



## Optimización de la concentración de la $\alpha$ -amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés

Optimization of the concentration of  $\alpha$ -amylase and whey in improving the technological, nutritional and sensory characteristics of french bread

Juan Carlos Ponce Ramírez<sup>a</sup>; Jorge Adalberto Málaga Juárez<sup>b,\*</sup>; Alberto Luis Huamani Huamani<sup>a</sup>; Saúl Ricardo Chuqui Diestra<sup>b</sup>

a. Industrias Alimentarias. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú.

b. Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú.

\*Autor para correspondencia: [j.malagajuares@hotmail.com](mailto:j.malagajuares@hotmail.com) (J. Málaga).

Recibido 25 Septiembre 2016. Aceptado 25 Diciembre 2016.

### Resumen

Se evaluó las características físico químicas del trigo variedad INIA-418 resultando con 14,87% de proteínas y 21% de índice de dureza; la harina alcanzo un 12,94% de proteínas, 32,76% gluten húmedo y 10,92% de gluten seco, siendo superiores a los valores mínimos (28,5% gluten húmedo y 9,5% gluten seco). Dentro de las características tecnológicas, la harina alcanzo un rendimiento de 58,55% y una absorción de agua de 50,2%; el modelo lineal obtenido se representa por la siguiente ecuación de superficie de respuesta:  $Y = -1,06 + 168,50X_1 + 45,86X_2 - 2758,84X_1^2 + 0,0 X_1 X_2 - 175,21X_2^2$ , siendo los valores óptimos 0,03% de  $\alpha$ -amilasa y 13% de lactosuero, afirmándose que al incrementar el lactosuero y la  $\alpha$  amilasa, se incrementan las dextrinas mejorando la firmeza. La masa presento un índice de caída de 267 segundos, tenacidad ( $P = 53$ ), extensibilidad ( $L = 122$ ), fuerza ( $W = 179$ ) y la relación ( $P/L = 0,44$ ), resultando con buenas cualidades panaderas. El lactosuero incremento en el pan el contenido de proteínas en un 11,8% y de calcio en un 164,61%; además incremento el nivel de aceptación en los panelistas (3,28 – 3,89), existiendo diferencias significativas entre los tratamientos ( $0,021 < 0,05$ ).

**Palabras clave:** Características tecnológicas;  $\alpha$ -amilasa; lactosuero.

### Abstract

The physicochemical characteristics of wheat variety resulting INIA-418 with 14.87% protein and 21% hardness index was evaluated; flour reached a 12.94% protein, 32.76% and 10.92% wet gluten gluten dry, still higher than the minimum values (28.5% of wet gluten and dry gluten 9.5%). Among the technological features, flour achieve a yield of 58.55% and a water absorption of 50.2%; the obtained linear model is represented by the following equation response surface:  $Y = -1.06 + 168.50X_1 + 45.86X_2 - 2758.84X_1^2 + 0.0 X_1 X_2 - 175.21X_2^2$ , it is the optimum values 0.03% of  $\alpha$ -amylase and 13% whey, asserting that increasing the whey and  $\alpha$ -amylase, dextrins increase improving firmness. The mass presented a falling number of 267 seconds tenacity ( $P = 53$ ), extensibility ( $L = 122$ ), strength ( $W = 179$ ) and the ratio ( $P/L = 0.44$ ), resulting with good baking qualities. The whey increase the protein content of 11.8% and in a 164.61% calcium; also, increase the level of acceptance panelists (3.28 - 3.89), there are significant differences between treatments ( $0.021 < 0.05$ ) was observed.

**Keywords:** Technological features;  $\alpha$ -amylase; whey.

### 1. Introducción

El pan forma parte del grupo de alimentos que han constituido la base de la alimentación de todas las civilizaciones debido a sus características nutritivas, su moderado precio y a la sencillez de la utilización culinaria de su materia prima, los cereales (Martín *et al.*, 2007). El pan es uno de los alimentos más consumidos en el Perú, está compuesto de

harina de trigo, agua, grasa, sal, levadura y otros, tiene un gran aporte nutricional como hidratos de carbono, proteínas, grasas, vitaminas, minerales. Su contenido o aporte nutricional dependerá del tipo de pan que se ingiera.

