 kcal/1339 kJ por cada 100 g de harina.

El tef no posee gluten por lo que es un cereal muy interesante para celíacos (Mengesha, 1965).

Hay que destacar, que el tef tiene un alto contenido en minerales como el hierro. Diversos autores como Abebe *et al.* (2007) han realizado estudios donde destacan una cantidad elevada de hierro en los alimentos elaborados con este cereal, así como en la injera, donde se mejora la biodisponibilidad, al fermentar la masa, de algunos minerales como el calcio, el zinc y el hierro.

Las proteínas que presenta el tef son de gran calidad y se comparan con las del huevo (Arguedas, 2008). Posee 8 aminoácidos esenciales entre los que destaca la lisina, inexistente o escasa en otros cereales como el trigo o la cebada. Además, las proteínas del tef son de fácil digestión (Collar, 2014).

### **1.5. Propiedades del tef en mezclas con trigo para panificación**

Durante los últimos años se han desarrollado estudios para incorporar el tef en diferentes alimentos, sobre todo en productos relacionados con la pastelería, la bollería y la panificación (Roosjen, 2007). Hasta ahora no existen estudios en los que se haya superado la dosis del 30% de harina de tef en sustitución de harina de trigo para la elaboración de pan.

Las masas de pan elaboradas con tef presentan características diferentes a las que solo contienen trigo. Generalmente aumentan los valores de absorción de agua, disminuye el tiempo de estabilidad de la masa y aumenta el tiempo de decaimiento ablandamiento cuando se aumenta el porcentaje de harina de tef. El tiempo de desarrollo y el valor de la estabilidad son indicadores de la fuerza de la harina, por lo que la adición de tef da masas con menor fuerza (Marian, 2009). En cuanto a los parámetros alveográficos, Ezpeleta y Callejo (2010) realizaron un estudio en el cual mezclaron harina de tef en dosis de 15% y 30% con dosis de harinas de trigo comerciales de diferente fuerza. Estos autores apreciaron como las muestras con un menor contenido de harina de tef tuvieron una mayor fuerza y extensibilidad, lo que indica que la harina de tef confiere a la masa muy poca elasticidad y firmeza lo que hace que su manejo no sea sencillo.

## **2. OBJETIVOS**

El principal objetivo del presente trabajo ha sido el enriquecimiento del pan de trigo mediante la incorporación de harina de diferentes variedades de tef.

Para desarrollar el objetivo, se procedió a la elaboración de panes de harina de trigo mezclada con harina de los diferentes tipos de tef en porcentajes del 0%, 10%, 20%, 30%, y 40% en peso. Para evaluar el efecto de la harina de tef sobre la calidad de estos panes se han realizado medidas instrumentales y sensoriales.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Materias primas

Los ingredientes utilizados para la elaboración de los panes fueron los siguientes: harina de trigo "Harina Fuerza Especial" proporcionada por Emilio Esteban S.A. (Valladolid) en saco de 25 kg con las siguientes características (información facilitada por la harinera): 15,20% humedad, 14,52% proteínas (medidas mediante la técnica NIR). Los parámetros alveográficos fueron: tenacidad (P) 129 mm, extensibilidad (L) 107 mm, fuerza (W)  $466 \times 10^{-4}$  J e índice P/L (relación de la curva) 1,21. Las propiedades de empastado de la harina (RVA) fueron: viscosidad máxima 2564 cp, viscosidad de caída 1709 cp, estabilidad 855 cp, viscosidad final 2687 cp, retrogradación 978 cp, tiempo de pico 6,33 minutos y temperatura de empastado 66,90°C. La harina de tef procedió del Centro Debre Zeit del Instituto Etíope de Investigación Agraria. Se utilizaron tres variedades diferentes: harina de tef DZ-01-99 (marrón), harina de tef Dz-Cr-37 (blanco) y harina de tef Dz-Cr-387 (blanco). El agua se obtuvo de la red de abastecimiento del campus "La Yutera" (Palencia). La sal se adquirió en el mercado local procedente de Salinas del Odiel S.L. en formato de 1 kg. La levadura deshidratada utilizada fue "Instant Dry Baker's Yeast" de la marca "Dosu Maya Mayacilik A.S." en formato de 0,5 kg. El mejorante panario utilizado fue "TOUPAN" de Puratos (Barcelona, España) compuesto por harina de trigo, carbonato de calcio, mono y diglicéridos de ácidos grasos, lecitina de soja, ácido ascórbico,  $\alpha$ -amilasa y xilanasas.

Hay que destacar que dada la cantidad limitada de harina de tef etíope de las tres variedades, no se pudo realizar la caracterización alveográfica ni farinográfica de las mezclas de tef con harina de trigo panificadas. Tan solo se realizó la caracterización del color dado que no conllevaba una pérdida de harina de tef.

#### 3.2. Formulación

En primer lugar, se escogió una fórmula para la elaboración de pan tipo "chapata" y a partir de esta se realizaron numerosas pruebas para establecer la que mejor se adaptaba a la incorporación de las harinas de tef, estableciéndose finalmente los siguientes ingredientes (g/100g en base harina): agua (85g/100g), levadura seca instantánea (2g/100g), sal (1,8g/100g) y mejorante panario (0,5g/100g).

### 3.3. Procedimiento de elaboración del pan

En cada elaboración se hacía cantidad suficiente para rellenar cinco moldes de aluminio desechables de 196 mm de largo, 71 mm de ancho y 60 mm de alto.

En primer lugar se procedía a la mezcla homogénea de la harina de trigo con la harina de tef correspondiente a los diferentes porcentajes de tef respecto a la mezcla harinas (0%, 10%, 20%, 30% y 40%) utilizando la mezcladora MR2L/MR10L de la marca Chopin durante 15 minutos. Posteriormente se pesaron los ingredientes secos en un vaso de la amasadora/batidora y el agua en otro recipiente. Todos los ingredientes fueron pesados en una balanza TE 6101 de Sartorius AG (Alemania). En todas las elaboraciones se determinó la temperatura del agua a partir de la temperatura del ambiente y de la harina de tal forma que la suma de las tres fuese 52°C y al final del amasado estuviese en un rango entre 24 y 26°C.

Una vez realizado este proceso se conectó la amasadora Kitchen Aid Professional (KPM5) con paleta de amasado a una velocidad de 4 durante 5 minutos, procediendo a la adición del agua durante el primer minuto de esta fase. Al terminar este periodo se subía la velocidad a 6 durante 1 minuto. Posteriormente, con el fin de favorecer un amasado homogéneo, se hacía una parada para bajar y mezclar con una cuchara la masa que subía por las paredes del recipiente y la paleta. Después se bajaba la velocidad de la amasadora a 4 durante 8 minutos para finalizar el amasado.

Una vez finalizada esta fase se dosificaban porciones de 300 g de masa en 5 moldes y se procedía al reparto homogéneo de la masa por toda la superficie del molde. Los moldes rellenos fueron introducidos en una cámara de fermentación FC-K (Salva, Lezo, España) a 28°C y 75% de HR durante 40 minutos. Tras la fermentación se hornearon en un horno modular eléctrico marca Salva, modelo PANEL ST-99, serie 7851-8K (Dicoel S.L.) durante 40 minutos a 190°C. Después de finalizar el horneado se desmoldaron y se dejaron reposar 1 hora.

Transcurrido el tiempo de enfriamiento, se procedió a pesar todos los panes, destinando dos de ellos para medición en fresco y los tres restantes se empaquetaron en bolsas de polietileno: dos de los panes se destinaron a la realización de pruebas de análisis sensorial y el otro para envejecimiento.

El pan destinado a envejecimiento se almacenó en refrigeración a 4°C. Con los panes en fresco se realizaron medidas de diferentes parámetros físicos para su caracterización.



### 3.4. Caracterización física de los panes con tef

#### 3.4.1. Volumen

Para medir este parámetro se utilizó el 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  $\text{cm}^3$ . El volumen se evaluó en fresco (día 0) por duplicado.

#### 3.4.2. Color de corteza y miga

Para medir el color se utilizó un espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta, Co. LTD, Tokio, Japón) sobre las harinas, la corteza del pan y la miga de dos rebanadas de cada pan. Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y observador estándar 2º, y se expresaron en el espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$ .

Cada medida estaba definida por una media de 5 mediciones proporcionadas por el equipo y a la vez se realizaron 4 medidas en cada pan tanto de corteza como de miga. 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, tanto para el color de la miga como de la corteza.

#### 3.4.3. Pérdida de peso

Este parámetro se calculó restando el peso de cada pan después del horneado, desmoldado y transcurrida una hora de enfriamiento, a los 300 g de masa que se colocaba en cada molde para hornear. Para esto se utilizó la balanza TE 6101 de Sartorius AG (Germany).

#### 3.4.4. Textura de la miga

Para evaluar la textura de la miga se utilizó un texturómetro universal TA-TX2 de Stable Microsystems (Surrey, UK) con una sonda cilíndrica de aluminio de 20 mm y el software "Texture Expert".

Se realizó un ensayo "Texture Profile Analysis" (TPA) a dos panes de cada elaboración en fresco (día 0), con doble compresión, sobre dos rebanadas de 2 cm de espesor cortadas del centro de cada pan. Las rebanadas fueron sometidas a una deformación del 50%, el tiempo de espera entre las deformaciones fue de 30 s y la velocidad de la sonda empleada en el ensayo de 1 mm/s. Así se obtuvieron datos sobre la dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia de los panes.

