



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**TRABAJO FIN DE MASTER**

**Calidad, Desarrollo e Innovación de los Alimentos**

**CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA  
DE TEFF PARA SU USO EN  
PANIFICACIÓN**

**Alumno/a: JAVIER MÍNGUEZ DÍEZ**

**Tutor/a: FELICIDAD RONDA BALBÁS**

**ÍNDICE:**

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN.</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.</b>	<b>2</b>
1.1. Definición e historia del teff.	2
1.2. Valor nutricional.	2
1.3. Aspectos médicos y beneficios que puede aportar el teff.	3
1.4. Situación actual del teff en España y Europa.	4
1.5. Usos del teff.	5
1.6. Caracterización física del almidón de teff.	6
1.7. Influencia del teff en mezclas con trigo para panificación.	7
<b>2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.</b>	<b>13</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	<b>14</b>
3.1. Contenido de humedad.	14
3.2. Caracterización de las harinas (mediante ensayos farinográficos).	14
3.3. Reología de las harinas (mediante ensayos alveográficos).	14
3.4. Propiedades de empastado de las harinas (RVA).	15
3.5. Características de fermentación de las harinas (mediante ensayos con el Reofermentómetro).	17
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	<b>19</b>
4.1. Caracterización de la harina mediante ensayos farinográficos.	19
4.2. Ensayos alveográficos.	20
4.3. Propiedades de empastado.	21
4.4. Características de fermentación.	22
<b>5. CONCLUSIONES.</b>	<b>26</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>27</b>

**RESUMEN.**

En los últimos años cada vez son más demandados alimentos funcionales, dietéticos, para colectivos con intolerancias o alergias alimentarias, etc. En este campo destaca un cereal como el teff que se ha cultivado en Etiopía durante miles de años. Actualmente se ha empezado a introducir en Europa y occidente debido a sus propiedades nutricionales y por ser un cereal libre de gluten. Este estudio trata de introducir este cereal en un producto de gran consumo en occidente como es el pan de trigo y comprobar de qué manera afectan estas adiciones de teff a las características de las masas panarias. Por los datos obtenidos en este trabajo se refleja que la harina de teff empeora las características típicas del pan de trigo sobre todo en altas adiciones, como el 40 %. Las pequeñas adiciones hasta un 10 % aportan características interesantes nutricionales, sin perjudicar en exceso las características físicas y organolépticas del pan de trigo.

**ABSTRACT.**

In the last years, functional foods, dietary products or special products to people with food intolerances or allergies, etc... are more and more demanded. In this field, a cereal such as teff cultivated in Ethiopia for thousands of years, it's very important. Actually, teff is being introduced in Europe and the West because of its nutritional properties and because it is a gluten-free cereal. This study is about the introduction of this cereal in a product very consumed in the West such as wheat bread and how these teff additions affect dough characteristics. Dates obtained in this study show that teff flour makes worse the typical characteristics of wheat bread in high additions, until 40%. The little additions, until 10%, give very interesting nutritional properties, without damage enough the organoleptics wheat bread characteristics.

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

### 1.1. Definición e historia del teff.

Teff o tef (*Eragrostis tef*) es una planta herbácea anual de la familia de las poáceas (Gramíneas) de semilla comestible (Stallknecht, 1997; Yu, 2006). su grano es el más pequeño de los cereales (aproximadamente 0,6-1mm de diámetro y 1-1,6 mm de longitud), 150 granos equivalen a un grano de trigo (Ketema, 1987) y es de color beige. Se cultiva principalmente en Etiopía y Eritrea pero también en la India y Australia. El teff es un cereal consumido desde hace cinco mil años por la población etíope gracias a su adaptación a las tierras que padecen sequía y al estrés hídrico, a distintos niveles de altitud, adaptación a distintos tipos de cultivo, resistencia a plagas y enfermedades (Bultosa, 2007). Se le conoce como "el trigo de Etiopía". De su grano se obtiene la harina, con la que elabora la "Ingera" un tipo de tortilla de gran tamaño que acompaña al "wot" un guiso típico de Etiopía. Desde hace pocos lustros este cereal se ha empezado a usar y se comercializa en varios países desarrollados como Estados Unidos, Holanda, Alemania, Francia, Inglaterra o España entre otros (Stallknecht, 1993).

### 1.2. Valor nutricional.

En comparación con otros cereales, tales como el trigo, la cebada y el sorgo, el teff tiene un valor nutricional superior (Mengesha, 1965). El alto valor nutricional del teff se debe en buena parte al hecho de que la proporción de germen y salvado es grande en comparación con el resto de la semilla (endospermo). Otro motivo es que, debido al pequeño tamaño de la semilla, la harina se elabora principalmente a partir del grano completo, de modo que no se pierde ninguna parte (Bultosa et al., 2002). Es un cereal libre de gluten, lo que le hace ideal para celíacos (Mengesha, 1965).

Desde un punto de vista nutritivo tiene características interesantes ya que contiene gran cantidad de fibra alimentaria y hierro, además de proteínas y calcio. Lo comparan con el mijo o la quínoa por su semejanza, aunque la semilla es más pequeña y con un gusto amargo (Bultosa et al., 2003). Tiene una gran proporción de almidón lentamente digerible que se hidroliza despacio, aunque lo hace en el intestino delgado y también una gran proporción de almidón resistente, que llega intacto al intestino grueso. Por lo que es muy adecuado para una estimulación de la flora natural actuando como si de un probiótico se tratara.

Es rico en minerales libres como el Ca, Mg, Mn y K que ayudan en la recuperación rápida después de un esfuerzo físico o desgaste mental. Destaca su contenido en

Calcio por lo que es recomendado en procesos de descalcificación, osteoporosis y en el crecimiento infantil (Cabrera et al., 2008).

Sus proteínas de gran calidad son comparadas con las del huevo (Arguedas Gamboa, 2008). Es fuente de 8 aminoácidos esenciales, destacando la lisina, inexistente o escasa en algunos cereales como el trigo o la cebada. La lisina tiene un papel importante, ya que interviene en el proceso metabólico del Calcio ayudando al mismo a que pase del torrente sanguíneo a la estructura ósea. Las proteínas del grano se presumen también de fácil digestión porque las prolaminas son muy pequeñas (Twidwell et al., 2002).

El valor nutricional del teff, por 100 g de harina es: Valor energético 330 Kcal/1399 kJ, proteínas 13,3 g, hidratos de carbono 65,4 g, grasas 2,1 g, de las cuales saturadas 0,7 g, monoinsaturadas 0,7 g, polinsaturadas 0,7 g, omega-3 135 mg, omega-6 936 mg, fibra 7,9 g, calcio 170 mg, potasio 480 mg, hierro 5,4 mg, vitamina C 0,2 mg, manganeso 3,8 mg, cobre 0,7 g, zinc 4,4 mg, y magnesio 186 mg (Bultosa, 2002).

### **1.3. Aspectos médicos y beneficios que puede aportar el teff.**

Entre los beneficios para la salud atribuibles al teff, se encuentra la posibilidad de ser consumido por los enfermos intolerantes al gluten. La característica clínica de la intolerancia al gluten, es la destrucción de las vellosidades del intestino (Morón et al., 2008) que es responsable de una mala absorción de nutrientes. Estas características pueden variar de paciente a paciente, dependiendo de la severidad y grado de la enfermedad (Wieser y Koehler, 2008). La intolerancia al gluten ha sido considerada tradicionalmente como un trastorno infantil poco común. En realidad es frecuente en todas las edades. La intolerancia al gluten es sobre todo frecuente en Europa y los países a los que los europeos han emigrado, incluyendo América del Norte, América del Sur y Australia. Sin embargo, se encuentra cada vez más en las zonas del mundo en desarrollo, como África del Norte, Oriente Medio y la India (Wieser y Koehler, 2008). La teoría aceptada en la actualidad se basa en una respuesta inmune primaria a las proteínas del gluten como antígenos y transglutaminasa tisular (TG), que ha sido identificado como un auto antígeno (Wieser y Koehler, 2008). En la actualidad se reconoce que está universalmente distribuido, con una prevalencia estimada del 1-2% en la población en general (Cabrera et al., 2008). Debido a este aumento de diagnósticos de personas intolerantes al gluten es muy interesante investigar sobre el

teff que no posee estas proteínas ya que puede ser una fuente de alimentación importante para este colectivo.

El consumo de teff tiene también efectos positivos contra la anemia. En estas personas, la sangre no lleva suficiente oxígeno al resto del cuerpo. Como resultado, se sienten cansadas, junto con otros síntomas, debido a que sus cuerpos no reciben suficiente oxígeno. La falta de ácido fólico o vitamina B12, también puede ser causa de la anemia. Los etíopes a pesar de ingerir gran cantidad de teff, que es rico en hierro (Zein et al., 1987 & ministry of health Ethiopia, 1987; Foy et al., 1960; Larysse et al., 1964), siguen teniendo deficiencias. Marian (2010), realizó un estudio en niños y averiguó que sólo un 4% tenía una ingesta de hierro menor a la adecuada. Sus deficiencias eran debidas a que la ingesta de carne y otros alimentos ricos en ácido ascórbico (vitamina C), que mejoran la absorción del hierro no-hemo (Adish et al., 1998), no se consumían casi nunca (Mahiou et al., 1992). Se puede concluir que el teff contiene un alto nivel de hierro.

Otro de los beneficios que puede tener sobre la salud el teff podría ser una influencia positiva sobre la osteoporosis, debido a su alto contenido de calcio, que previene la osteoporosis. El calcio hace los huesos más fuertes (Arguedas Gamboa et al., 2008).