Sin embargo, presenta el problema que se elabora con harina de trigo importado y a la vez sufre un deterioro rápido debido al

envejecimiento del pan, el envejecimiento del pan se manifiesta como dureza de la miga, textura correosa de la corteza, pérdida de agua y cambios en el sabor. Estas alteraciones son causadas por: retrogradación del almidón, migración del agua, interacción gluten-almidón y otros (Luna y Bárcenas, 2011).

El término “envejecimiento” hace referencia a la disminución gradual del consumidor del pan debido a todos los cambios químicos y físicos que tiene lugar en la corteza y en la miga durante el almacenamiento, excluyendo la alteración microbiológica. Los procesos que provocan el envejecimiento realmente comienzan durante el enfriamiento, incluso antes de que el almidón haya sido solidificado lo suficiente como para que la pieza de pan se corte. El envejecimiento del pan está asociado principalmente con el endurecimiento de la miga, durante el almacenamiento, la miga generalmente se vuelve más dura, seca y desmenuzable y la corteza se ablanda y se vuelve resistente. Con mucha frecuencia estos cambios se atribuyen únicamente a que la miga se seca. Sin embargo, el mecanismo del endurecimiento de la miga durante el almacenamiento es algo más que una simple redistribución de la humedad de la miga hacia la corteza. El proceso global del envejecimiento está compuesto de dos subprocesos separados: el efecto del endurecimiento provocado por la transferencia de humedad de la miga hacia la corteza y el endurecimiento intrínseco del material de las paredes de los alveolos, que está asociado con la recristalización del almidón durante el almacenamiento (Cauvain y Young, 2008).

Actualmente para mejorar el envejecimiento del pan se emplean los mejoradores que son sustancias químicas o biológicas que se añaden al pan para optimizar alguna de las características. Suelen presentarse en mezclas líquidas muy viscosas que requieren calentamiento previo al uso conteniendo distintas sustancias con varias funciones. Entre ellas se encuentran: Emulsinantes, Ácido L-ascórbico, antimohos, humectantes y enzimas (amilasas y proteasas) (Martínez y Alvarez, 2007).

El retraso del envejecimiento del pan se puede efectuar, mediante el uso de enzimas amilolíticas y no amilolíticas como coadyuvantes tecnológicos.

Las razones más importantes para la utilización de enzimas en la transformación de productos destinados a la alimentación son los efectos fisicoquímicos u organolépticos de su acción sobre los mismos, las cuales son: disminución de la viscosidad, mejora de la textura y las características organolépticas, aumento del poder edulcorante, mejora la digestibilidad, mejora la fermentabilidad, corrección de las deficiencias enzimáticas de origen natural, etc. La tendencia actual es la utilización de enzimas de origen microbiano y se utilizan en: Producción de azúcares (hidrólisis de: almidón, rafinosa, celulosa), en bebidas (cerveza, vino, licores de destilería, zumos de frutas, café y té), industrias lácteas (problemas ocasionados por la lactosa, hidrólisis enzimática de la lactosa, maduración acelerada de quesos), aceites y grasas, aditivos, pan y galletas, carnes y pescados, etc. (Berrueta *et al.*, 1992).

La necesidad de utilizar enzimas en las industrias de molinería y panadería es para resolver determinados problemas y como agentes correctores. Esto se debe a que los consumidores son cada vez más exigentes, así como a las innovaciones tecnológicas que últimamente han aparecido y a la demanda de nuevos productos. Las enzimas de mayor importancia en panadería en relación con su acción en las diferentes operaciones de fabricación de pan son las amilasas, proteasas y pentosanasas. Los niveles de actividad de las enzimas endógenas pueden variar en gran proporción dependiendo de las condiciones de cultivo, recolección y almacenamiento. El deseo de corregir este hecho y optimizar las enzimas endógenas presentes en el trigo con enzimas procedentes de otras fuentes fue el comienzo de la utilización de enzimas industriales en panadería (Van y Hamer, 1993).

Blanco (1999), señala que las  $\alpha$ -amilasas maltogénica y fúngica aumentan la vida media del pan a 5 días si bien el valor final de endurecimiento es el mismo. La alfa-amilasa fungal (1,4-a-glucan-glucano-hidrolasa) es una glicoproteína de 478 aminoácidos. Su estructura tridimensional posee tres dominios. Su conformación está estabilizada por cuatro puentes disulfuro. La presencia de calcio es necesaria para su actividad. Dos zonas de unión al calcio se localizan en lugares próximos a las zonas de actividad enzimática.