#### 3.4.5. Textura de la corteza

Este ensayo se realizó con el mismo texturómetro universal TA-TX2 de Stable Microsystems (Surrey, UK) y una sonda de punción de aluminio de 2 mm y el software "Texture Expert".

Se realizaron 6 punciones en cada pan, 3 en una mitad y 3 en la otra para que el ensayo fuese representativo, en dos panes frescos (día 0).

#### 3.4.6. Humedad

Se ha determinado la humedad tanto de la miga como de la corteza de cada elaboración. Para ello se procedió a deshidratar dos muestras de dos panes durante 24 horas a 100°C, pesando tanto antes como después la muestra y calculando el porcentaje de humedad por la diferencia de pesos relativa al peso original. Todas las muestras fueron pesadas con la balanza de precisión AE-223 de Cobos serie JF, (España, Barcelona).

Para cortar las muestras necesarias, en el caso de la miga se seleccionó el centro de una rebanada, intentando alejarse lo más posible de los bordes. Para la corteza se seleccionó minuciosamente la parte superior del pan, ya que la inferior había estado en contacto con el molde durante el horneado, intentando no coger más de 1 mm de profundidad en el pan, para no llegar a la miga.

#### 3.4.7. Estudio de envejecimiento

Para determinar la vida útil de los panes se realizaron ensayos TPA sobre panes almacenados un máximo de 7 días. Estas medidas de textura se realizaban a día 1 y 7 de almacenamiento.

Todos los panes fueron conservados en bolsas herméticas de plástico y en refrigeración a una temperatura de 4°C durante toda la fase de envejecimiento.

### 3.5. Evaluación sensorial

Para conocer la opinión de los posibles consumidores de estos panes, se realizó una prueba hedónica de diferentes atributos de los panes. Participaron un total de 60 jueces no entrenados, siendo el 51,67% mujeres y el 48,33% hombres.

Todos los jueces eran mayores de 18 años, siendo el 55% menor de 24 años, el 41,66% con una edad comprendida entre los 25 y 55 años y el 3,34% superaba los 56 años.

Para realizar la prueba se diseñó un ficha de cata con una escala hedónica verbal de 9 puntos (siendo el 1 "me disgusta muchísimo" y el 9 "me gusta muchísimo"). Las características de los panes que los jueces tuvieron que valorar fueron: aspecto visual, intensidad de olor, textura, intensidad del sabor, persistencia del sabor y aceptación

global. Además se incluyó un apartado para que los catadores expusieran los atributos de los panes que más les habían llamado la atención y otras observaciones, con el fin de recopilar información sobre los atributos más valorados.

En una misma sesión cada catador evaluó sólo 8 muestras que siempre incluyeron dos controles: control 1, consistente en pan 100% harina de trigo refinada y control 2, pan integral de trigo: 80% harina refinada y 15% salvado de trigo. La inclusión del control 2 tuvo como objeto evaluar la puntuación de panes con harina de tef, necesariamente integral, frente a otros panes también con un elevado contenido de fibra, con los que los consumidores europeos están habituados.

### **3.6. Tratamiento estadístico de los datos**

Para evaluar el efecto sobre los panes de los diferentes factores estudiados (variedad de tef, porcentaje de tef, etc.) se realizó un estudio estadístico mediante las herramientas del programa Statgraphics Centurión XVI. Se realizaron diferentes ANOVAS simples y multifactoriales describiendo las medias con un nivel de confianza del 95% utilizando un test de Fisher (LSD).

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Propiedades morfogeométricas**

#### **4.1.1. Volumen**

La tabla 1 muestra las propiedades morfogeométricas de los panes elaborados con dosis diferentes de harina de tef para las tres variedades. La figura 1 representa la evolución del volumen específico de los panes para diferentes dosis y variedad de tef. Tanto la dosis de harina de tef empleada en la formulación como la variedad de tef utilizada ejercieron un efecto significativo sobre el volumen específico del pan ( $p < 0,001$ ).

La sustitución de harina de trigo por harina de tef produjo un aumento del volumen específico de los panes para porcentajes del 10 y el 20 % de harina de tef, suponiendo un incremento en promedio del 12% del volumen de los panes al 10% de harina de tef y del 14% en los panes con un 20% de harina de tef. Para los panes con un 30% de harina de tef el aumento del volumen específico fue menor. En los panes con un 40% de harina de tef se apreció un ligero descenso del volumen respecto del pan control.

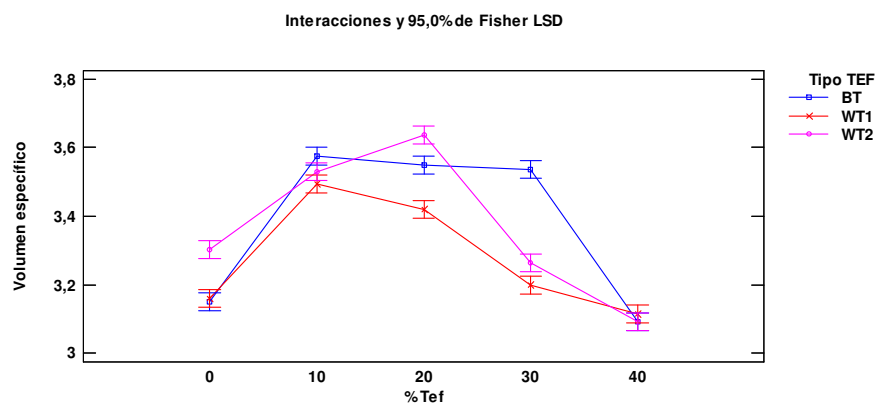
Por lo tanto, se puede sustituir la harina de trigo por harina de tef hasta un 30% sin experimentar cambios negativos en el volumen específico de los panes, aumentando el volumen respecto del pan sin harina de tef. A partir de un 30 - 40% de sustitución comienza a reducirse el volumen, con un descenso del 4% en promedio respecto del

pan sin tef. En un estudio realizado por Mohammed et al. (2009) en panes de molde se obtuvieron resultados muy similares, una sustitución del 5%, 10% y 15% de harina de tef por harina de trigo conseguía aumentar el volumen respecto a panes elaborados solo con trigo. Cuando esta sustitución alcanzaba el 20% de harina de trigo se producían panes con menos volumen específico.

Tabla 1. Resultados obtenidos de las propiedades morfogeométricas.

| Tipo de tef           | % harina de tef | Volumen específico (ml/g) | Pérdida de peso (%) |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| <b>Control</b>        | 0               | 3,20 <sup>b</sup>         | 15,18 <sup>b</sup>  |
| <b>BT</b>             | 10              | 3,56 <sup>fg</sup>        | 14,40 <sup>a</sup>  |
|                       | 20              | 3,55 <sup>ef</sup>        | 15,40 <sup>bc</sup> |
|                       | 30              | 3,54 <sup>ef</sup>        | 17,83 <sup>d</sup>  |
|                       | 40              | 3,09 <sup>a</sup>         | 16,01 <sup>c</sup>  |
| <b>WT1</b>            | 10              | 3,50 <sup>e</sup>         | 15,54 <sup>bc</sup> |
|                       | 20              | 3,42 <sup>d</sup>         | 15,26 <sup>bc</sup> |
|                       | 30              | 3,20 <sup>bc</sup>        | 15,28 <sup>bc</sup> |
|                       | 40              | 3,14 <sup>a</sup>         | 15,85 <sup>bc</sup> |
| <b>WT2</b>            | 10              | 3,53 <sup>ef</sup>        | 15,48 <sup>bc</sup> |
|                       | 20              | 3,64 <sup>g</sup>         | 15,68 <sup>bc</sup> |
|                       | 30              | 3,27 <sup>c</sup>         | 15,65 <sup>bc</sup> |
|                       | 40              | 3,09 <sup>a</sup>         | 15,08 <sup>ab</sup> |
| <b>Error estándar</b> |                 | 0,02                      | 0,30                |

Los datos corresponden a la media de cuatro valores. Los valores en una misma columna con letras diferentes, son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura. 1.** Efecto de la dosis de harina y del tipo de tef sobre el volumen específico de los panes. Se representa con un punto el valor medio de los volúmenes obtenidos en los diferentes panes respecto de la variedad de tef y del porcentaje de sustitución de harina de tef. Las barras representan el intervalo LSD de Fischer.

Respecto a las diferencias entre las tres variedades estudiadas, se apreció que el tef WT1 condujo a panes de un menor volumen específico que el tef BT y el WT2, para todos los porcentajes de sustitución. Para las otras dos variedades apenas se observaron diferencias entre ambas.

Como conclusión, se puede indicar que los panes con tef elaborados en el presente estudio han mejorado la calidad respecto de los panes sin tef, en lo que se refiere al volumen, siempre que el porcentaje de sustitución de harina de trigo no supere el 40%. Trabajos anteriores habían demostrado la viabilidad de adiciones de tef en sustitución de la harina de trigo hasta del 30% (Alaunyte, 2012), notablemente inferiores a las alcanzadas en el presente trabajo. La elección del tipo de pan y el empleo de diferentes variedades de tef, podrían justificar esta diferencia de resultados.

#### 4.1.2. Pérdida de peso y humedad

Con la pérdida de peso se puede llegar a medir la capacidad de retención de agua de los panes después de la fermentación, el horneado y el enfriamiento. Los resultados obtenidos para este parámetro se muestran en la Tabla 1. También se midió la humedad de todas las elaboraciones ya que podría estar relacionada con la pérdida de peso. No se vio ninguna evolución significativa en la humedad por lo que no se adjuntan sus resultados en el presente estudio. En promedio la humedad de la miga de todos los panes elaborados fluctuó entre 50,19 y 50,70% y la de la corteza entre 17,51 y 22,32%.