Otra de las enfermedades que se ven contrarrestadas por el consumo de teff es la diabetes. El teff tiene un índice glucémico bajo, ya que tiene una gran cantidad de hidratos de carbono de asimilación lenta. Esto puede ser positivo para los pacientes con diabetes, ya que al ingerir hidratos de carbono lentos, el azúcar en la sangre es más constante. Aunque, depende extremadamente de la combinación de ingredientes, la cantidad y la preparación del alimento. Por este motivo el teff también es muy adecuado para deportistas de alto rendimiento que tienen una necesidad rápida y prolongada de hidratos de carbono. Proporciona una energía vital inmediata y duradera. Para personas con sobrepeso que quieren controlar su peso el teff también es interesante, ya que posee un alto poder saciante y regulador del apetito (Arguedas Gamboa et al., 2008).

#### **1.4. Situación actual del teff en España y Europa.**

Actualmente se están realizando ensayos de este cereal en Castilla y León y el resto de España porque, además de los beneficios alimenticios, puede ser un buen negocio para el agricultor por su precio elevado y estable. El teff es un cereal que

necesita un clima de montaña, temperatura media de 10° C y nunca inferior a -5° C y humedad para nacer., Después la planta no necesitará riego y crecerá muy rápido. El crecimiento del teff es muy sensible a la duración del día afectando a su longitud. También la profundidad de siembra es un factor a tener en cuenta, ya que si se planta a una profundidad correcta la planta puede surgir en 3 o 4 días. La siembra de este cereal comienza en mayo y la recolección debe hacerse a los 50-55 días después de la siembra (Lacefield, 2008). En su precio influye el hecho de que su semilla esté restringida y que haya una única propietaria de la patente del teff ecológico en Europa (Ecosem Europa), América del Norte y Japón. Desde hace varios años se comercializa ya en Estados Unidos, Canadá, Holanda, Alemania, Francia, Inglaterra, etc (<http://www.diariopalentino.es/noticia.cfm/Provincia/20100922/palencia/logra/picos/2700/kggha/ensayos/teff/12E5A643-09E1-3C7A-DAC8EA1515DD63C3>).

Las primeras pruebas en España se hicieron en Abia de las Torres (Palencia), como cultivo ecológico, con siembras en abril y temperaturas bajas que dificultaron la nascencia y provocaron un crecimiento lento. En las campañas de 2007 y 2008 se optó por ir retrasando la siembra a mayo para asegurar mejores temperaturas. Además se apostó por una mayor aportación de agua para forzar la nascencia, pero sin provocar un estrés hídrico. En 2009 fueron especialmente cuidadosos en el control del agua aportado, la vigilancia de las malas hierbas y la recolección cuando el teff estaba maduro y seco. En la última campaña se han decantado definitivamente por tierras de regadío y una siembra tardía que permite realizar otro cultivo con anterioridad. Las pruebas han demostrado que el teff puede funcionar en suelos ligeros, con un mayor porcentaje de arena. Lo más problemático es la nascencia, que precisa unas condiciones muy peculiares. Actualmente en España se cultivan 1.000 hectáreas de este cereal, del que se obtienen 1.500 kilos por hectárea, aunque las cifras siguen en aumento (<http://www.elmundo.es/elmundo/2010/05/30/castillayleon/1275210980.html>).

### **1.5. Usos del teff.**

Su principal uso es la alimentación humana. El teff en Etiopía se utiliza para producir injera (pan plano etíope), se utiliza para envolver todo tipo de alimentos. Es un pan que se deja fermentar durante 3 días, de esta forma aumenta su valor nutricional, tiene un sabor agrio. El microorganismo principal de esta fermentación es la levadura, *Candida guilliermondii* (Stewart y Getachew., 1962). También se consume como gachas y se utiliza como un ingrediente en bebidas alcohólicas. El teff es un cereal muy versátil. La harina de teff se puede utilizar como un sustituto de parte de

otros cereales en los productos horneados. Es un buen espesante para sopas, guisos, salsas, etc (Zedwu, 2007) y también se puede utilizar en platos salteados (Bultosa et al., 2002).

Los usos a los que se está destinado este cereal en Europa son pan, bizcochos, batidos dietéticos, barritas energéticas y todo tipo de aplicaciones vinculadas a los cereales y la harina (Roosjen, 2007).

En occidente este cereal se está usando para alimentos libres de gluten, alimentos dietéticos y para deportistas, por su alto valor nutricional.

### **1.6. Caracterización física del almidón de teff.**

Las características físicas de un alimento son el resultado de la concentración de sus macro-componentes, su relación y su comportamiento bajo diferentes condiciones ambientales. Bultosa (2007) estudió factores de calidad de granos y harinas de trece variedades de teff y comprobó que la superficie del gránulo es lisa, sin evidencia de poros, y que los gránulos son de pequeño tamaño, en comparación con el almidón de maíz.

Cuanto menor es el tamaño granular de almidón, mayor será su superficie específica y mayor su absorción de agua. Un estudio anatómico del grano teff ha revelado que contiene gránulos de almidón compuestos, similares a los de arroz y amaranto. El pericarpio del grano también contiene gránulos de almidón como en el caso del sorgo. El tamaño de los gránulos es ligeramente mayor que el del amaranto, los cuales son de 1-2 micras de diámetro y comparables en tamaño a los gránulos individuales del almidón de arroz, que son 3-5 micras de diámetro. Los gránulos de almidón en las diferentes variedades de teff son morfológicamente similares entre sí. La mayoría de los gránulos tienen un número elevado de lados, mientras que unos pocos presentan forma esencialmente cúbica (Bultosa et al., 2002). El análisis de rayos X del gránulo de almidón de teff da un almidón, aparentemente más amorfo que el almidón de maíz, pero similar al arroz y sorgo en el nivel de cristalinidad.

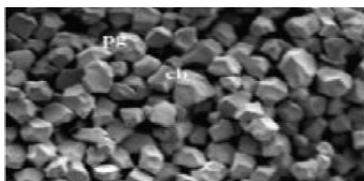


Figura.1.1. Gránulos individuales de almidón de teff (Bultosa et al., 2002).

La temperatura de gelatinización es similar a la de otros cereales tropicales. El grado de cristalinidad en el almidón de teff es menor. El rango de temperaturas de gelatinización es 68,0-74,0-80,0 °C, típico de los almidones de cereales tropicales, y se asemeja a la gama de temperaturas de almidón de arroz. El almidón de teff tiene un mayor índice de absorción de agua (media 108%) y menor índice de solubilidad (media 0,34%) que el almidón de maíz (Bultosa et al., 2002). Estas propiedades junto con la considerable menor viscosidad de la pasta (pico, ruptura y retroceso), en comparación con el almidón de maíz, han sido relacionadas con el tamaño de los gránulos de almidón del teff que son más pequeños que los del maíz (Bultosa y Taylor, 2003).

### **1.7. Influencia del teff en mezclas con trigo para panificación.**

En los últimos años se viene estudiando el empleo de harina de teff en panificación, generalmente en sustitución de una parte de la harina de trigo. Las dosis de sustitución estudiadas hasta ahora no han superado el 30%. Uno de los principales efectos observados como consecuencia de su adición, está relacionado con su elevada capacidad de absorción de agua y su estabilidad y tolerancia al amasado, normalmente establecida mediante ensayos farinográficos. Ezpeleta y Callejo (2010) obtuvieron valores mayores de absorción de agua en las muestras con mayor adición de teff en trigo, en consecuencia obtuvieron panes con mayor peso. En cambio Marian (2009) encontró que la adición de harina de teff a harina de trigo no causó un aumento significativo en la absorción de agua establecida mediante ensayos farinográficos, con excepción de las muestras con un 15% y un 20% de teff donde disminuyó. Esto puede ser debido a que la harina de teff es integral. Esta autora tampoco encontró diferencias significativas en el tiempo de desarrollo de la masa debido a la adición de teff. Pero el tiempo de estabilidad de la masa y el número de calidad de farinógrafo (este número indica la fuerza de la harina), sí que disminuyó a medida que el nivel de harina de teff aumentó. Se obtuvieron resultados similares por Khalil et al., (2000). Por otro lado los resultados revelaron que el tiempo de decaimiento ablandamiento aumentó con el porcentaje de harina de teff. Tiempo de desarrollo y valor de la estabilidad son indicadores de la fuerza de harina. Valores más altos, sugieren una masa más fuerte (Wang et al., 2002). Por lo que la adición de teff da masas con menor fuerza.

Alaunyte et al. (2012), realizaron un estudio para comprobar cómo afectaban las adiciones de teff de 0, 10, 20 y 30% a las masas y al pan, y cómo mejorarían estos panes con la adición de enzimas. Este autor encontró que en las harinas de trigo

mezcladas con teff se incrementaba significativamente ( $P < 0,05$ ) la absorción de agua. Ben-Fayed et al. (2008) y Mohammed et al. (2009), encontraron una tendencia similar para las masas suplementadas con teff. Esto puede estar relacionado con el pequeño tamaño de gránulo de almidón de teff, y por tanto, con su mayor superficie para que el agua sea absorbida. La mayor absorción de agua (WA) probablemente afectó el tiempo de desarrollo de masa (DDT), que significativamente ( $P < 0,05$ ) aumentó con la adición de teff. Resultados similares se obtuvieron también con suplementación de harina de trigo por amaranto, que sugiere que la absorción de agua aumentó debido al pequeño tamaño de los granos de amaranto. La estabilidad de la masa (DST) disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ) cuando la adición de teff se encontraba en los niveles más altos (20 y 30%). El grado de decaimiento de la masa (DS) también disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ). Los valores de estabilidad de la masa y ablandamiento dan una indicación de la tolerancia y la tasa de descomposición, respectivamente. Esto sugiere que la masa que contiene mayor nivel de harina de teff tiene menos estabilidad durante la fase de mezcla y es más propensa a la descomposición temprana y rápida. La disminución de los valores de estabilidad de la masa y ablandamiento, podría ser explicada por la dilución de gluten formador de masa por la adición de harina de teff en los niveles de 10 a 30% basado en el peso de la harina. Resultados similares fueron obtenidos por Salehifar y Shahedi (2007) donde la harina de avena, que carece de gluten, se incorporó al trigo blanco del pan, lo que aumentó el grado de ablandamiento y la disminución de la estabilidad de la masa.