El mantenimiento de la calidad del pan es muy importante por muchas razones. Aunque las exigencias respecto a la frescura difieren según los países, existe una opinión generalizada de que el pan permanece fresco dura mayor tiempo se vende mejor. El hecho de que el empleo de amilasas disminuye el tiempo en el que el pan se pone duro es bien conocido por los suministradores de enzimas. Algunos investigadores ponen de manifiesto que el endurecimiento no está relacionado con la cristalización y retrogradación del almidón, sino más bien es debido a la presencia de enlaces cruzados entre almidón y proteínas. También se piensa que las dextrinas interfieren con este cruzamiento. No solamente las dextrinas sino también los hidrocoloides como guar y xanthan o hemicelulosas aisladas pueden retardar la aparición del endurecimiento. Esto sugiere que las dextrinas, que tienen también una gran capacidad de retención de agua, pueden actuar de forma similar y no específica. Se piensa que las amilasas retrasan el endurecimiento mediante la generación de dextrinas en la miga. Con el fin de eliminar la creencia emergente de que las dextrinas son un agente natural antiendurecimiento, hay que decir que un hecho práctico confirmado es que uno de los principales efectos de una dosis excesiva de amilasas es la pegajosidad de la miga (Van y Hamer, 1993).

Un nuevo mejorador del pan es el suero de leche que es un sólido seco derivado de la leche y que se usan para otorgar color y sabor a los productos horneados. Los polvos deben ser completamente tratados con calor para evitar problemas asociados con la pérdida de volumen del producto (Cauvain y Young, 2008).

Durante el proceso de cocción de estos productos de bollería, se produce la desnaturalización necesaria para hacer a la proteína de suero capaz de retener agua; esto permite a los productos mantenerse frescos durante mucho tiempo. Habitualmente, sustituyen a la leche en polvo, reduciendo los costes de producción. Debido a sus afinidades lipofílicas e hidrofílicas, conducen a una buena distribución de la grasa y a una estructura en el pan mejorada (Morales, 1992).

Burrington (2000) menciona que el suero y sus propiedades son un componente funcional importante en las fórmulas del pan,

mejoran el oscurecimiento y estructura de la corteza y sabor, mejoran la capacidad de tostado y retarda la retrogradación, esto debido a las propiedades funcionales de las proteínas, entre las que se encuentran, la solubilidad, viscosidad, la absorción de agua, la gelificación, cohesión, adhesión, elasticidad y emulsificación. De igual forma el suero proporciona también un sabor suave y no proporciona sabores extraños cuando se utiliza como ingrediente, y el empleo del suero o lactosa en el pan, rollos suaves y bollos es de 2-4% del peso de harina.

La textura y las propiedades reológicas de los alimentos dependen de la interacción del agua con otros componentes alimentarios, especialmente con macromoléculas como las proteínas y los polisacáridos. El agua puede modificar las propiedades físico-químicas de los productos alimenticios e influir de una forma crítica en la aceptación final del alimento, como ocurre en aquellos productos con un contenido bajo en humedad, en los que el factor determinante de su aceptabilidad es la capacidad de retención de agua de las proteínas. Las proteínas interactúan con el agua a través de puentes de hidrogeno, enlaces dipolo-dipolo o mediante las cadenas laterales de los aminoácidos (interacción con los grupos ionizados) Así, si hay una mayor proporción de aminoácidos con cadenas laterales hidrófobas la proteína presentara una menor capacidad de hidratación que si está compuesta por aminoácidos con cadenas laterales hidrofílicas que puedan establecer, más fácilmente, puentes de hidrogeno con el agua (Ordoñez, 1998).

La concentración y naturaleza de los iones presentes en una solución proteica tiene un efecto muy importante en las propiedades de hidratación de las proteínas. Se establece una relación entre el agua, las sales y las cadenas laterales de los aminoácidos de las proteínas. Si la concentración iónica es baja, la hidratación de las proteínas puede aumentar ya que los iones se fijan a éstas, disminuyendo la atracción electrostática entre las proteínas. Como consecuencia, se abre la red proteica, que estará más en contacto con el agua, es el efecto *salting-in*. Sin embargo, con concentraciones salinas elevadas se crea una competencia entre la proteína y las sales para captar agua disminuyendo las interacciones agua-proteína, lo podría originar una precipitación de éstas, este es el fenómeno *salting-out*. En

este caso no hay suficientes moléculas de agua para unirse a las proteínas porque están ligadas a las sales (Ordoñez, 1998).