La pérdida de peso de los panes presentó diferencias significativas para las diferentes dosis de tef pero no para las tres variedades evaluadas. Se apreció que los panes con tef presentaban una mayor pérdida de peso que el pan sin tef. Lo mismo fue observado por otros autores; que le atribuyeron este hecho a la fibra que aporta el tef (Ezpeleta y Callejo, 2010).

También se observó que existían diferencias significativas de la pérdida de peso para la interacción entre las variedades y los porcentajes. Así la pérdida de peso aumentó ligeramente con el aumento de la dosis de tef en los panes elaborados con harinas de las variedades WT1 y WT2. En cambio, el tef BT tuvo una pérdida de peso menor para la dosis del 10% y una pérdida mayor para dosis superiores al 20%.

#### 4.2. Color

El color es una de las características físicas que primero detecta un consumidor cuando evalúa la calidad de un pan que pretende adquirir o consumir, por eso es un parámetro fundamental a la hora de caracterizar panes. Para poder explicar mejor los resultados obtenidos para los diferentes atributos del color de los panes, se procedió a

caracterizar el color de las harinas utilizadas para la elaboración de dichos panes, cuyos resultados se recogen en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos en los atributos de color de las harinas.

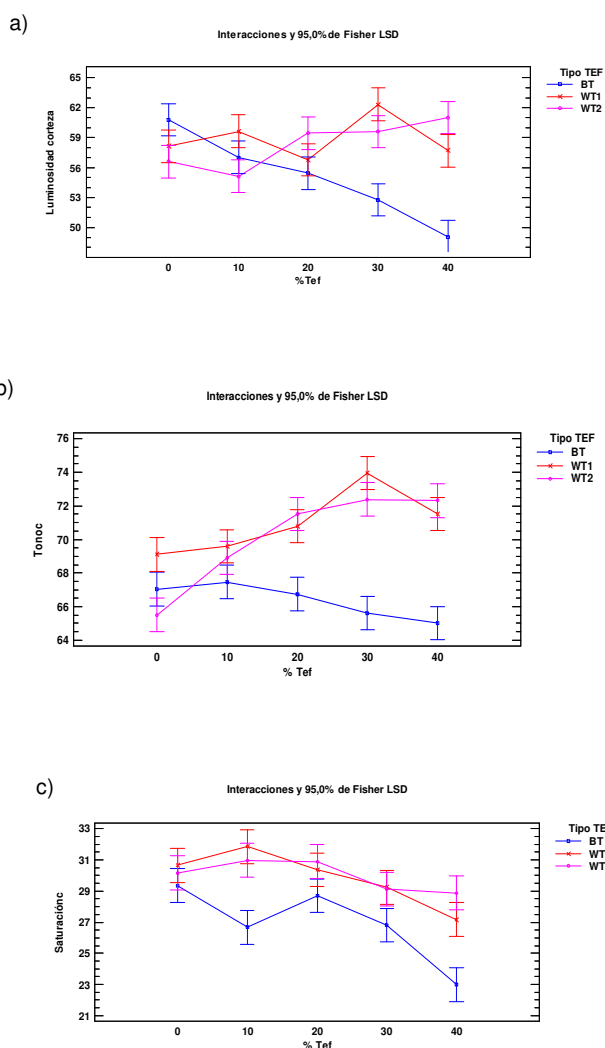
|                        | Luminosidad | Tono  | Saturación |
|------------------------|-------------|-------|------------|
| <b>Harina de trigo</b> | 90,54       | 76,59 | 5,33       |
| <b>BT (Dz-Cr-99)</b>   | 67,79       | 70,09 | 14,17      |
| <b>WT1 (DZ-Cr-37)</b>  | 77,965      | 82,50 | 14,98      |
| <b>WT2 (DZ-Cr-387)</b> | 81,66       | 85,21 | 15,70      |

La tabla 3 presenta las coordenadas de color en el sistema CIE L\*a\*b\* tanto de la corteza como de la miga de los diferentes panes elaborados. En ella puede evaluarse el efecto en el color de la dosis de tef y la variedad. El análisis ANOVA multifactorial permitió concluir efectos significativos en los atributos del color para las diferentes dosis y variedades, así como de su interacción. Es decir, el efecto de la dosis de tef sobre el color de corteza y miga del pan formulado dependió de la variedad utilizada. Las figuras 2 y 3 permiten comparar los atributos del color de la corteza y miga de los panes respecto de la dosis de tef y la variedad.

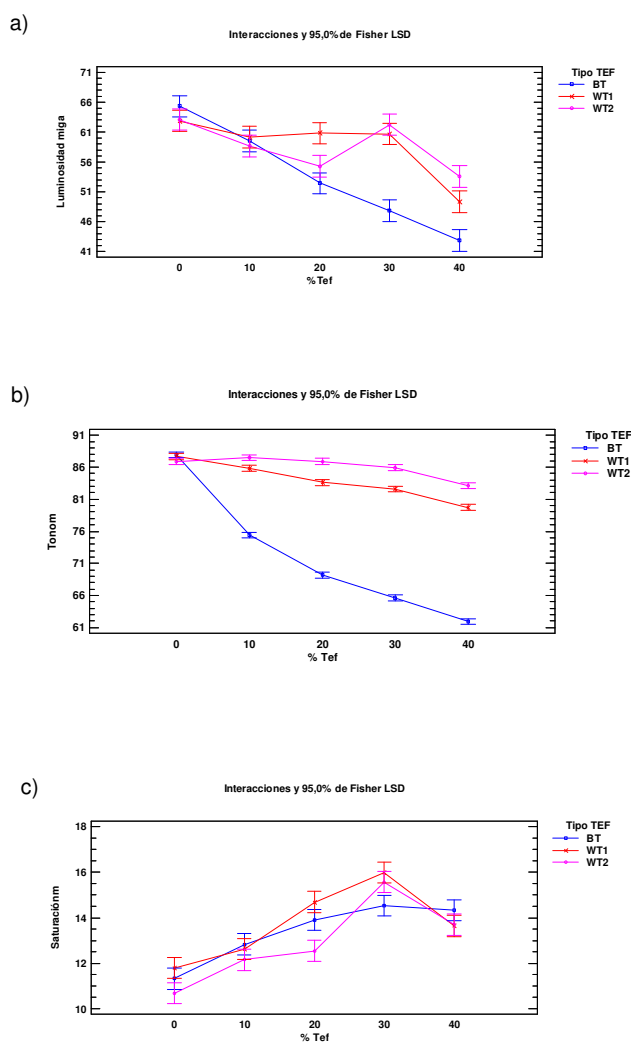
Tabla 3. Resultados obtenidos en los atributos de color de los panes.

| Tipo de tef           | Dosis de tef (%) | Corteza              |                      |                       | Miga                |                     |                     |
|-----------------------|------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                       |                  | L*                   | h                    | C*                    | L*                  | h                   | C*                  |
| <b>Control</b>        | 0                | 58,50 <sup>de</sup>  | 67,22 <sup>bc</sup>  | 30,05 <sup>ef</sup>   | 63,76 <sup>g</sup>  | 87,50 <sup>i</sup>  | 11,26 <sup>a</sup>  |
| <b>BT</b>             | 10               | 57,01 <sup>cd</sup>  | 67,48 <sup>bc</sup>  | 26,66 <sup>b</sup>    | 59,51 <sup>f</sup>  | 75,43 <sup>d</sup>  | 12,83 <sup>bc</sup> |
|                       | 20               | 55,44 <sup>bc</sup>  | 66,74 <sup>ab</sup>  | 28,70 <sup>bcde</sup> | 52,43 <sup>cd</sup> | 69,18 <sup>c</sup>  | 13,90 <sup>dd</sup> |
|                       | 30               | 52,75 <sup>b</sup>   | 65,62 <sup>ab</sup>  | 26,81 <sup>bc</sup>   | 47,87 <sup>b</sup>  | 65,61 <sup>b</sup>  | 14,53 <sup>dd</sup> |
|                       | 40               | 49,07 <sup>a</sup>   | 65,01 <sup>a</sup>   | 22,98 <sup>a</sup>    | 42,88 <sup>a</sup>  | 61,94 <sup>a</sup>  | 14,33 <sup>dd</sup> |
| <b>WT1</b>            | 10               | 59,63 <sup>def</sup> | 69,59 <sup>de</sup>  | 31,84 <sup>g</sup>    | 60,81 <sup>f</sup>  | 85,81 <sup>h</sup>  | 12,62 <sup>b</sup>  |
|                       | 20               | 56,78 <sup>cd</sup>  | 70,78 <sup>def</sup> | 30,35 <sup>efg</sup>  | 60,81 <sup>f</sup>  | 83,61 <sup>g</sup>  | 14,68 <sup>de</sup> |
|                       | 30               | 62,37 <sup>f</sup>   | 73,95 <sup>d</sup>   | 29,23 <sup>def</sup>  | 60,66 <sup>f</sup>  | 82,57 <sup>f</sup>  | 15,98 <sup>f</sup>  |
|                       | 40               | 57,70 <sup>cde</sup> | 71,53 <sup>ef</sup>  | 27,17 <sup>bcd</sup>  | 49,31 <sup>bc</sup> | 79,71 <sup>e</sup>  | 13,63 <sup>cd</sup> |
| <b>WT2</b>            | 10               | 55,14 <sup>bc</sup>  | 68,91 <sup>cd</sup>  | 30,97 <sup>fg</sup>   | 58,67 <sup>ef</sup> | 87,49 <sup>i</sup>  | 12,15 <sup>b</sup>  |
|                       | 20               | 59,44 <sup>def</sup> | 71,52 <sup>ef</sup>  | 30,89 <sup>fg</sup>   | 55,25 <sup>de</sup> | 86,90 <sup>i</sup>  | 12,55 <sup>b</sup>  |
|                       | 30               | 59,63 <sup>def</sup> | 72,39 <sup>cd</sup>  | 29,12 <sup>def</sup>  | 62,23 <sup>fg</sup> | 85,94 <sup>h</sup>  | 15,56 <sup>ef</sup> |
|                       | 40               | 60,99 <sup>ef</sup>  | 72,31 <sup>fg</sup>  | 28,87 <sup>cdef</sup> | 53,57 <sup>d</sup>  | 83,11 <sup>fg</sup> | 13,70 <sup>cd</sup> |
| <b>Error estándar</b> |                  | 1,18                 | 0,75                 | 0,77                  | 1,28                | 0,34                | 0,34                |

Los valores en una misma columna con letras diferentes, son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )



**Figura 2.** Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la luminosidad (a), el tono (b) y la saturación (c) de la corteza.