En cuanto a las propiedades de empastado (pasting properties), Alaunyte et al. (2012) mostraron que hay un aumento gradual de las viscosidades de pico (peak viscosity), de la pasta caliente y de retroceso a medida que aumentaba la cantidad de harina de teff. Una mayor viscosidad máxima de teff en comparación con mezclas de harina de trigo indica la mayor capacidad de unión del agua de la mezcla de harina (Newport Scientific, 2001), que también concuerda con una mayor lectura de absorción de agua de los valores del Farinógrafo. El aumento de la viscosidad en caliente de la pasta de mezclas de harina de teff con trigo, muestra una mayor tolerancia al estrés de cizalladura. Sin embargo, altos valores de la viscosidad de retroceso (Retrogradación) de las mezclas complementadas con teff pueden indicar efectos negativos en la retrogradación del almidón durante la vida útil del producto en comparación con el pan hecho sólo de harina de trigo.

En cuanto a los parámetros obtenidos mediante ensayos alveográficos, Ezpeleta y Callejo (2010) realizaron un estudio en el cual mezclaron harina de de teff

en dosis de 0, 15 y 30% con dos tipos de harinas comerciales de diferente fuerza. Estos autores observaron que las muestras con un menor contenido en harina de teff presentaron una mayor fuerza (W) y extensibilidad (L) lo que indica que la harina de teff confiere a la masa muy poca elasticidad y una gran firmeza lo que hace que su manejo sea muy difícil. Estos autores encontraron que las masas con un alto contenido en teff presentaban una gran consistencia no pudiéndose medir mediante el consistógrafo de Chopin.

El número de *Falling* es una indicación de la actividad  $\alpha$ -amilásica. Ezpeleta y Callejo (2010) demostraron que los panes elaborados con menos teff y más trigo tienen una actividad  $\alpha$ -amilásica mayor. Por lo tanto, los panes con un contenido mayor de teff, del 30%, y harina de trigo de alta fuerza tuvieron una actividad  $\alpha$ -amilásica menor y un alto índice de caída. Como resultado dieron panes con volumen, longitud e índice de forma reducidos (panes poco desarrollados). Esto está de acuerdo con los datos aportados por Marian (2009) quién encontró un alto número de *Falling Number* en las masas con mayor contenido de teff, que indica una menor actividad  $\alpha$ -amilásica. Este parámetro se puede corregir con la adición de harina de malta (Khalil et al., 2000).

En cuanto a los parámetros físicos, Ezpeleta y callejo (2010) encontraron que los panes con un 30% de harina de teff presentaron una luminosidad,  $L^*$ , más baja ya que el teff da panes más oscuros. Las coordenadas de color  $a^*$  y  $b^*$  variaron al aumentar el contenido de teff de los panes, desviándose hacia un tono magenta y amarillo respectivamente. Los mismos resultados fueron aportados por Ben-Fayed et al., (2008) que encontraron que los panes que contenían de 10 a 30% de harina de teff tenían valores significativamente más bajos de brillo, pero mayor saturación que el pan de trigo control. Marian (2009) demostró que el peso, volumen y el volumen específico del pan aumentaron significativamente ( $P < 0,05$ ) para pequeñas adiciones de teff, si bien, para dosis más elevadas volvían a disminuir. Se observó que el pan con el 5% de teff, dio el mayor volumen, mientras que el control y el de 20% de harina de teff dieron el menor volumen. Estos resultados están en un acuerdo parcial con los aportados por Ezpeleta y Callejo (2010) y por Talley et al., (1972) quienes encontraron que el 17% y la sustitución de 30% de harina de girasol en la harina de trigo producía panes densos y compactos, sin embargo, el 3% de enriquecimiento dio un pan atractivo. Alaunyte et al. (2012) también mostraron que la sustitución de harina de trigo con teff hasta el nivel de 10% no afectó el volumen del pan, mientras que la incorporación de 20 y 30% tenía un efecto perjudicial sobre el volumen. Una tendencia

similar se observó en otros estudios (Ben-Fayed et al., 2008; Mohammed y Mustafa et al., 2009). La superficie de una rebanada disminuyó en los panes de masas complementadas con teff. Sin embargo, la disminución significativa se observó sólo en el nivel más alto de teff. Se podría sugerir que la disminución de volúmenes específicos de panes con teff ha contribuido a un área de la rebanada menor. Otros parámetros de la estructura de la miga, incluyendo espesor de la pared y el volumen de poros de la miga, aumentaron significativamente para adiciones del 20 y 30% de teff, mientras que el número de poros disminuyó notablemente (Alaunyte et al., 2012). Esto dio lugar a una miga más abierta y gruesa con una estructura con menos poros, más grandes, que tienen paredes más gruesas. También se observó que el brillo disminuyó significativamente con el aumento de los niveles de harina de teff ( $P < 0,001$ ). Como la harina de teff es harina integral, las partículas de salvado causan una miga de color oscuro.

Los efectos del teff en la vida útil del pan fueron estudiados por Alaunyte et al. (2012) quienes encontraron que la firmeza inicial de la miga fue significativamente mayor en pan con teff y el incremento fue gradual con la suplementación de teff. Se considera que la firmeza de la miga viene muy determinada por el volumen del pan (Axford et al., 1968). En este estudio, todos los panes con teff tenían volúmenes más bajos y mayores firmezas de la miga. Durante el periodo de 8 días de vida útil, todos los panes de teff presentaron mayor firmeza de la miga en comparación con el pan de trigo blanco. Se puede concluir, pues, que el teff aumentó la firmeza inicial de la miga y disminuyó la vida útil del pan.

En cuanto a los parámetros químicos, Marian (2009) realizó un estudio en masas de trigo con mezcla de teff para hacer pan de molde. Los resultados revelaron que el contenido de cenizas aumentó de 0,802 (p/p) para la harina de trigo sola a 0,993%, 1,153%, 1,28% y 1,47% en sustitución de harina de trigo con un 5%, 10%, 15% y 20% de harina de teff, respectivamente. Sin embargo, el contenido de proteína disminuyó del 11,87% al 11,67%, 10,77%, 10,43% y 10,10%. Estos resultados indican que la suplementación de harina de trigo con harina de teff causó importantes aumentos en las cenizas y una reducción poco significativa en el contenido de proteína. Esto puede ser debido al hecho de que la harina de teff es notablemente mayor en cenizas, en gran parte debido a que contiene más salvado, y más baja en proteínas en comparación con la harina de trigo. Bultosa (2007) informó que la proteína del grano de teff varió entre 11,1 y 8,7% con media de 10,4%, y el contenido de cenizas osciló entre 3,2 a 2 % con una media de 2,45%. La adición de harina de teff

produjo una reducción significativa en los valores de gluten. Esta autora también encontró que el contenido de gluten disminuyó significativamente a medida que el porcentaje de harina de teff aumentó, lo que es atribuible a la ausencia de gluten en la harina de teff (Hopman et al., 2007). Alaunyte (2012) comprobó que la adición de teff enriqueció el contenido en hierro de los panes de trigo. El pan con adición de 30% de teff contenía más de dos veces la cantidad de hierro que el pan sólo con trigo. Esto está de acuerdo con la mayoría de los trabajos encontrados (Abebe et al, 2007; Areda et al., 1993; Mengesha, 1966). Otra de las propiedades nutricionales afectada significativamente por la adición de teff fue la capacidad antioxidante total, que aumentó significativamente con respecto al pan elaborado sólo con trigo. A pesar de que la investigación sobre los niveles de antioxidantes totales en el teff es muy escasa, algunos investigadores aportaron que el contenido de compuestos fenólicos en el teff es comparable al del mijo integral (McDonough y Rooney., 1985). En general, los panes de trigo y de teff no difieren significativamente en su contenido de proteína cruda, grasa y fibra dietética total. En el estudio de McDonough y Rooney (1985) se afirma que el contenido de proteína cruda es similar en panes de trigo y de teff, aunque este valor no refleja la calidad de la proteína de panes enriquecidos con teff. El contenido en grasas y fibra total fue similar en todos los panes. El trigo tiene niveles similares de grasa al teff (Bultosa, 2007; National Research Council, 1996; USDA, 2007), por lo tanto, esto corresponde a valores similares de grasa en panes. Estos resultados mostraron niveles similares de fibra dietética total en todos los panes, a pesar de que la harina de teff tiene un nivel significativamente mayor de fibra dietética total. Sin embargo, el teff no es tan rico en fibra como algunos de los otros cereales integrales, por lo que la incorporación en el nivel de 10% a 30% no crea una diferencia significativa. La diferencia más notable de la contribución entre panes de trigo y teff fue el contenido en hierro.