Frente al problema la investigación tuvo como objetivo optimizar la concentración de la  $\alpha$ -amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés. Para ello se utilizó harina de trigo variedad El Nazareno con un alto contenido proteico (14,87%) (Moncada, 2007), asimismo el uso del lactosuero mejoró la calidad nutricional en el contenido de proteínas y calcio del pan francés, siendo el calcio un activador de la  $\alpha$ -amilasa para mejorar el comportamiento reológico de la harina El Nazareno en el procesamiento del pan.

Empleando dosis crecientes, se buscó optimizar el efecto de la enzima y el lactosuero sobre las características sensoriales del pan francés, mediante el análisis del perfil de textura.

## 2. Materiales y métodos

Se utilizó el trigo (*Triticum aestivum ssp*) variedad INIA- 418 El Nazareno producido por el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA-Ayacucho), teniendo en cuenta la homogeneidad de sus características sensoriales y fisicoquímicas a fin de garantizar la representatividad de la muestra. Dentro de los equipos utilizados tenemos: Molino Experimental Buhler, Alveógrafo marca CHOPIN modelo NG, Consistógrafo marca CHOPIN modelo ICC 171, Falling Number marca CHOPIN modelo 1300, Texturómetro Koehler y otros.

En la caracterización físico química del grano y harina de trigo se realizó el análisis químico proximal, al grano y harina de trigo, determinándose humedad, proteína, grasa cruda, cenizas totales y fibra cruda (AOAC, 1995); luego se determinó el *índice de dureza*, al grano de trigo colocando 20 g de muestra en la perladora, puliéndose por un minuto, se cierne y se pesa lo que queda en el cernidor. La pérdida del grano durante el pulido indicará la dureza (CIMMYT, 1985). El porcentaje de dureza se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{Dureza} = \left[ \frac{P_i - P_f}{P_i} \right] * 100$$

En donde:  $P_i$  = Peso inicial de la muestra y  $P_f$  = Peso final de la muestra.

Además, se determinó el *Gluten húmedo*, se pesó 500 g de harina, se añadió gota a gota la solución de NaCl al 2%, se amasa en el mortero hasta obtener una buena masa, se reposo por 5 minutos, se lavó con agua por 8 minutos para quitar el almidón. Para evitar que se pierdan partículas de gluten se colocó debajo un tamiz. Se pesó el gluten limpio y se llevó a porcentaje de la masa inicial (ISO 21415-1:2006). Para el *Gluten seco*, se dejó reposar por 20 min, el gluten obtenido en la determinación anterior, se desecó en la estufa a 100°C por 5 horas hasta peso constante, se enfrió y pesó (ISO 21415-1:2006).

En la evaluación tecnológica de la harina primeramente se realizó la obtención de harina de trigo, para ello se realizó la *selección y limpieza del grano*, eliminando todas las impurezas y residuo de polvo, luego se determinó el *índice de dureza*, que nos permitió calcular el agua que se agregará al grano antes de la molienda. Después se determinó la *humedad del grano*, con el equipo Steinlite, a través de la conductividad eléctrica en un rango que va de 0 – 20%. En el  *acondicionamiento*, se ajustó la humedad del grano de acuerdo a su dureza, en las variedades de grano duro requerirán mayor humedad que las variedades de grano suave (CIMMYT, 1985). La cantidad de agua a añadir se calculó con la siguiente fórmula:

$$mL \text{ agua a adicionar} = \left[ \left( \frac{100 - \% \text{ humedad inicial}}{100 - \% \text{ humedad requerida}} \right) - 1 \right] * \frac{\text{Peso muestra}}{\text{Peso requerida}}$$

En la molienda experimental, se utilizó el molino automático Buhler de laboratorio que tiene tres pasajes de trituración y tres de reducción, dando un total de seis clases de harina, estas harinas se mezclaron para efectuar las diferentes pruebas. El rendimiento de la molienda se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \left[ \left( \frac{\text{Pesodelaharina} * (100 - \% \text{Humedadharina})}{\text{Pesodeltrigo} * (100 - \% \text{Humedadtrigo})} \right) \right] * 100$$

Finalmente se llevó la maduración natural por un tiempo de 30 días de reposo, para mejorar los enlaces de la red proteica de la harina.