**Figura 3.** Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la luminosidad (a), el tono (b) y la saturación (c) de la miga.

La harina obtenida del tef marrón (Dz-Cr-99) (BT) presenta un color más oscuro que la harina de trigo por lo que esto influye en el color de los panes. Así se aprecia, que la luminosidad de la corteza ( $L^*$ ) de los panes va disminuyendo al ir aumentando la dosis de tef (ver Figura 2a). Esto también ocurre en la luminosidad de la miga (ver Figura 3a), que depende siempre de la coloración de los diferentes ingredientes que formen parte de la fórmula del pan.

Respecto al tono, los panes elaborados con tef BT presentaron cortezas con tonos entre el rojo y el amarillo, con un valor promedio de 67<sup>o</sup>, que indica que predominen más los tonos amarillentos. Al aumentar la dosis de harina de tef, también descendió ligeramente el tono, predominando los matices rojizos. En la miga este descenso del tono era más acusado llegando a disminuir en promedio un 29% en los panes con un

40% de tef respecto del pan sin tef o pan control. El descenso de tono significa que las migas más enriquecidas en tef se iban volviendo cada vez más rojizas.

La saturación de corteza de los panes elaborados con tef BT presentó diferencias significativas en función de la dosis de tef. Así, en la corteza se produjo una disminución de la saturación con el aumento de la dosis de tef, mientras que en la miga se produjo un aumento de la saturación hasta el 30% de tef indicando color más vivo, que no cambió significativamente para un 40% de harina de tef.

La harina de tef blanco (Dz-Cr-37) (WT1) presentó unos atributos del color más próximos a los de la harina de trigo pero proporcionó panes con algunas diferencias de color respecto al pan control. La luminosidad de la corteza no presentó diferencias significativas con el aumento de la dosis de tef. Sin embargo, en la miga sí se produjo un descenso significativo del 16% en la luminosidad para panes con un 40% de harina de tef de esta variedad, apreciando una miga más oscura.

El tono de la corteza aumentó significativamente hasta una dosis del 30% de tef, para después descender. Esto puede deberse a que el color de la corteza está principalmente influenciado por la reacción de Maillard que depende fundamentalmente de la concentración de los precursores de dicha reacción, de la temperatura y del tiempo de horneado, constante para todas las elaboraciones, (Ronda et al., 2005) más que de pequeñas diferencias de color en los ingredientes originales utilizados en la formulación del pan. El tono de la corteza se mantuvo entre los tonos amarillos y rojos.

En la miga se produjo un descenso continuo del tono a la vez que aumentaba la dosis de tef, llegando a producirse un tono 9% menor que el del pan sin tef. Esto probablemente se debió a que la harina de tef de esta variedad era más oscura y rojiza que la de trigo.

La saturación de la corteza presentó ligeras diferencias, descendiendo poco con el aumento de la dosis de tef. En la miga se produjo un aumento de la saturación con el aumento de la dosis de tef de hasta el 26% para el 30% de harina de tef, a partir de este valor comenzó a descender la saturación.

La variedad de tef blanco (Dz-Cr-378) (WT2) es la más semejante a la de trigo en cuanto al color. La luminosidad de la corteza de los panes elaborados con esta variedad presentó diferencias significativas ( $p < 0,001$ ), mostrando un ascenso de los valores, es decir, cortezas más claras, con el aumento de la dosis de tef. En la luminosidad de la miga también se observaron diferencias significativas en función del grado de sustitución de la harina de tef con una tendencia a disminuir a medida que aumentaba la presencia de harina de tef, aunque este efecto fue particularmente evidente para la dosis del 40% de tef.



El tono de la corteza, que también estuvo entre los amarillos y los rojos como en los panes anteriores, aumentó claramente cuando aumentó la dosis de harina de tef, es decir, en este caso su evolución fue hacia el incremento de los matices amarillos. El tono de la miga, también con matices anaranjados, se observó que descendía (aumentaba la tendencia al rojo) cuando aumentaba la dosis de tef debido a la coloración de la harina del tef.

La saturación presentó diferencias significativas, tanto para la corteza como para la miga de panes elaborados con la harina de tef blanca WT2. Así la saturación de la corteza presentó un descenso con el aumento de la dosis de tef y en la miga se produjo un aumento de hasta el 40% de la saturación para valores del 30% de tef respecto panes sin tef y a partir de ahí comenzó a descender.

Respecto a las diferencias entre las tres variedades evaluadas, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre las dos variedades blancas (WT1 y WT2) y la variedad marrón (BT). Entre las variedades blancas solo existen diferencias significativas en el tono de la miga. De esta forma podemos concluir que las panes elaborados con tef marrón presentaron una corteza con menor luminosidad (24% menor), menor tono (10% menor), es decir más próximo a los tono rojizos y menor saturación (25% menor). Para la miga también presentaron diferencias, así la luminosidad bajo un 24%, el tono un 29% y la saturación experimento un ligero ascenso del 5% respecto de los panes con harinas de tef blanco.

### 4.3. Textura de la miga

Los resultados obtenidos en la medición de los parámetros texturales de la miga se recogen en la tabla 4. Las Figuras 4 y 5 recogen la evolución de la dureza y masticabilidad de la miga en función de la dosis de sustitución de tef en los panes de trigo para las diferentes variedades de tef ensayadas.

Tabla 4. Resultados obtenidos en la textura de los panes.

| Tipo de tef           | % harina de tef | Dureza (N)          | Elasticidad        | Cohesividad          | Masticabilidad (N) | Resiliencia         |
|-----------------------|-----------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| <b>Control</b>        | 0               | 2,42 <sup>de</sup>  | 0,98 <sup>b</sup>  | 0,69 <sup>f</sup>    | 1,64 <sup>d</sup>  | 0,54 <sup>f</sup>   |
| <b>BT</b>             | 10              | 2,08 <sup>abc</sup> | 0,97 <sup>ab</sup> | 0,69 <sup>ef</sup>   | 1,39 <sup>bc</sup> | 0,53 <sup>ef</sup>  |
|                       | 20              | 1,74 <sup>a</sup>   | 0,94 <sup>a</sup>  | 0,72 <sup>g</sup>    | 1,16 <sup>a</sup>  | 0,55 <sup>f</sup>   |
|                       | 30              | 2,31 <sup>cde</sup> | 0,96 <sup>ab</sup> | 0,66 <sup>abcd</sup> | 1,45 <sup>c</sup>  | 0,48 <sup>bcd</sup> |
|                       | 40              | 2,83 <sup>f</sup>   | 0,96 <sup>ab</sup> | 0,65 <sup>abc</sup>  | 1,75 <sup>d</sup>  | 0,47 <sup>abc</sup> |
| <b>WT1</b>            | 10              | 2,19 <sup>abc</sup> | 0,97 <sup>ab</sup> | 0,68 <sup>def</sup>  | 1,44 <sup>c</sup>  | 0,50 <sup>de</sup>  |
|                       | 20              | 2,64 <sup>ef</sup>  | 0,97 <sup>ab</sup> | 0,67 <sup>cde</sup>  | 1,72 <sup>d</sup>  | 0,49 <sup>cd</sup>  |
|                       | 30              | 2,21 <sup>bcd</sup> | 0,95 <sup>ab</sup> | 0,67 <sup>bcde</sup> | 1,45 <sup>bc</sup> | 0,49 <sup>cd</sup>  |
|                       | 40              | 2,60 <sup>ef</sup>  | 0,95 <sup>ab</sup> | 0,65 <sup>ab</sup>   | 1,75 <sup>cd</sup> | 0,45 <sup>a</sup>   |
| <b>WT2</b>            | 10              | 2,16 <sup>bcd</sup> | 0,96 <sup>ab</sup> | 0,69 <sup>ef</sup>   | 1,44 <sup>c</sup>  | 0,54 <sup>f</sup>   |
|                       | 20              | 1,87 <sup>ab</sup>  | 0,97 <sup>ab</sup> | 0,67 <sup>bcde</sup> | 1,22 <sup>ab</sup> | 0,50 <sup>d</sup>   |
|                       | 30              | 2,20 <sup>bcd</sup> | 0,96 <sup>ab</sup> | 0,68 <sup>def</sup>  | 1,43 <sup>bc</sup> | 0,51 <sup>de</sup>  |
|                       | 40              | 2,35 <sup>cde</sup> | 0,97 <sup>ab</sup> | 0,64 <sup>a</sup>    | 1,46 <sup>c</sup>  | 0,46 <sup>ab</sup>  |
| <b>Error estándar</b> |                 | 0,12                | 0,01               | 0,01                 | 0,08               | 0,01                |