El efecto de la harina de teff sobre las características sensoriales fue estudiado por Ezpeleta y Callejo (2010) quienes demostraron que, a grandes rasgos, los panes elaborados con un mayor contenido en harina de teff presentaron una menor aceptación por parte de los consumidores. De todos los panes, el pan con 30 % de teff y harina de trigo de baja fuerza es el que tuvo una menor puntuación. Haciendo una distinción por sexos, estos autores encontraron que los hombres puntuaron mejor a todos los panes. En cuanto a la frecuencia de consumo, observaron que las personas que comen pan más de una vez al día prefieren el pan con el 100 % de harina de trigo frente a todos los demás. Demostraron que los panes tienen una mayor aceptación por las personas de edades más avanzadas. Y las diferencias entre unos panes y otros se

atenuaron en consumidores habituales de pan. Estos resultados están de acuerdo parcialmente con los aportados por Marian (2009). Esta autora observó que a medida que aumentaba el porcentaje de harina de teff disminuía significativamente la puntuación de color, aroma, sensación en la boca y la aceptabilidad global de los panes. Sin embargo, la puntuación máxima de sabor y textura se observó en el pan que contenía un 5% de harina de teff. Matthews et al. (1970) comprobaron que la sustitución de harina de trigo con altos niveles de harina de girasol resultó en el deterioro de la miga, color y la textura del pan. El bajo volumen del pan y la firme textura de la miga se puede atribuir a la dilución del gluten (Dubois, 1978). Similares resultados fueron aportados por Alaunyte et al. (2012), quienes encontraron que el aumento del nivel de teff, hizo disminuir significativamente ( $P < 0,05$ ) la ligereza de la miga, la suavidad y elasticidad, mientras que el sabor amargo y flavor aumentó significativamente ( $P < 0,05$ ) para panes con 20 y 30% de harina de teff cuando se comparó con el control. La aceptabilidad general fue también significativamente ( $P < 0,05$ ) más baja para los panes con el 20 y el 30% de teff. Esto tiene una fuerte correlación con el sabor amargo y el regusto. Similares hallazgos fueron reportados por Ben-Fayed et al. (2008) y Mahommed et al. (2009), ya que sólo los niveles de teff hasta 10 y 5%, respectivamente, fueron juzgados como aceptables. Estos resultados podrían variar dependiendo del tipo de teff que se utilice.

## 2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.

- El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación del efecto de la adición de harina de teff de producción nacional a la harina de trigo sobre las principales propiedades de panificación de las mezclas resultantes

Para cumplir este objetivo se han elaborado mezclas de harina de trigo con harina de teff blanca, en porcentajes del 0, 10, 20, 30 y 40% en peso de harina de teff en la mezcla. A estas mezclas de harina se les han realizado ensayos farinográficos, alveográficos, medidas de propiedades de empastado, y de desarrollo de la masa durante la fermentación. Para comparar los resultados obtenidos, se llevó a cabo un análisis estadístico de varianza (ANOVA).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS.

La harina de trigo utilizada en el trabajo fue harina de fuerza facilitada por la Harinera Emilio Esteban S.A (Valladolid, España). La harina de Teff blanca fue suministrada por CYLTEFF (Palencia, España). Se prepararon 5 mezclas de harina de trigo con harina de teff blanca en la proporción de 10, 20, 30 y 40%.

En el caso de los análisis de RVA se realizaron por triplicado, alveógrafo y reofermentómetro por duplicado y farinógrafo solo se realizó un análisis de cada muestra por lo que no se ha podido hacer estudio estadístico de estos datos.

#### 3.1. Contenido de humedad.

La humedad fue determinada de acuerdo al método AACC 44-15A (AACC, 2000). Para ello se pesaron aproximadamente 3 g de las muestras de harina en una balanza de precisión con un error de 0,01 g.

#### 3.2. Caracterización de las harinas (mediante ensayos farinográficos).

El ensayo se hizo a humedad constante según el método AACC (2000) 54-21 con un farinógrafo Brabender E OHG 2002 (Germany) del CETECE. La temperatura del ensayo fue de  $30 \pm 0,2$  °C usando un peso de harina de 300 g, con una velocidad de mezcla de 63 rpm. Los parámetros analizados mediante el farinógrafo fueron:

**Absorción de agua (%):** Cantidad de agua añadida para conseguir una consistencia de 500 FU. El resultado puede emitirse referido a harina, o sobre sustancia natural (ssn), o referida a una humedad de referencia del 14%.

**Tiempo de desarrollo de la masa (s):** Tiempo desde la adición del agua hasta alcanzar la máxima consistencia antes de la primera indicación de debilitamiento.

**Estabilidad de la masa (s):** El intervalo de tiempo entre el primer y segundo punto de intersección del trazo superior de la curva del farinógrafo con la línea de consistencia 500 (FU).

**Decaimiento a 10 min (FU):** Decaimiento tras 10 minutos de ensayo.

**Decaimiento a 12 máxima (FU):** Decaimiento tras 12 minutos de ensayo tras alcanzar el valor máximo.

#### 3.3. Reología de las harinas (mediante ensayos alveográficos).

Los alveogramas, o registros obtenidos con un alveógrafo de Chopin MA87, y el método AACC 54-30A permiten evaluar la resistencia a la expansión y la extensibilidad de una fina película de masa forzada a una deformación bidireccional. Los resultados obtenidos son empleados para clasificar, calcular mezclas de trigo o

harinas y seleccionar los mejorantes adecuados para optimizar el empleo de distintas materias primas.

El instrumento consta de: a) amasadora de 1 pala termostataada, b) alveógrafo propiamente dicho y c) un manómetro con registro.

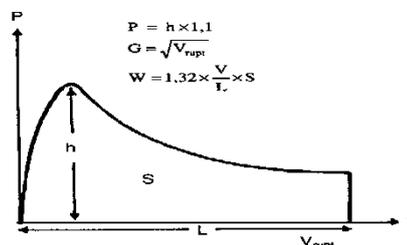


Figura.3.1. Alveograma.

Los parámetros analizados fueron:

- P** (Tenacidad, mm H<sub>2</sub>O), que corresponde al máximo de la curva en mm multiplicado por 1,1 (ver figura 3.1).
- L** (Extensibilidad, mm), es la longitud de la curva o distancia desde el inicio de la curva hasta el punto de ruptura de la burbuja.
- W** (Fuerza, Julios), se calcula a partir del área bajo la curva (en cm<sup>2</sup>), de la longitud de la curva L (mm), y del volumen de aire en el máximo estiramiento de la masa antes de la ruptura, V (mm<sup>3</sup>), mediante la igualdad:  $W = 1,32 \cdot 10^{-4} \cdot S \cdot V/L$ . En el caso de harinas corrientes, W, puede calcularse como:  $W = 6,54 \cdot 10^{-4} \cdot S$ .
- P/L** (Relación de configuración de la curva). Estos cálculos los realiza automáticamente el equipo procesador ALVEOLINK del que dispone el Alveógrafo (Tripette & Renaud Group Manual de empleo del Alveógrafo de Chopin).

Valores altos de P y W son indicativos de harinas fuertes. A la W también se le denomina fuerza panadera. La fuerza se considera un parámetro guía para la clasificación de las harinas en floja, media o fuerte. El valor de L representa la capacidad de la masa para extenderse sin romper. La relación P/L, se conoce como equilibrio de la masa y es un buen índice del comportamiento del gluten. Este parámetro, junto con la fuerza, W, permiten predecir el comportamiento de la harina en los procesos de panificación (Aguado et al., 1999).

### 3.4. Propiedades de empastado de las harinas (RVA).

Estas propiedades son muy importantes para conocer las características de harina o almidón de un cereal. Son útiles para predecir el comportamiento de la harina en la cocción y en el proceso de elaboración de la cerveza, por ejemplo. Para determinar estas características se utilizó un equipo RVA (*Rapid Visco Analyser*)

(Newport Scientific), y el método AACC 61-02. Las principales características determinadas fueron:

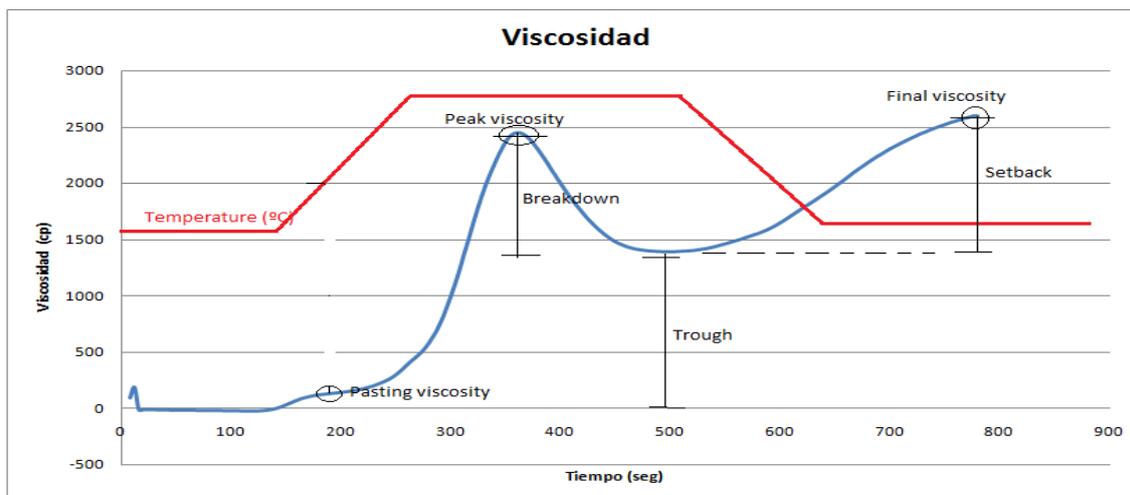


Figura.3.2 Parámetros y curva de RVA.

**Viscosidad de empastado (*Pasting viscosity*) (cp):** Viscosidad en el punto donde se inicia la gelatinización del almidón o formación de la pasta.

**Temperatura de empastado (*Pasting temperature*) (°C):** temperatura inicial de empastado. Indica la temperatura mínima necesaria para cocinar un almidón (Newport Scientific, 2001).

**Viscosidad máxima (*Peak Viscosity*) (cp):** pico de viscosidad. Indica la capacidad de retención de agua del almidón, se rompe el almidón.