En las pruebas de panificación para optimizar los tratamientos se realizó las operaciones de dosificación, mezclado, amasado, sobado, pesado, boleado, moldeado, reposo (20 min), fermentación (28 - 30 °C x 90 min 80% HR), horneado (180 °C x 15 min), enfriado y almacenado. En el mezclado se utilizó

diferentes porcentajes de Lactosuero (1% mínimo - 25% máximo) y  $\alpha$ -amilasa (0,01% mínimo-0,05% máximo) con la finalidad de optimizar los tratamientos.

Con el tratamiento optimizado se realizó las siguientes pruebas reológicas: Índice de caída, normas el método AACC N°56-81B (ICC, 2006), *Consistograma*, metodología de Chopin de la AACC N° 54 (ICC, 2006) y el *Alveograma*, metodología de Chopin de la AACC N° 50 (ICC, 2006).

En la evaluación nutricional de los valores óptimos de panificación, se realizó el *análisis químico proximal* de humedad, proteínas, grasas, cenizas totales y fibra cruda del pan francés obtenido (AOAC, 1995), así como se determinó calcio por titulación con EDTA Método AOAC 944.03 (AOAC, 1995). Para el análisis sensorial se utilizó la escala hedónica con una calificación de 1 – 5 donde 1 = disgusta mucho y 5 = me gusta mucho, la cual es una prueba de aceptación que se utiliza cuando se tienen que evaluar más de dos muestras a la vez, o cuando se desea tener mayor información acerca de un producto (Espinoza, 2007; Anzaldúa, 2005).

Finalmente, la investigación se adecua a un Diseño Compuesto Central Rotable, con el objetivo de optimizar la textura en los tratamientos. La optimización mediante superficie de respuesta ( $p < 0,05$ ) se realizó aplicando el arreglo factorial  $2k + 2k + C$ , (3 repeticiones y 13 tratamientos), donde k es el número de factores que afectan significativamente la textura del pan, seleccionándose el mejor tratamiento (Anzaldúa, 2005 y Montgomery, 2001). Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Plus.

### 3. Resultados y discusión

En la caracterización físico química del grano y harina de trigo los resultados obtenidos en la evaluación químico proximal del grano y harina de trigo INIA- 418 como materia prima utilizada en la elaboración del pan francés, se muestra en la tabla 1.

El 10,88% de humedad del grano de trigo y el 13,04% de humedad de la harina está dentro del rango para una conservación adecuada. Dendy y Dobraszczyk (2004) mencionan que el grano de trigo debe estar por debajo de 12,5% de humedad, un exceso de humedad puede germinar el grano; generando calor que puede perjudicar su calidad con fines de molienda. Ortiz (2000) señala que, en las

harinas, la legislación internacional indica que no excederá el 15% y en el envasado el rango es de 13 a 14,5%, debido al carácter higroscópico de la harina.

**Tabla 1.** Composición químico proximal del grano y harina de trigo INIA-418 El Nazareno (g/ 100 g, base húmeda)

Componente	grano (g)	harina (g)
Humedad	10,88	13,04
Proteína	14,87	12,94
Grasa cruda	1,74	1,25
Fibra cruda	2,64	2,32
Cenizas totales	1,72	0,94
Carbohidratos	68,15	69,51
Gluten húmedo	--	32,76
Gluten seco	--	10,92

El 14,87% de proteínas del grano de trigo variedad El Nazareno indica que es un grano rico en proteínas ideal para su industrialización, esto se debe a diferentes factores en el ciclo vegetativo de la planta, como la clase de suelo, el tipo y cantidad de abonado, temperatura, humedad, la pluviosidad, etc., que pueden modificar el metabolismo de la planta sobre todo glucídico y proteico (Calaveras, 2004). La harina de trigo obtenida alcanzo el 12,94% de proteínas, resultando una harina de fuerza. Calaveras (2004) indica que harinas con proteínas mayor a 11% son harinas de fuerza y se utiliza para repostería, bollería o para panes que llevan leche como el pan de molde.