Los datos corresponden a la media de cuatro valores, excepto para el control que supone una media de doce valores. Los valores en una misma columna con letras diferentes, son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

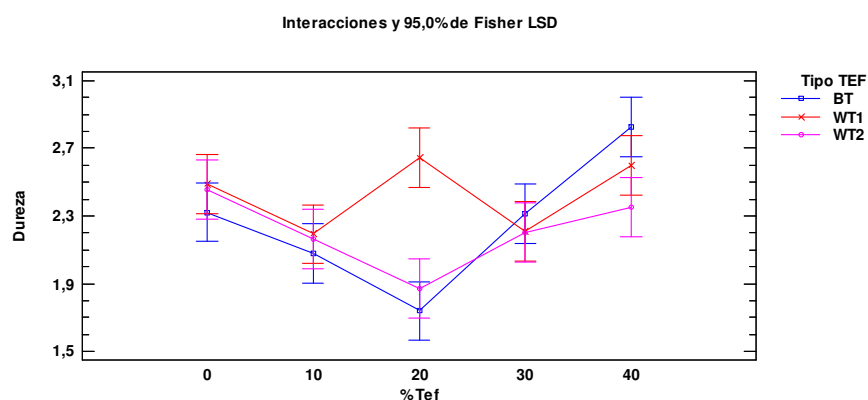
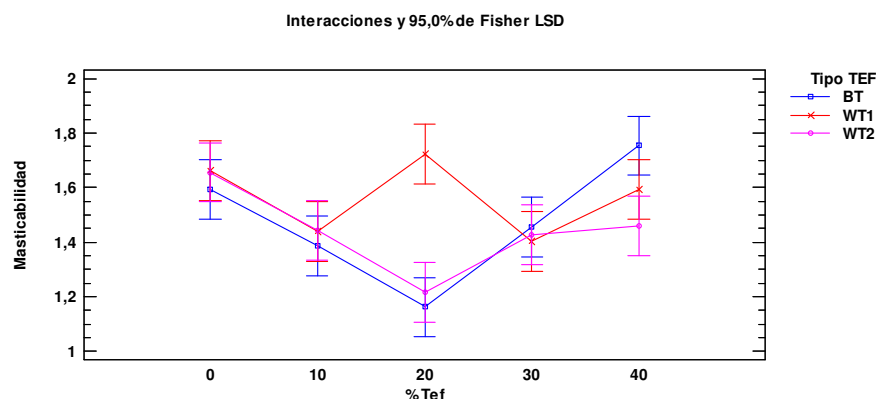


Figura 4. Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la dureza de los panes.

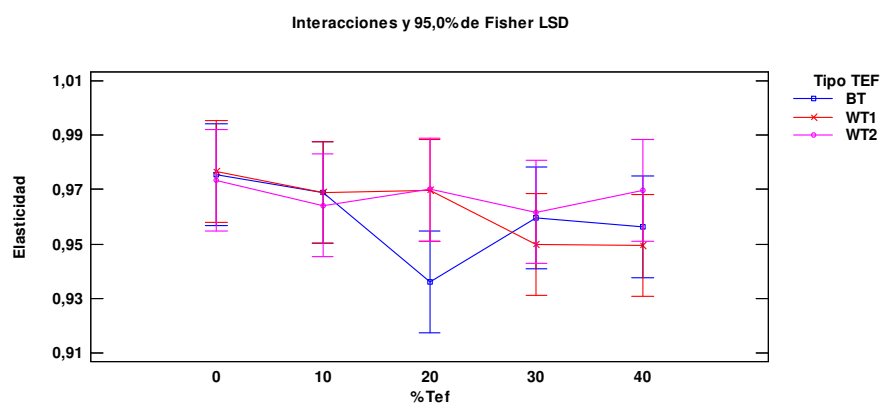


**Figura 5.** Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la masticabilidad de los panes.

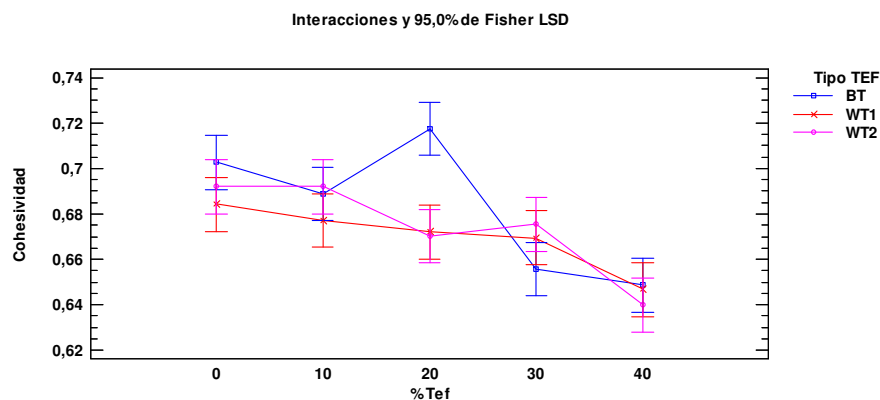
Con el análisis estadístico de los datos, se observó que existían diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) en la dureza de los panes dependiendo de la dosis de tef aplicada. En las variedades BT y WT2 se observó un descenso de la dureza de los panes con porcentajes de hasta el 20% de harina de tef en sustitución de harina de trigo (ver Figura 4). Al incrementar la dosis de tef en un 30 ó 40% la dureza volvió a subir hasta equiparar los valores que presentaban los panes sin tef. En la variedad WT1 las diferencias en la dureza no llegaron a ser significativas y no se pudo demostrar un efecto significativo como resultado de la adición de tef (ver Tabla 4).

La tendencia observada en la evolución de la firmeza de los panes al aumentar la dosis de harina de tef era opuesta y coherente con la observada para el volumen específico (ver Figura 1). Esto es debido, probablemente, a la correlación negativa encontrada entre estas dos variables. Panes más desarrollados suelen encerrar una mayor cantidad de aire y ofrecen una menor resistencia a deformaciones como las aplicadas en los ensayos de textura. Estos resultados también coinciden con otros estudios, como el elaborado por Alaunyte et al. (2012) donde la dureza de los panes también se incrementaba con contenidos de tef del 30% y por Talley et al. (1972) quienes encontraron que sustituyendo harina de trigo por harina de semillas de girasol también se producían panes más compactos, con mayor dureza.

La figura 5 representa el efecto de la dosis y variedad de tef sobre la masticabilidad de los panes. Se comprobó que la dosis de tef ejercía un efecto significativo sobre la masticabilidad de los panes con una evolución muy parecida a la dureza (ver Figuras 4 y 5). La masticabilidad está relacionada directamente con la dureza, ya que este parámetro es resultado del producto: dureza x cohesividad x elasticidad, y donde la dureza es el factor de mayor importancia cuantitativa. Por esto la evolución de la masticabilidad ha sido similar a la de la dureza.



**Figura 6.** Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la elasticidad de los panes

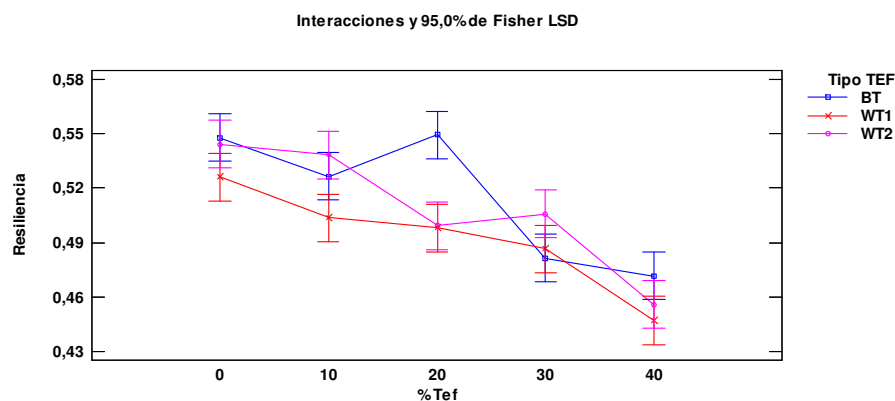


**Figura 7.** Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la cohesividad de los panes

La elasticidad está relacionada con la calidad del pan, así un pan de alta calidad con un buen grado de frescura tiende a valores altos de elasticidad, ya que se define como la capacidad de recuperación de la miga tras la aplicación de la fuerza de deformación (McCarthy et al., 2005). No se encontraron diferencias significativas en la elasticidad de los panes elaborados con tef frente al control ni entre las tres variedades evaluadas y los valores que presentaron son elevados (ver Figura 6), con un rango entre 0,95 – 0,98, recuperándose bien después de la deformación aplicada por la sonda en el ensayo de textura.

La cohesividad está relacionada con la resistencia de la estructura interna del alimento y expresa la deformación sufrida por el alimento antes de romperse. Se comprobó que existían diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) en la cohesividad de los panes para las diferentes dosis, presentando un descenso de sus valores conforme se aumenta la dosis de tef de las tres variedades (ver Figura 7), aunque la pendiente de las curvas es

muy pequeña. También se comprobó que la elasticidad no presentó diferencias significativas entre las tres variedades evaluadas.