**Temperatura del pico (*Peak temperature*) (°C):** Temperatura a la que se produce el pico de viscosidad.

**Tiempo del pico (*Peak time*) (min):** tiempo en el que se produce el pico de viscosidad.

**Estabilidad (*Breakdown*) (cp):** Diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad de caída que se produce en el tramo de temperatura constante. Se debe a la rotura del almidón y bajada de viscosidad.

**Viscosidad de caída (*Trough*) (cp):** Es el menor valor de viscosidad antes del comienzo de la retrogradación. Se produce al final del tramo de temperatura constante, antes de que se comience el enfriamiento.

**Retrogradación (*Setback*) (cp):** Es la diferencia entre la viscosidad de final y la de caída.

**Viscosidad final (*Final viscosity*) (cp):** viscosidad final en frío (Graham and Andrew, 2007). Cuando la pasta se enfría, el almidón se reorganiza y la consistencia vuelve a aumentar

### 3.5. Características de fermentación de las harinas (mediante ensayos con el Reofermentómetro).

Se utilizaron las diferentes muestras de harina (250 g) con sal (5g) y levadura (3g). En el alveógrafo se utilizaron las muestras de harina con una disolución de cloruro sódico del 2,5 %.

El instrumento consta de: a) Cubeta termostática de fermentación. b) Dispositivo para la medida del nivel de la masa. c) Sistema de medida de presión para cuantificar la cantidad de gas generada en la cubeta. d) Absorbedor de CO<sub>2</sub> para medir la corriente de aire de la cubeta de fermentación sin CO<sub>2</sub> (absorbedor de KOH). e) Sistema de electroválvulas que programadamente comunican la cámara de fermentación con el medidor de presión, bien de forma directa o bien a través del absorbedor de CO<sub>2</sub> y, después de ambas medidas, con el exterior, para aliviar la presión de la cámara e igualarla a la atmosférica. f) Sistema de registro y procesado de datos.

La masa sometida a ensayo se preparó en la amasadora del alveógrafo a partir de la harina (250 g), sal (5g), levadura (3g) y agua. Se siguió el método AACC 89-01.

**Resultados:** Se obtendrán dos curvas. De la curva de desarrollo de la masa (figura 3.3) se extrajeron los siguientes parámetros:

**T<sub>1</sub>:** Tiempo de desarrollo máximo de la masa, expresado en horas y minutos.

**H<sub>m</sub>:** Volumen de desarrollo máximo de la masa bajo la carga de las pesas, expresado en mm.

**T<sub>2</sub>:** Tiempo de estabilización durante el cual, el volumen es superior al 90% de H<sub>m</sub>.

**h:** Volumen de desarrollo de la masa al final de la prueba (a las 3 horas si el ensayo se ha realizado completo).

**(H<sub>m</sub>-h)/H<sub>m</sub>:** Porcentaje de pérdida de desarrollo al final de la prueba respecto al desarrollo máximo.

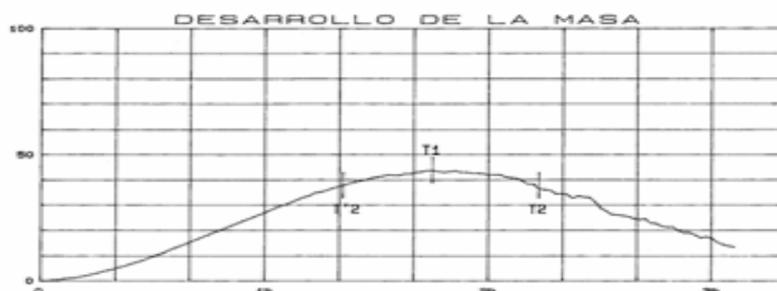


Figura. 3.3. Desarrollo de la masa.

De la curva de CO<sub>2</sub> producido/retenido (figura 3.4.) se extrajeron los siguientes parámetros:

**H'<sub>m</sub>:** Altura máxima de la curva de desprendimiento gaseoso.

$T'_1$ : Tiempo necesario para obtener  $H'_m$ .

$T_x$ : Tiempo de aparición de porosidad en la masa (momento en que se separan las dos curvas que se representan sobre el mismo registro, la de gas total generado y la de gas retenido).

**Volumen total:** Volumen total de desprendimiento gaseoso durante la fermentación, en ml.

**Volumen de CO<sub>2</sub> perdido:** Volumen de gas carbónico en ml que la masa ha dejado escapar durante el curso de la fermentación.

**Volumen de retención:** Volumen de gas carbónico en ml retenido en la masa al fin de la prueba.

**Coefficiente de retención:** Relación entre el volumen de gas retenido por la masa y el volumen total producido al final del ensayo. (Tripette & Renaud Group Manual de empleo del Reofermentómetro de Chopin).

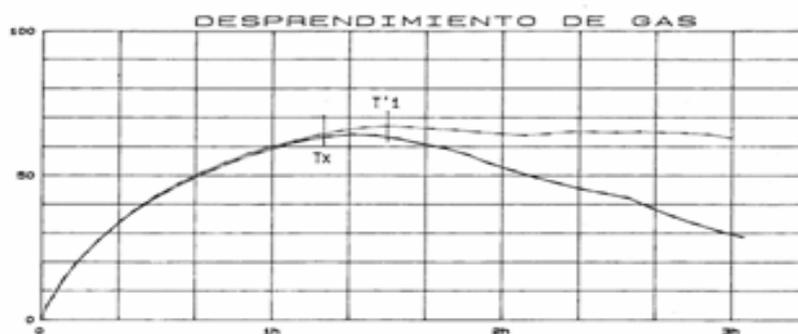


Figura. 3.4. Desprendimiento de gas.

Los valores  $T_1$  y  $(H_m-h)/H_m$  indican los momentos óptimos para trabajar la masa. El tiempo  $T_1$  está estrechamente relacionado con la "rapidez" de la levadura y su actividad. La altura  $H_m$  está en relación con el volumen del pan.  $T_2$  es una medida de la tolerancia de la masa. En relación a la curva de producción de gas, el que  $T_x$  sea un valor elevado y que el coeficiente de retención del gas sea próximo a 1, es indicativo de harinas con poca porosidad. Suele corresponder a la harina extraída del centro del endospermo de granos sanos. Coeficientes de retención próximos a 0,5/0,6 suelen corresponder a harinas extraídas de capas externas del endospermo o harinas procedentes de granos deteriorados o mal conservados (Aguado et al., 1999).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. Caracterización de la harina mediante ensayos farinográficos.

La Tabla 4.1 muestra los resultados de los ensayos farinográficos aplicados a las 5 muestras de harina. Estos ensayos permitirán establecer la capacidad de absorción de agua y el comportamiento durante el amasado de estas harinas.

Tabla.4.1. Datos obtenidos mediante el farinógrafo.

Teff	Absorción s.s.n (%)	Absorción 14 (%/%)	Tiempo de desarrollo (s)	Estabilidad (s)	Decaimiento a 10 (min/FU)	Decaimiento a 12 (máxima/FU)
0	62,1	61,9	330	663	22	56
10	63,2	60,8	315	409	47	95
20	61,8	60,2	295	304	67	116
30	60,8	59	248	278	83	133
40	60,3	58,2	209	215	115	160

Absorción s.s.n, o *sobre sustancia natural*, indica la cantidad de agua que es capaz de absorber la harina con su humedad real, expresada en porcentaje.

Absorción 14 %: Indica la cantidad de agua que sería capaz de absorber la harina con una humedad del 14% (humedad de referencia) expresada en porcentaje.

La **absorción de agua** disminuyó con la adición de teff (Tabla 4.1). Estos resultados están de acuerdo en parte con los aportados por Marian (2009) quien señaló que la adición de teff no causó diferencias significativas entre las muestras a excepción del 15% que aumentó y el 20% disminuyó. La ausencia de gluten en la harina de teff puede ser la responsable de esta ligera disminución de la absorción de agua de la harina conforme aumenta el contenido de teff en la mezcla. Sin embargo, hay autores que observaron lo contrario (Ben–Fayed et al., 2008; Mohammed et al., 2009; Ezpeleta y Callejo, 2010; Alaunyte et al., 2012), comprobando que la adición de teff aumentaba la absorción de agua, Probablemente la diferente composición de las harinas de teff pueda explicar este diferente comportamiento.

El **tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa** disminuyó claramente con la adición de teff (Tabla 4.1). Khalilet et al. (2000) y Marian (2009) no encontraron diferencias significativas en el tiempo de desarrollo pero si en la estabilidad de la masa, que disminuyó con la adición de teff. Alaunyte et al. (2012) encontraron que el tiempo de desarrollo de la masa aumentaba con el porcentaje de harina de teff aunque la estabilidad de la masa disminuía. Hay por lo tanto, más unanimidad en lo que respecta a la estabilidad de la masa que al tiempo de desarrollo. El origen de estas discrepancias puede encontrarse de nuevo en las diferentes fuentes de harina de teff utilizadas por los distintos autores. La ausencia de gluten en la harina de teff explica en cualquier caso la disminución de los dos parámetros comentados.

El **decaimiento** aumentó con la adición de teff (Tabla 4.1). Esto concuerda con los resultados obtenidos por Alaunyte et al., (2012). Los resultados obtenidos sugieren masas más flojas con adición de teff ya que valores altos de tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa sugieren harinas fuertes (Wang et al., 2002). La menor estabilidad de la masa y mayor decaimiento también podría ser debido al menor contenido en gluten de la masa (Salehifar y Shahedi., 2007).

#### 4.2. Ensayos Alveográficos.

La Tabla 4.2 muestra los resultados de los ensayos alveográficos aplicados a las 5 muestras de harina. Estos ensayos permitirán conocer el comportamiento panadero de estas harinas.

Tabla.4.2. Resultados obtenidos con el alveógrafo.

Parámetro	0 % Teff	10 % Teff	20 % Teff	30 % Teff	40 % Teff	P valor
<b>P (mm)</b>	82± 1,4 c	68± 1,4 b	62± 0,0 a	63,5± 0,7 a	67,5± 0,7 b	P<0,001
<b>L (mm)</b>	99± 0,0 e	59± 1,4 d	49,5± 0,7 c	34,5± 2,1 b	19,5± 0,7 a	P<0,001
<b>W (Julios)</b>	254± 5,7 e	138± 4,2 d	110,5± 0,7 c	85,5± 4,9 b	58,5± 2,1 a	P<0,001
<b>P/L</b>	0,8± 0,01 a	1,1± 0,05 b	1,2± 0,02 b	1,8± 0,09 c	3,5± 0,09 d	P<0,001

Los datos corresponden a la media de tres determinaciones ± la desviación estándar. Los valores en una misma fila con alguna letra en común no son significativamente diferentes (p<0.05).

Los resultados obtenidos mostraron que **P (Tenacidad)** es significativamente (P<0,05) mayor en la muestra 100% trigo. La adición de harina de teff hasta un 20% bajó la tenacidad y adiciones posteriores volvieron a aumentarla, aunque ninguna mezcla con teff alcanzó los valores de la harina de trigo (Tabla4.2). La **extensibilidad (L)** y la fuerza (**W**) disminuyeron sucesivamente a medida que se aumentó la adición de teff, con diferencia estadísticamente significativa (P<0,05) entre todas las muestras (Tabla 4.2). Estos resultados están de acuerdo con los aportados por Ezpeleta y Callejo (2010).

El índice **P/L (relación de la curva)** aumentó a medida que lo hizo la adición de teff. Se obtuvieron diferencia significativas (P<0,05) en la relación P/L de todas las mezclas a excepción de las muestras de 10 y 20 % de teff que no llegaron a ser diferentes estadísticamente entre sí (Tabla 4.2). Estos datos reflejan que estas masas suplementadas con teff tienen mayor firmeza en proporción a su extensibilidad, lo que hace que su manejo sea complicado (Ezpeleta y Callejo, 2010). Ello puede ser debido a que el teff no posee gluten.

**4.3. Propiedades de empastado.**

La Tabla 4.3 muestra los resultados de los ensayos realizados con el RVA aplicados a las 5 muestras de harina. Estos ensayos permitirán conocer el comportamiento de los almidones de estas harinas, su gelatinización y retrogradación.

Tabla.4.3. Datos de las medias obtenidas con el RVA.

Parámetro	0 % Teff	10 % Teff	20 % Teff	30 % Teff	40 % Teff	P valor
Viscosidad de empastado (cp)	248± 2 c	225± 14 b	189± 5 a	181± 12 a	174± 16 a	<0,001
Tª de empastado (°C)	85,7± 0,9 a	85,6± 0,8 a	85,1± 0,5 a	86,2± 0,5 a	86,2± 0,4 a	0,3374
Viscosidad máxima (cp)	2444± 58 e	2171± 42 d	2009± 21 c	1833± 3 b	1656± 33 a	<0,001
Tiempo de pico (min)	6± 0,0 b	5,9± 0,1 ab	5,9± 0,03 ab	5,8± 0,04 a	5,8± 0,07 a	0,0597
Tª de pico (°C)	95,1± 0,03 ab	95,1± 0,03 b	94,9± 0,03 a	95,1± 0,03 b	95,1± 0,06 ab	0,0597
Estabilidad (cp)	1057± 23 e	923± 10 d	822,6± 10 c	729± 9 b	627± 10 a	<0,001
Viscosidad de caída (cp)	1386± 36 e	1247± 48 d	1187± 16 c	1104± 10 b	1029± 23 a	<0,001
Retrogradación (cp)	1206± 18 d	1174± 8 c	1158± 12 c	1127± 6,11 b	1085± 19,08 a	<0,001
Viscosidad final (cp)	2593± 53 e	2422± 41,33 d	2345± 25 c	2230± 16 b	2114± 40 a	<0,001

Los datos corresponden a la media de tres determinaciones ± la desviación estándar. Los valores en una misma fila con alguna letra en común no son significativamente diferentes (p<0.05).

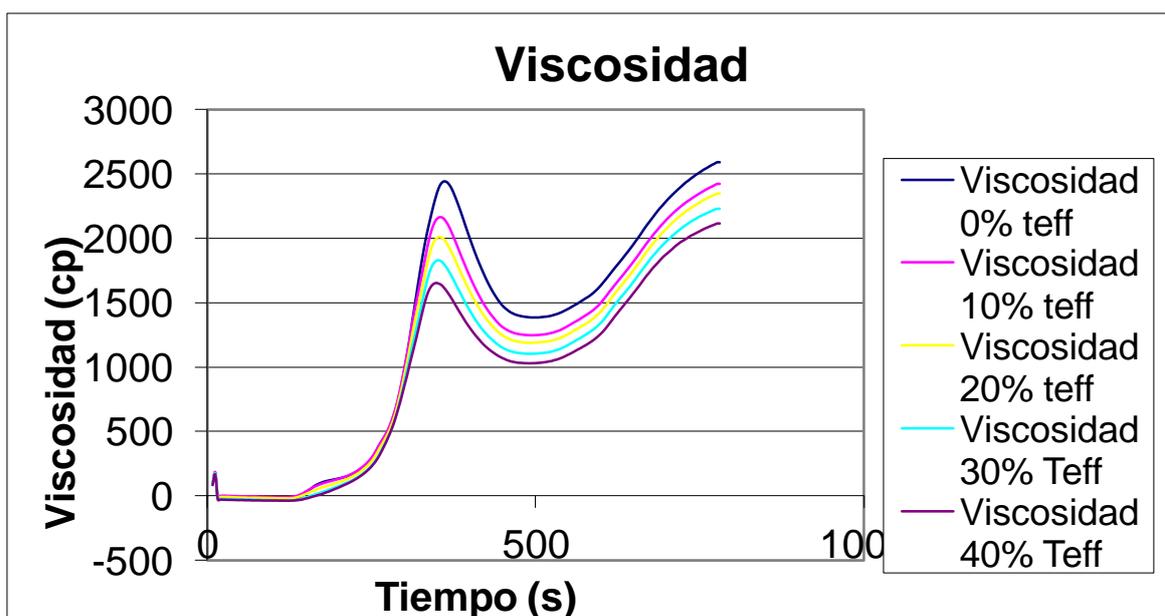


Figura.4.1. Gráficas de las medias obtenidas con el RVA.

La viscosidad de empastado (*pasting viscosity*) descendió significativamente ( $P < 0,05$ ) con la adición de teff respecto a la harina de trigo y, aunque no se obtuvieron diferencias significativas entre las mezclas con el 20, 30 y 40 % de harina de teff, la tendencia observada fue hacia una progresiva menor viscosidad conforme aumentó el porcentaje de harina de teff. Así, la presencia de un 10% de harina de teff en la mezcla descendió la viscosidad de empastado en un 10%, y una dosis del 40% la redujo hasta en un 30%. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la temperatura de empastado de las diferentes mezclas analizadas, que siempre estuvo entre 85 y 86°C (Tabla 4.3). Por lo tanto la viscosidad de formación de la pasta se reduce con la adición de teff pero la temperatura necesaria para cocinar esos almidones no varía considerablemente. No se pudo concluir efecto significativo de la presencia y dosis de teff sobre la temperatura de pico. En todos los casos, la temperatura a la cual la viscosidad de la pasta alcanzó el valor máximo fue de 95°C (Tabla 4.3).

Las viscosidades de pico, de caída y la final mostraron un claro descenso, con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), a medida que aumentó la dosis de teff. El descenso de estas viscosidades fue paralelo al cuantificado en la viscosidad de empastado. El efecto de la presencia de teff fue más acusado sobre el descenso de la viscosidad de pico que sobre la viscosidad de caída y la final, lo que hizo que también se observase una disminución de la estabilidad y de la retrogradación con el aumento del % de harina de teff en la mezcla (Tabla 4.3). Estos resultados concuerdan parcialmente con los aportados por Bultosa y Taylor (2003) quienes comprobaron un menor pico de viscosidad, caída y retrogradación en las muestras de teff que en las de maíz y podría ser debido al menor tamaño del almidón de teff. Por el contrario Alaunyte (2012) mostró un aumento gradual de pico de viscosidad, temperatura de empastado y retrogradación a medida que se adiciona teff. En este caso lo achacó al aumento de absorción de agua de estas muestras frente a la de trigo. En el caso de este estudio la absorción de agua ha disminuido a medida que se adicionaba teff al igual que la viscosidad de pico. Una mayor viscosidad máxima o viscosidad de pico indica mayor capacidad de agua (Newport Scientific, 2001).

#### **4.4. Características de fermentación.**

La Tabla 4.4 muestra los resultados de los ensayos realizados sobre las 5 muestras de harina. Estos ensayos permitirán conocer el comportamiento de las masas durante la fermentación de las masas elaboradas con estas harinas.

Tabla.4.4. Datos de las medias obtenidas con el reofermentómetro.