**Figura 8.** Efecto de la variedad y de la dosis de tef sobre la resiliencia de los panes

Por último, en la figura 8 se representa la evolución de la resiliencia para diferentes dosis y variedades de tef. La resiliencia representa la capacidad instantánea de recuperación de la miga. Como ocurre con la cohesividad, existió un notable descenso de la resiliencia con el aumento de la dosis. Este descenso se presentó para todas las variedades. También se observaron diferencias en la resiliencia entre las variedades, así la variedad WT1 presentó valores inferiores a las otras dos variedades, BT y WT2.

#### 4.4. Textura de la corteza

Los parámetros texturales de la corteza son importantes a la hora de caracterizar un pan ya que representa la firmeza y crujencia de la corteza. Los resultados obtenidos para estos parámetros se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados obtenidos en la textura de los panes.

| Tipo de tef           | % harina de tef | Fuerza (N)           | Área (N·s)            | Nº Picos           |
|-----------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Control</b>        | 0               | 1,38 <sup>bcd</sup>  | 7,35 <sup>bcde</sup>  | 13,39 <sup>a</sup> |
| <b>BT</b>             | 10              | 1,27 <sup>abc</sup>  | 6,58 <sup>abcde</sup> | 12,67 <sup>a</sup> |
|                       | 20              | 1,39 <sup>abcd</sup> | 6,17 <sup>abcd</sup>  | 13,83 <sup>a</sup> |
|                       | 30              | 2,01 <sup>e</sup>    | 9,25 <sup>e</sup>     | 6,17 <sup>a</sup>  |
|                       | 40              | 0,99 <sup>a</sup>    | 4,49 <sup>a</sup>     | 8,33 <sup>a</sup>  |
| <b>WT1</b>            | 10              | 1,42 <sup>abcd</sup> | 6,89 <sup>abcde</sup> | 16,83 <sup>a</sup> |
|                       | 20              | 1,72 <sup>de</sup>   | 8,59 <sup>cde</sup>   | 16,33 <sup>a</sup> |
|                       | 30              | 1,33 <sup>abcd</sup> | 5,76 <sup>abc</sup>   | 6,17 <sup>a</sup>  |
|                       | 40              | 1,51 <sup>bcd</sup>  | 7,64 <sup>bcde</sup>  | 6,33 <sup>a</sup>  |
| <b>WT2</b>            | 10              | 1,69 <sup>cde</sup>  | 8,82 <sup>de</sup>    | 11,17 <sup>a</sup> |
|                       | 20              | 1,63 <sup>cde</sup>  | 6,44 <sup>abcde</sup> | 8,17 <sup>a</sup>  |
|                       | 30              | 1,09 <sup>ab</sup>   | 5,67 <sup>ab</sup>    | 7,17 <sup>a</sup>  |
|                       | 40              | 1,10 <sup>ab</sup>   | 5,84 <sup>abc</sup>   | 9,83 <sup>a</sup>  |
| <b>Error Estándar</b> |                 | 0,16                 | 1,02                  | 4,89               |

Los valores en una misma columna con letras diferentes, son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

Si comparamos el efecto de la variedad y la dosis de tef mediante un ANOVA factorial podemos concluir que para la fuerza se observaron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ). Estas diferencias se apreciaron en los panes elaborados con dosis del 30 % y 40% con tef de las variedades BT (Dz-Cr-99) y WT2 (Dz-Cr-387), presentando unos valores de fuerza inferiores al pan de trigo. Para la variedad WT1 (Dz-Cr-37) no se presentaron diferencias significativas. Esto indica cortezas menos duras en los panes con elevados porcentajes de tef.

El área y el número de picos no presentaron diferencias significativas entre las variedades ni entre las diferentes dosis de sustitución de harina de trigo por harina de tef. Sin embargo, analizando los valores obtenidos en el número de picos se apreció una tendencia hacia la disminución de los mismos cuando se incrementa la dosis de tef. El número de picos está relacionado con la fracturabilidad de la corteza, así a menor número de picos, la corteza sería más suave en el paladar, menos crujiente.

### 4.5. Estudio de envejecimiento

Para evaluar el envejecimiento de los panes se ha calculado la variación de la dureza para un periodo corto de almacenamiento, 24 horas (1 día) y para un periodo más largo, 168 horas (7 días). Evaluando el endurecimiento después de un día de la elaboración, se pretendió conocer la vida útil de los panes, ya que a partir de ese tiempo por norma general los panes tipo chapata, como es el caso, dejan de ser aceptados por los consumidores, por perder la frescura. Con el estudio del endurecimiento a los 7 días se intentó conocer cómo evolucionó la retrogradación del almidón y la humedad, dos de los parámetros que más influyen en el envejecimiento de los panes (Hager et al. 2011). Los resultados obtenidos para la variación de la dureza se expresan en la tabla 6.

Tabla 6. Variación de la dureza de los panes para el día 1 y 7 de almacenamiento.

| Tipo de tef           | % harina de tef | Dureza día 0         | Δ Dureza día 1      | Δ Dureza día 7       |
|-----------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Control</b>        | 0               | 1,38 <sup>bcd</sup>  | 3,49 <sup>b</sup>   | 5,95 <sup>f</sup>    |
| <b>BT</b>             | 10              | 1,27 <sup>abc</sup>  | 2,42 <sup>ab</sup>  | 2,99 <sup>ab</sup>   |
|                       | 20              | 1,39 <sup>abcd</sup> | 3,81 <sup>bc</sup>  | 2,82 <sup>a</sup>    |
|                       | 30              | 2,01 <sup>e</sup>    | 3,18 <sup>ab</sup>  | 3,73 <sup>abc</sup>  |
|                       | 40              | 0,99 <sup>a</sup>    | 2,96 <sup>ab</sup>  | 3,78 <sup>abc</sup>  |
| <b>WT1</b>            | 10              | 1,42 <sup>abcd</sup> | 2,86 <sup>ab</sup>  | 5,30 <sup>def</sup>  |
|                       | 20              | 1,72 <sup>de</sup>   | 4,31 <sup>bc</sup>  | 4,11 <sup>bc</sup>   |
|                       | 30              | 1,33 <sup>abcd</sup> | 5,65 <sup>c</sup>   | 5,49 <sup>ef</sup>   |
|                       | 40              | 1,51 <sup>bcd</sup>  | 3,54 <sup>abc</sup> | 6,04 <sup>f</sup>    |
| <b>WT2</b>            | 10              | 1,69 <sup>cde</sup>  | 2,94 <sup>ab</sup>  | 4,27 <sup>cd</sup>   |
|                       | 20              | 1,625 <sup>cde</sup> | 1,69 <sup>a</sup>   | 3,31 <sup>abc</sup>  |
|                       | 30              | 1,09 <sup>ab</sup>   | 3,31 <sup>ab</sup>  | 4,35 <sup>cde</sup>  |
|                       | 40              | 1,10 <sup>ab</sup>   | 2,37 <sup>ab</sup>  | 3,40 <sup>abcd</sup> |
| <b>Error estándar</b> |                 | 0,16                 | 0,67                | 0,53                 |

Los valores en una misma columna con letras diferentes, son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

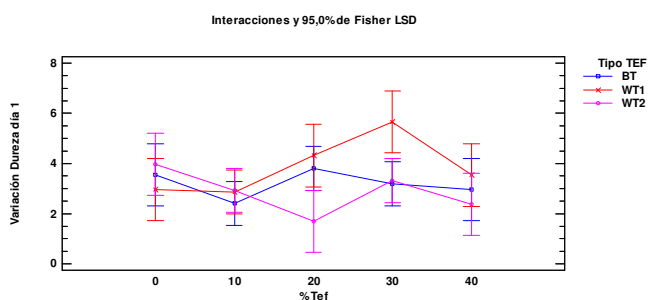


Figura 9. Variación de la dureza para el día 1 de envejecimiento.

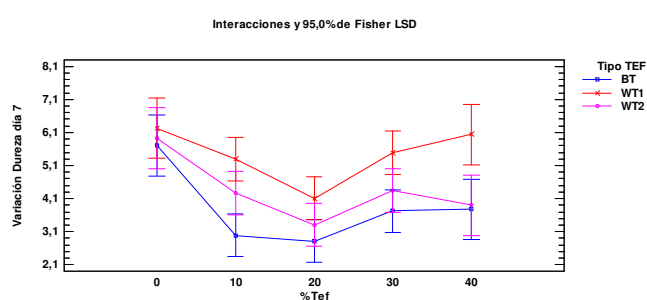


Figura 10. Variación de la dureza para el día 7 de envejecimiento.

Se realizó un ANOVA multifactorial para estudiar como variaba la dureza con las diferentes dosis de tef para las tres variedades (Figuras 9 y 10). Así para el día 1 de envejecimiento, se observaron diferencias significativas para la variación de dureza ( $p < 0,001$ ) respecto a las dosis de tef. Se produjo un incremento de la dureza como en cualquier pan normal, ya que se producen cambios en las propiedades de miga como son un incremento en la cristalinidad del almidón, firmeza, pérdida de aroma y un decrecimiento del almidón soluble y la capacidad de hidratación de la miga (D'Appolonia & Morad, 1981). Rogers, et al., (1988) afirmaron que otra de las causas fundamentales del endurecimiento de los panes es la retrogradación del almidón, y que además se incrementa cuando el contenido de humedad de los panes es elevado, como es el caso de la fórmula utilizada en los panes con tef del presente estudio. En la variedad WT1 se apreció un aumento de la dureza a día 1 con el incremento de la dosis de tef hasta valores del 30% de sustitución de harina de trigo, a partir de ahí comenzó a descender. En las otras dos variedades estudiadas (BT y WT2) no se apreciaron variaciones importantes para los diferentes porcentajes de tef.