Parámetro	0 % Teff	10 % Teff	20 % Teff	30 % Teff	40 % Teff	P valor
Hm (mm)	46,9± 0,5 cd	47,4± 2,9 d	41,7± 3,6 cd	33,7± 0,4 b	27,2± 1,6 a	0,001
H (mm)	46,7± 0,2 e	42,6± 0,9 d	31,1± 2,5 c	22,4± 1,7 b	17± 1,4 a	<0,001
(Hm-h)/Hm (%)	0,4± 0,5 a	9,9± 7,5 a	25,5± 0,3 b	33,5± 4,2 b	37,3± 8,9 b	0,0047
T1 (s)	10800± 0,0 d	7920± 0,0 c	6165± 63 b	4680± 127 a	4230± 763 a	<0,001
T2 (s)	-	10350± 0,0 a	9225± 572 a	8685± 445 a	9000± 1272 a	0,5343
T'2 (s)	-	5940± 0,0 d	4185± 64 c	3330± 127 b	2745± 64 a	<0,001
T2-T'2 (s)	-	4410± 0,0 a	4800± 975 a	5355± 318 a	6255± 1209 a	0,4319
H'm (mm)	62,1± 0,3 a	67,4± 1,4 a	70,4± 5,6 a	64,5± 0,1 a	63,4± 6,1 a	0,3149
T'1 (s)	5130± 381 a	5805± 190 a	5355± 827 a	4500± 127 a	4635± 827 a	0,2634
Tx (s)	4455± 63 d	3690± 127 c	3330± 127 b	3465± 63 bc	3060± 0,0 a	<0,001
Volumen total desprendido (ml)	1368± 5 a	1521± 32 ab	1564± 93 b	1467± 10 ab	1487± 123 ab	0,2099
Volumen de CO2 perdido (ml)	250± 21 a	358± 20 ab	407± 70 b	325± 11 ab	338± 78 ab	0,1503
Volumen retenido (ml)	1117± 16 a	1163± 11 a	1157± 23 a	1141± 1 a	1148± 44 a	0,4542
Coefficiente de retención (%)	81± 1 b	76± 1 ab	74± 3 ab	78± 1 ab	77± 3 ab	0,1085

Los datos corresponden a la media de dos determinaciones ± la desviación estándar. Los valores en una misma fila con alguna letra en común no son significativamente diferentes (p<0.05).

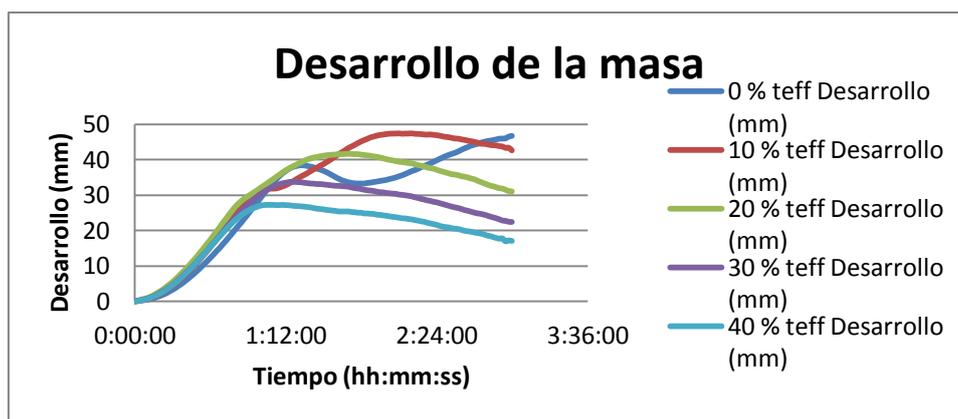


Figura.4.2. Gráfica de la medias obtenidas de desarrollo de la masa.

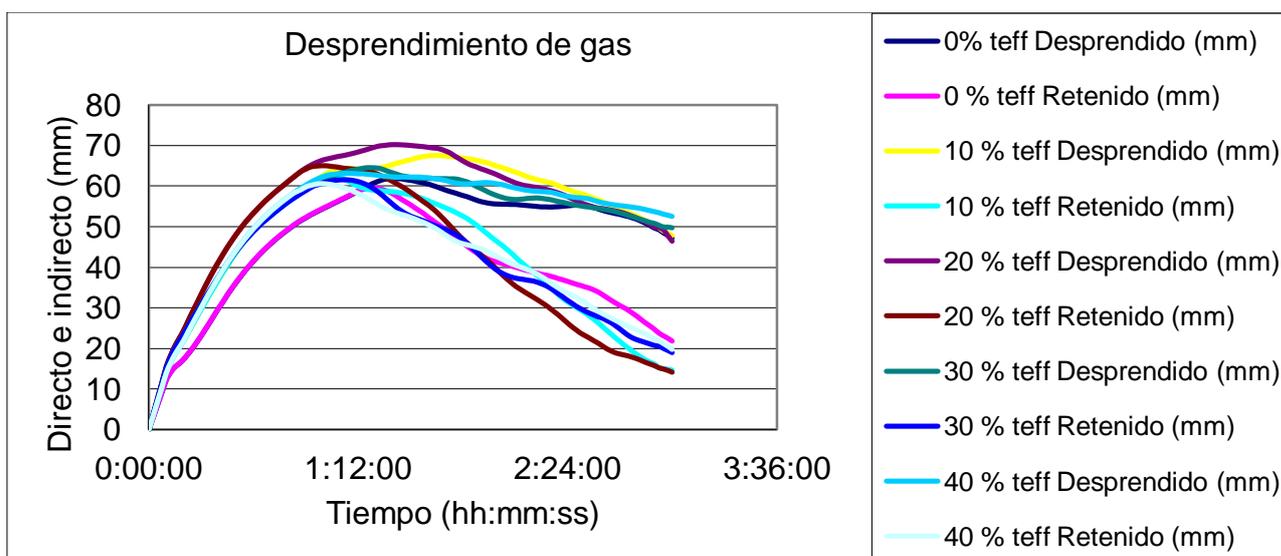


Figura.4.3. Gráfica de la medias obtenidas de desprendimiento de gas.

El volumen de desarrollo máximo (**Hm**), disminuyó a medida que aumentó la adición de teff a excepción del 10% que fue la que dio el mayor valor. Se observa que 0, 10 y 20% no son diferentes estadísticamente entre sí, pero sí con 30 y 40 % que además son diferentes estadísticamente ( $P < 0,05$ ) entre ellas. El teff perjudica el desarrollo del volumen de la masa a excepción de pequeñas cantidades como en este caso el 10%. Esto fue comprobado por Alaunyte et al., (2012) quienes encontraron que la adición de 10 % de teff no afectó al volumen del pan pero cantidades mayores sí, resultados similares fueron encontrados por (Ben Fayed et al., 2008; Mohammed y Mustafa et al., 2009). El volumen final de la masa (**h**) mostró una clara disminución con diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ) a medida que aumentó el porcentaje de teff. El teff provocó una disminución en el volumen final de la masa. Esto está de acuerdo en parte con lo aportado por Ezpeleta y Callejo (2010) y Marian (2009) quienes comprobaron que las masas con mayor cantidad de teff en su composición dieron panes poco desarrollados, menor volumen, debido al alto índice de caída (baja actividad  $\alpha$ -amilásica) que presentan estas masas. La presencia de teff afectó

significativamente al % de pérdida de desarrollo al final respecto al volumen de desarrollo máximo ( $(H_m-h)/H_m$ ). Esto indica que el teff aumenta el decaimiento de la masa. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos por Alaunyte et al., (2012).

El **tiempo de desarrollo máximo de la masa (T1)** experimentó una clara disminución estadísticamente significativa ( $P<0,05$ ), a medida que aumentó la adición de teff, si bien las dos mezclas de mayor concentración (30 y 40%) no mostraron diferencias significativas en sus valores de T1, que resultaron ser un 60% inferiores al correspondiente a la harina de trigo. Por lo tanto, la masa tarda menos tiempo en alcanzar su desarrollo máximo con la adición de teff. Los resultados obtenidos sugieren masas más flojas con adición de teff (Wang et al., 2002).

En **T2** (Tiempo de estabilización durante el cual el volumen es superior al 90% de  $H_m$ ) y **T2-T'2** no se observan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con harina de teff. En **T'2** se observa una clara disminución con diferencia estadísticamente significativa a medida que aumenta la adición de teff. Estos 3 parámetros no son valorables en caso de la harina de trigo porque no se obtuvo valor de T2 para esta muestra. Ello fue debido a que la curva de desarrollo de la masa mostró su valor máximo muy próximo al final del ensayo con lo cual la curva no llegó a decrecer por debajo del 90% del máximo.

Para **H'm** (punto máximo de desprendimiento gaseosa) y **T'1** (tiempo para obtener H'm) tampoco se observan diferencias estadísticamente significativas.

En **Tx** (Tiempo de aparición de porosidad) se observa una disminución con diferencia significativa estadísticamente a medida que aumenta la adición de teff a excepción de la muestra que contiene un 30% que sufre un ligero aumento con respecto a la del 20% lo que la hace no ser diferente estadísticamente con esta muestra y con la del 10%. La adición de teff acelera la porosidad de la masa

El **volumen total desprendido** y el **volumen de CO2 perdido** presentó el menor valor para la harina 100% trigo, aumentando con la adición de teff hasta la dosis del 20% y posteriormente volviendo a disminuir ligeramente sin llegar al valor correspondiente a la harina de trigo. El **volumen retenido** no presentó diferencias significativas entre muestras. El **coeficiente de retención** fue mayor en la muestra con 0% de teff con diferencia estadísticamente significativa ( $P<0,05$ ) frente a las demás. Este parámetro disminuyó con la adición de teff hasta la dosis del 20% y luego volvió a aumentar ligeramente en las muestras de 30 y 40% (Tabla 4.4). El teff hace disminuir la capacidad de retención de las masas debido a que el teff es un cereal libre de gluten y por lo tanto tiene menor capacidad de retener gas en las masas. Estos resultados están de acuerdo por los aportados por (Bultosa, 2007; Hopman et al., 2007; Marian, 2009) quienes comprobaron la reducción de gluten que sufren estas masas.