Respecto a la variación de dureza después de 7 días de almacenamiento, también se detectaron diferencias significativas entre el pan sin tef y los panes con diferentes porcentajes de tef. Así, los panes con tef tuvieron una dureza más baja que los panes sin tef, presentando los valores más bajos para dosis bajas del 10 y 20%. Esto puede explicarse porque los almidones del tef tienen una menor tendencia a la retrogradación en comparación con los del trigo según afirman Bultosa y Taylor (2004). Para porcentajes de tef del 30 y 40% la dureza comienza a incrementarse, pero solo superando la dureza del pan sin tef el pan de la variedad WT1 al 40%. Estos resultados son contrarios a los expuestos por Alaunyte et al. (2012), que realizó ensayos con panes de tef al 0%, 10%, 20% y 30% y observó que el endurecimiento se incrementaba. Esto puede estar justificado por las diferencias entre las variedades de tef empleadas y por la diferente fórmula de pan elaborado. Hay que destacar también la presencia de diferencias en el endurecimiento de los panes a los 7 días entre las tres variedades evaluadas, así el pan con tef BT presentó valores inferiores de endurecimiento a las otras dos variedades para las diferentes dosis. Las dos variedades de tef blanco (WT1 y WT2) presentaron valores muy similares de endurecimiento a los 7 días de almacenamiento.



#### 4.6. Evaluación sensorial

La valoración sensorial de los panes quizás sea una de las características más importantes a la hora de evaluar un producto alimenticio novedoso como son los panes enriquecidos con tef. Si los resultados de esta prueba son negativos todos los demás parámetros estudiados caerían en la ambigüedad, ya que si los potenciales consumidores no están satisfechos con el producto no existiría una posible comercialización de los mismos.

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial para las diferentes características de los panes se muestran en la tabla 7. Hay que resaltar que en este caso los panes de tef se compararon con dos panes control. El control 1, que correspondió a un pan de trigo y el control 2, que correspondió a un pan de trigo integral (con salvado de trigo), sin tef en ninguno de los dos casos. El empleo de estos dos controles permitió obtener mejores conclusiones, ya que la harina de tef contiene toda la fibra de los granos de los que proviene y por tanto las características sensoriales son más semejantes a las que presenta un pan de trigo integral.

Tabla 7. Resultados de la evaluación sensorial de todas las elaboraciones.

| Tipo de pan           | Dosis de tef (%) | Aceptación global    | Aspecto visual       | Intensidad de olor   | Textura             | Intensidad del sabor | Persistencia del sabor |
|-----------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|
| <b>Control 1</b>      | 0                | 6,87 <sup>e</sup>    | 7,12 <sup>e</sup>    | 6,53 <sup>cd</sup>   | 6,93 <sup>de</sup>  | 6,41 <sup>cd</sup>   | 6,22 <sup>ab</sup>     |
| <b>Control 2</b>      | 0                | 6,20 <sup>bcd</sup>  | 6,37 <sup>cd</sup>   | 6,33 <sup>abcd</sup> | 5,57 <sup>a</sup>   | 6,23 <sup>bcd</sup>  | 6,29 <sup>b</sup>      |
| <b>BT</b>             | 10               | 6,50 <sup>cde</sup>  | 6,03 <sup>abcd</sup> | 6,63 <sup>cd</sup>   | 6,87 <sup>de</sup>  | 6,17 <sup>bcd</sup>  | 6,03 <sup>ab</sup>     |
|                       | 20               | 6,34 <sup>cde</sup>  | 5,63 <sup>ab</sup>   | 5,80 <sup>a</sup>    | 6,80 <sup>de</sup>  | 6,47 <sup>cd</sup>   | 6,03 <sup>ab</sup>     |
|                       | 30               | 5,67 <sup>ab</sup>   | 5,67 <sup>ab</sup>   | 6,17 <sup>abcd</sup> | 5,83 <sup>ab</sup>  | 5,83 <sup>abc</sup>  | 5,72 <sup>ab</sup>     |
|                       | 40               | 6,03 <sup>abc</sup>  | 5,50 <sup>a</sup>    | 6,60 <sup>cd</sup>   | 6,06 <sup>abc</sup> | 5,43 <sup>a</sup>    | 5,67 <sup>ab</sup>     |
| <b>WT1</b>            | 10               | 6,70 <sup>de</sup>   | 6,63 <sup>de</sup>   | 6,53 <sup>bcd</sup>  | 7,00 <sup>de</sup>  | 6,20 <sup>bcd</sup>  | 6,03 <sup>ab</sup>     |
|                       | 20               | 6,40 <sup>cde</sup>  | 6,37 <sup>bcd</sup>  | 6,20 <sup>abcd</sup> | 6,30 <sup>bcd</sup> | 6,17 <sup>bcd</sup>  | 6,14 <sup>ab</sup>     |
|                       | 30               | 6,47 <sup>cde</sup>  | 6,20 <sup>abcd</sup> | 6,80 <sup>d</sup>    | 6,37 <sup>bcd</sup> | 6,13 <sup>abcd</sup> | 6,13 <sup>ab</sup>     |
|                       | 40               | 5,57 <sup>a</sup>    | 5,67 <sup>ab</sup>   | 5,87 <sup>ab</sup>   | 5,67 <sup>ab</sup>  | 5,67 <sup>ab</sup>   | 5,59 <sup>a</sup>      |
| <b>WT2</b>            | 10               | 6,87 <sup>e</sup>    | 6,77 <sup>de</sup>   | 6,03 <sup>abc</sup>  | 7,17 <sup>e</sup>   | 6,57 <sup>c</sup>    | 6,24 <sup>ab</sup>     |
|                       | 20               | 6,40 <sup>cde</sup>  | 6,77 <sup>de</sup>   | 6,10 <sup>bc</sup>   | 6,70 <sup>cde</sup> | 6,37 <sup>bcd</sup>  | 6,07 <sup>ab</sup>     |
|                       | 30               | 6,13 <sup>abcd</sup> | 5,87 <sup>abc</sup>  | 6,07 <sup>abc</sup>  | 6,60 <sup>cde</sup> | 5,90 <sup>abcd</sup> | 6,07 <sup>ab</sup>     |
|                       | 40               | 5,87 <sup>abc</sup>  | 5,66 <sup>ab</sup>   | 6,10 <sup>abc</sup>  | 5,53 <sup>a</sup>   | 5,90 <sup>abcd</sup> | 5,69 <sup>ab</sup>     |
| <b>Error estándar</b> |                  | 0,24                 | 0,26                 | 0,25                 | 0,27                | 0,26                 | 0,28                   |

Los valores en una misma columna con letras diferentes, son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Todos los panes elaborados tuvieron una valoración superior o próxima al 6 (“me gusta ligeramente”) en las características evaluadas, por lo que todos poseían cualidades que agradan a los consumidores.

La aceptación global mostró diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) respecto a las dosis de tef empleadas en sustitución de harina de trigo. Los panes mejor puntuados fueron los que contenían una riqueza del 10% de tef y el pan sin tef y sin salvado. Después le siguen los panes con un 20 % y un 30% de harina de tef respectivamente y el pan con salvado de trigo y por último, los del 40% de enriquecimiento. Así el aumento de la dosis de tef por encima del 20% condujo a una puntuación en aceptación global menor que en la del pan de trigo. Sin embargo, sí que existió una mejor aceptación de panes enriquecidos con tef hasta un 30% si los comparamos con el pan integral, en igualdad de condiciones, dado el contenido de fibra que aporta el tef.

Si comparamos el efecto del tipo de tef y su dosis con la aceptación global, a través de un ANOVA multifactorial, podemos apreciar que la variedad de tef no tuvo un efecto significativo sobre la aceptación global de los panes. Así, también se observó cómo al aumentar la dosis de tef descende el grado de aceptación global de los panes.

Sobre los otros atributos incluidos en la evaluación sensorial podemos decir que existieron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) para el aspecto visual cuando variaban las dosis de harina de tef y las variedades. Fueron mejor valorados los panes elaborados con las dos variedades de tef blanco (WT1 y WT2) que los elaborados con tef marrón (BT) algo normal dado al cambio de coloración que adquieren los panes elaborados con este último respecto de los panes clásicos, consumidos diariamente. El mejor valorado, fue el pan normal sin tef ni salvado, seguido de los panes elaborados con tef blanco con porcentajes del 10 y 20% de sustitución por harina de tef. En el anexo 1 se recogen las fotografías de las diferentes elaboraciones.

La textura presentó diferencias significativas cuando se modifica la dosis de tef, pero no entre las tres variedades evaluadas. Realizando un ANOVA multifactorial entre el porcentaje de tef y los tipos de pan elaborados se pudo apreciar que no existían diferencias significativas ( $p > 0,001$ ) entre las tres variedades evaluadas, sin embargo sí que apreciaron diferencias entre los porcentajes de tef. Los mejor valorados fueron los panes con un 10% de tef y el normal sin tef, seguidos por los panes con un 20% y un 30% de harina de tef. Los peor valorados fueron los panes con un 40% de harina de tef y el pan de trigo integral.

Para la intensidad del olor no existieron diferencias significativas cuando se variaban las dosis de tef ni las variedades

También, se han evaluado dos atributos del sabor, la intensidad y la persistencia. La intensidad, como ocurre en los casos anteriores, presentó diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre las dosis de tef utilizadas pero no entre las tres variedades evaluadas y para la persistencia no se apreciaron diferencias entre variedades ni porcentajes. Así la intensidad del sabor tuvo una valoración más alta en los panes de trigo normal, integral y con porcentajes bajos de harina de tef (10 y 20%). A partir de la sustitución de harina de trigo con un 30% de harina de tef, los valores descendieron siendo el peor puntuado el tef marrón (BT) al 40%, aunque su puntuación superó el valor intermedio de la escala (“ni me gusta, ni me disgusta”) por lo que esta valoración tampoco es negativa. Estos resultados se pueden explicar por el sabor amargo que aporta el tef dado el alto contenido en minerales y fibra que contiene. Los compuestos fenólicos que se encuentran en el salvado de los cereales también contribuyen a potenciar el sabor amargo como sucede con los panes de trigo integrales o los clásicos panes de centeno (Heinio et al., 2008).

Por último, hay que comentar las conclusiones obtenidas del cuestionario que rellenaron los panelistas junto a la ficha de cata, así como las opiniones que expresaron de los diferentes panes. Los resultados más interesantes, fueron que el 47% consume pan integral frecuentemente, el 60% consume otros productos integrales y que el 82% de los jueces estaría dispuesto a adquirir un producto enriquecido nutricionalmente, como es el caso de los panes de tef, aunque tuviese mayor coste que un producto normal.

Algunos panelistas han coincidido en las opiniones que han expresado, así destacaron que los panes con más de un 30% de harina de tef presentaban una textura diferente a la de los otros panes, “arenosa”, “áspera”, un poco desagradable. Además los panes con altas dosis de tef también tenían una mayor tendencia a “desmigajarse” que los panes sin tef o con dosis bajas. Los panes con porcentajes de tef del 10% o el 20% destacaron positivamente por su gran aroma, su aspecto visual y la textura de la miga “más tierna y esponjosa” que la de panes con dosis más elevadas de tef o que el pan integral.

Estos resultados coinciden en gran medida con los obtenidos para algunos de los parámetros físicos. Así los panes con menores valores de cohesividad y elasticidad coinciden con los panes que más se desmigaban en el análisis sensorial y los que presentaban un mayor volumen coincidieron con los que tuvieron una miga más apreciada por los catadores.

## **5. CONCLUSIONES**

La elaboración de panes con tef en sustitución de parte de la harina de trigo, puede proporcionar un producto interesante desde el punto de vista nutricional. Cuando las dosis son bajas (10% y 20%) algunos parámetros de la calidad física mejoran como el volumen y la dureza respecto del pan de trigo. Para dosis más elevadas (30% y 40%) el volumen desciende, aumenta la tendencia de la miga a desmigajarse y los colores son más rojizos, oscuros y menos luminosos.

Respecto a las tres variedades evaluadas, podemos decir que existieron pocas diferencias siendo la más significativa el color que caracteriza a los panes elaborados con la variedad marrón (Dz-Cr-99) en comparación con las otras dos variedades de tef blanco (Dz-Cr-37 y Dz-Cr-387).

La valoración sensorial de los panes ha sido buena siendo los mejor valorados los panes con bajas dosis de tef dado que se aproximan más a las características organolépticas de los panes clásicos y los peor puntuados los de altas dosis, pero siendo aceptados por los catadores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este Trabajo Fin de Master ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto AGL2012-35088) y por la Comunidad de Castilla y León (Proyecto VA252A12-2). El autor de este trabajo agradece el apoyo y ayuda de D. Workineh Abebe a lo largo del desarrollo de este trabajo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Abebe, W., Ronda, F. 2014. Rheological and textural properties of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) grain flour gels. *Journal of Cereal Science* 60:1, 122-130.
3. 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.
4. Arguedas, P. 2008. TEF. Survey on the nutritional and health aspects of Teff (*Eragrostis tef*). Memorias, Red-Alfa Lagrotech, Comunidad Europea, Cartagena.
5. Bultosa, G., et.al. 2002. Physico-chemical Characterization of Grain Teff (*Eragrostistef* (Zucc.) Trotter) Starch. *Starch / Stärke*, 54, 461- 468.
6. Bultosa, G. y Taylor, J.R.N. 2004. Teff. En C. Wrigley, H. Corke y C.H. Walker (Eds.), *Encyclopedia of Grain Science*, 281-290. Oxford: Elsevier Academic Press.
7. Bultosa, G. 2007. Physico-chemical characterization of grain and flour in 13 teff (*Eragrostis tef* (ZUCC.) Trotter) grain varieties. *Wiley internet Journal of Applied Sciences Research* 3: 2042-2051.
8. Collar, C., Angioloni, A. 2014. Pseudocereals and teff in complex breadmaking matrices: Impact on lipid dynamics. *Journal of Cereal Science* 59, 145-154.
9. Hruskova, M., Svec I., Jurinová, I. 2012. Composite Flours-Characteristics of Wheat/Hemp and Wheat/Teff Models. *Food and Nutrition Sciences*, 3. 1484-1490.
10. D'Appolonia, L., & Morad, M. 1981. Bread staling. *Cereal Quemistry*, 58, 186-190.
11. Demeke M., Di Marcantonio F. 2013. Analysis of incentives and disincentives for teff in Ethiopia. Technical notes series, MAFAP, FAO, Rome.
12. Ezpeleta, J. I., Callejo, M. J. 2010. Calidad harino-panadera de la harina de teff (*Eragrostis tef* (ZUCC.) TROTTER). Departamento de Tecnología de Alimentos. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Libro de actas, 87-90.
13. Hager, A.S., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., Arendt, E.K. 2012. Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 56, 239-247.
14. Heinio, R.L., Liukkonen, K.H., Myllymaki, O., Pihlava, J.M., Adlercreutz, H., Heinonen, S.M., Poutanen, K. 2008. Quantities of phenolic compounds and their

- impacts on the perceived flavour attributes of rye grain. *Journal of Cereal Science* 47, 566 - 575.
15. 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.
  16. Marian, K., Malde, Legesse Zerihun., Kjell Bjorvatn., and Kare Julshamn. 2010. Intake of iron, zinc and iodine in 28 Ethiopian children living in WonjiShoa Sugar Estate, assessed by duplicate portion technique Scientific. *Academic Journals. Research and Essays*, Vol. 5:8, 730-736.
  17. McCarthy, D., Gallaguer, E., Gormley, T., Schober, T., & Arendt, E. 2005. Application of response surface methodology in the development of gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82, 609-615.
  18. Mengesha, M.H. 1966. Chemical composition of teff (*Eragrostis tef*) compared with that of wheat, barley and grain sorghum. *Economic Botany*, 20, 268-273.
  19. 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.
  20. Rogers, D., Zeleznak, K., & Lai, C. H. 1988. Effect of native lipids, shortening and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, 65, 398-401.
  21. Roosjen, J. 2007. Procesamiento de harina de teff. ES 2281011T3. Oficina Española de Patentes y Marcas.
  22. 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.
  23. Stallknecht, G. F., Gilbertson, K.M., and Eckoff, J.L. 1993. Teff: Food Crop for Humans and Animals. J. Jamick and J.E. Simon (eds.), *New Crops*. Wiley, New York. USA, 231 - 234.
  24. Stewart, R.B. and S. Getachew. 1962. Investigations of the nature of Injera. *Econ. Bot.* 16:127-130.
  25. Talley, L., Brummett, B. and Burns, E. 1972. Sunflower food products. Texas A & M University, the Texas Agricultural Experiment Station, MP 1026.
  26. Taylor, J.R.N., Bultosa, G., Yetneberk, S., 2003. Properties of Tef Starch and Its Role in Injera Quality. American Association of Cereal Chemists, Portland, USA.



**ENRIQUECIMIENTO DE PAN CON HARINAS  
DE TEF DE DIFERENTES VARIEDADES.  
EVALUACIÓN DE SU CALIDAD FÍSICA Y  
SENSORIAL**

**ANEXO I**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2013/2014**

**Alumno: David Santos Barreales  
Tutora: Felicidad Ronda Balbás**

**Master en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos  
E.T.S. Ingenierías Agrarias  
Campus de Palencia  
Universidad de Valladolid**

**FOTOGRAFÍAS DE LOS PANES**

**ELABORACIÓN 1: PAN DE TRIGO SIN TEF**



**ELABORACIÓN 2: PAN DE TRIGO SIN TEF, INTEGRAL**



**ELABORACIÓN 3: TEF BT AL 10%**





**ELABORACIÓN 4: TEF BT AL 20%**



**ELABORACIÓN 5: TEF BT AL 30%**



**ELABORACIÓN 6: TEF BT AL 40%**



**ELABORACIÓN 7: TEF WT1 AL 10%**



**ELABORACIÓN 8: TEF WT1 AL 20%**



**ELABORACIÓN 9: TEF WT1 AL 30%**





**ELABORACIÓN 10: TEF WT1 AL 40%**



**ELABORACIÓN 11: TEF WT2 AL 10%**



**ELABORACIÓN 12: TEF WT2 AL 20%**



**ELABORACIÓN 13: TEF WT2 AL 30%**



**ELABORACIÓN 14: TEF WT2 AL 40%**