## 5. CONCLUSIONES.

- La presencia de teff en la mezcla de harina provocó una disminución de la absorción de agua de las masas, a la vez que una disminución del tiempo de desarrollo y de la estabilidad, y un aumento del decaimiento. Esto, probablemente consecuencia de la menor cantidad de gluten de estas masas suplementadas con teff, permite concluir masas más flojas y de manejo más complicado.
- La tenacidad (P), extensibilidad (L) y fuerza (W) disminuyó con la adición de teff lo que significa que el teff origina masas más flojas, con menor capacidad de estirarse sin romperse. Por lo tanto, el manejo de estas masas podrá verse dificultado y su menor fuerza podrá perjudicar a la hora de elaborar pan, que tendrá menor volumen.
- Las menores viscosidades de formación de pasta, de pico, de caída y final obtenidas con el RVA para las muestras de harina con teff indican masas menos viscosas y más difíciles de trabajar. La menor retrogradación que sufrieron las masas con teff podría significar un alargamiento de la vida útil de los panes.
- Los resultados obtenidos con el reofermentómetro permiten predecir que los panes elaborados con teff estarán menos desarrollados y con menor volumen. Los tiempos de fermentación aplicados deberán ser más cortos. El volumen total de CO<sub>2</sub> desprendido durante la fermentación es mayor con la adición de teff, pero el coeficiente de retención se reduce. En consecuencia, las masas elaboradas con mezclas enriquecidas con harina de teff tendrán menor capacidad de retener gas.
- Los datos obtenidos en este trabajo permiten predecir que las harinas de trigo enriquecidas con teff empeorarán las características típicas del pan de trigo sobre todo en grandes adiciones. Las pequeñas adiciones pueden aportar características muy interesantes sin perjudicar en exceso las características organolépticas del pan tipo de trigo. Es interesante seguir trabajando en este campo ya que la harina de teff tiene unas propiedades nutritivas muy interesantes además de ser libre de gluten.

## Agradecimientos

Deseo agradecer a Workineh Abebe su ayuda y seguimiento en la elaboración del presente trabajo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- Abebe, Y., Bogale, A., Hambidge, K.M., Stoecker, B.J., Bailey, K., 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, 161-168.
- Adish, A.A., et al. (1998). Risk factors for iron deficiency anemia in preschool children in Northern Ethiopia. *Public Health Nutrition*, 2(3), 243–252.
- Aguado, J., Calles, J.A., Cañizares, P., López, B., Rodríguez, F., Santos, A., Serrano, D. (1999). Ingeniería de la Industria Alimentaria. Volumen 1: Conceptos Básicos, Ed. Síntesis, Madrid.
- Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P., 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, 22-30.
- Areda, A., Ketema, S., Ingram, J., Davis, R.H.D. (1993). The iron content of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] and its controversy. *Ethiopian Journal of Science*, 16, 5-13.
- Arguedas Gamboa, P., Ekris, L. V. (2008). TEFF “Survey on the nutritional and elathaspects of teff (*Eragrostis tef*)”. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central. Hogeschool van Hall-Larenstein Student Food science and technology. Memorias \* red-alfalagrotech \* comunidad europea \* cartagena.
- Axford, D.W.E., Colwell, K.H., Cornford, S.J., Elton, G.A.H. (1968). Effect of loaf specific volume on the rate and extent of staling in bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 19, 95-101.
- Ben-Fayed, E., Ainsworth, P., Stojceska, V. (2008). The incorporation of Teff (*Eragrostis tef*) in bread-making technology. *Cereal Food World*, 53, 84.
- Bultosa, G., et.al. (2002). Physico-chemical Characterization of Grain Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] Starch. *Starch/Stärke*, 54, 461–468.
- Bultosa, G. and TAYLOR, G. Paste and Gel Properties and In Vitro Digestibility of Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] Starch. *Starch/Stärke*, 56, 20–28.
- Bultosa, G. and Taylor, J.R.N. (2003). Chemical and Physical Characterisation of Grain Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] Starch Granule Composition. *Starch/Stärke*, 55, 304–312.
- Bultosa, G. (2007). Physicochemical characteristics of grain and flour in 13 tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] grain Varietis. *Journal of Applied Science Research*, 3, 2042-2051.

- Cabrera, F., et al. (2008). Transglutaminase Treatment of Wheat and Maize Prolamins of Bread Increases the Serum IgA Reactivity of Celiac Disease Patients. *J. Agric. Food Chem*, 56, 1387–1391.
- Collar, C., Bollaín, C., Angioloni, A. (2005). Significance of microbialtransglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzymesupplemented fresh pan breads. *Journal of Food Engineering*, 70, 479–488.
- Dubois, D.K. (1978).The practical applications of fiber materials in bread production. *The Bakers Digest*, 52, 30-33.
- Ezpeleta, J. I., Callejo, M. J. (2010).Calidad harino panadera de la harina de teff (Eragrostisteff(ZUCC.)TROTTER). Departamento de Tecnología de Alimentos. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Libro de actas, 87-90.
- Graham, B. Crosbie and Andrew.S. Ross. (2007). The RVA handbook. Ed. AACC international.
- Hopman, E., Liesbeth, D., Marie-Loes, B., Maud, W., Walter, Z., Frits, K. and Joachim, S. (2008). Tef in the diet of celiac patients in The Netherlands. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 43, 277- 282.
- Ketema, S. (1997).Teff *Eragrostistef*(Zucc.) Trotter. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. 12. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetics Resources Institute, Rome, Italy.
- Khalil, A.H., Mansour, E.H., and Dawoud, F.M. (2000). Influence of Malt on Rheological and Baking Properties of Wheat - Cassava Composite Flours. *Lebensm.-Wiss. u.- Technol*, 33, 159-164.
- Mariam, I.O., Mohammed Abdelmoneim I. Mustafa., and Gammaa, A.M. Osman.(2009). Evaluation of wheat breads supplemented with Teff (Eragrostistef(ZUCC.) Trotter) Grain flour. *Australian Journal of Crop Science*, 3(4), 207-212.
- 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.
- Matthews, R.H., Sharpe, E.J., and Clark, W.M. (1970). The use of some oilseed flours in bread. *Cereal Chem*, 47, 181-185.
- McDonough, C.M., Rooney, L.W. (1985). Structure and phenol content of six species of millets using fluorescence microscopy and HPLC. *Cereal Foods World*, 30, 550.
- Mengesha, M.H. (1965). Chemical composition of Teff (*Eragrostistef*) compared with that of wheat, barley and grain sorghum. *Econ Bot*, 19, 268-273.

- Mengesha, M.H. (1966). Chemical composition of teff (*Eragrostis*) compared with that of wheat, barley and grain sorghum. *Economic Botany*, 20, 268-273.
- Mohammed, M.I.O., Mustafa, A.I., Osman, G.A.M. (2009). Evaluation of wheat breads supplemented with Teff (*Eragrostis* (ZUCC.) Trotter) Grain flour. *Australian Journal of Crop Science*, 3, 207-212.
- Morón, B., et al. (2008). Sensitive detection of cereal fractions that are toxic to celiac disease patients by using monoclonal antibodies to a main immunogenic wheat peptide. *Am. J. Clin. Nutr*, 87, 405–414.
- National Research Council, (1996). Lost Crops of Africa Grains. *National Academy Press*, Washington DC, pp. 215-534.
- Newport Scientific, (2001). Interpreting Test Results Rapid Visco Analyser: Installation and Operation Manual. Newport Scientific Pty Limited, Warriewood, Australia, pp. 37-40.
- Richard, J. Roseberg., Steve Norberg., Jim Smith., Brian Charlton., Ken Rykbost., and Clint Shock. (2005). Yield and Quality of Teff Forage as a Function of Varying Rates of Applied Irrigation and Nitrogen Klamath Experiment Station.
- Roosjen, J. (2007). Procesamiento de harina de teff. Oficina española de patentes y marcas, 2281011.
- Salehifar, M., Shahedi, M. (2007). Effects of oat flour on dough rheology, texture and Organoleptic properties of Taftoon bread. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 9, 227-234.
- 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.
- Stallknecht, G.F. (1997). Teff. New Crop FactSHEET. Purdue Univ. Center for New Crops and Plant Products.
- Talley, L.J., Brummett, B.J., and Burns, E.E. (1972). Sunflower food products. Texas & University, the Texas Agricultural Experiment Station, MP 1026.
- Tripette & Renaud Group. Manual de empleo del Alveógrafo de Chopin. Chopin, Francia.
- Tripette & Renaud Group. Manual de empleo del Reofermentómetro de Chopin. Chopin, Francia
- Twidwell, E.K., Boe, A., and Casper, D.P. (2002). Teff: A New Annual Forage Grass for South Dakota. South Dakota State University. Brookings, SD. Coop. Ext. Serv. Bul. Ex 8071.

- USDA, (2007). National Nutrient Database for Standard Reference. Release 20.
- USDA. Zegeye, A., 1997. Acceptability of injera with stewed chicken. *Food Quality and Preference*, 8, 293-295.
- Wang, J., Cristina, M.R., and Carmen, B. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221–226.
- Wieser, H., and Koehler, P. (2008). Celiac disease; In vitro and in vivo safety and palatability of wheat-free sorghum food products. *Cereal Chem*, 85(1), 1–13.
- YU, J.K., et al. (2006). Expressed sequence tag analysis in tef (*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter). *Genome*, 49, 365–372.
- Zewdu, A.D., and Solomon, W.K., (2007). Moisture-Dependent Physical Properties of Tef Seed. *Biosystems Engineering*, 96, 57–63.
- <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/05/30/castillayleon/1275210980.html>
- <http://www.diariopalentino.es/noticia.cfm/Provincia/20100922/palencia/logra/picos/2700/kgha/ensayos/teff/12E5A643-09E1-3C7A-DAC8EA1515DD63C3>