En cuanto al contenido de gluten la harina experimental presento un 32,76% de gluten húmedo y 10,92% de gluten seco, encentrándose dentro de lo normal ya que las harinas comerciales tienen entre 28,5 a 34,5% de gluten húmedo y entre 9,5 a 11,5% de gluten seco (Calaveras, 2004; SAGARPA, 2006).

**Tabla 2.** Porcentaje de dureza del trigo INIA-418 El Nazareno

Muestra	PI	PF	% dureza	% Humedad		mL agua a adicionar
				Inicial	Requerida	
El Nazareno	20,00	15,80	21,00	10,88	16,00	60,95

*El índice de dureza* del grano de trigo variedad El nazareno fue de 21% y una humedad inicial de 10,88%, por lo tanto, se le debe añadir 60,95 mL de agua a 1000 g de grano de trigo por un espacio de 24 horas para obtener una humedad de 16% antes de su molienda, esta dureza indica que es un grano duro, requiriendo mayor tiempo de

acondicionamiento. Según (Dendy y Dobraszczyk, 2004; Vásquez, 2013) señalan que normalmente se tratan de conseguir el temperado de trigo en un 16% a 16,5% de humedad porque durante el proceso de molienda se pierde 2,5% de humedad en la evaporación causada por la fricción y el calor, si el trigo fuese muy duro el tiempo de reposo también duraría unas 24 horas. En realidad, cada molinero tiene sus normas de acondicionado en función de la dureza y humedad del trigo. La humectación hace que los granos adquieran propiedades físicas que facilite una separación entre el germen plástico, que este se deforme, pero mantenga su tamaño y que no se rompa.

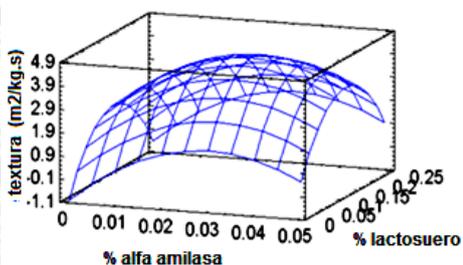
En la *Molienda experimental* del trigo variedad INIA-418 para obtener harina se obtuvo un rendimiento de 58,55%, este valor se observa en la tabla 3.

**Tabla 3.** Rendimiento de la molienda del trigo variedad INIA-418 El Nazareno

Muestra	W harina (g)	W trigo (g)	% Humedad		% rendimiento
			trigo	harina	
El Nazareno	600	1000	10,88%	13,04%	58,55%

El rendimiento obtenido es mayor al obtenido por (Osella *et al.*, 2006), quien a nivel de escala piloto alcanzo el 56% en promedio, estos resultados son alentadores para la variedad estudiada.

En la prueba de panificación para optimizar las variables en estudio, después de realizada las 13 combinaciones de experimentos, se evaluó los resultados de perfil de textura (dm<sup>2</sup>/kg.s), a partir de los cuales se obtuvo una respuesta optimizada, cuyo comportamiento de los resultados se observan en la figura 1.



**Figura 1.** Análisis de superficie de respuesta del efecto del %  $\alpha$ -amilasa y % lactosuero en el pan francés.

La ecuación polinomial codificado de superficie de respuesta de Firmeza es:

$$Y = -1,05944 + 168,497X_1 + 45,8575X_2 - 2758,84X_1^2 + 0,0 X_1 X_2 - 175,213X_2^2$$

Esta ecuación determina con exactitud la combinación de variables para poder alcanzar una respuesta optimizada en cuanto a la Firmeza del pan, cuyo resultado se observa en la tabla 4.

En base a los resultados obtenidos en la figura 1 y tabla 4, se concluye que los tratamientos centrales alcanzaron los mayores valores de textura (entre 356,60 – 468,00 dm<sup>2</sup>/kg.s), resultando como tratamiento optimo el 0,03% de alfa amilasa y 13% de lactosuero, alcanza el valor óptimo de firmeza (451,23 dm<sup>2</sup>/kg.s.).

De acuerdo al comportamiento del pan francés podemos afirmar que cuanto más se incrementa el lactosuero, la textura del pan es más suave, hasta llegar a un valor óptimo (13%). Similar comportamiento tiene el  $\alpha$  amilasa al incrementar su concentración se incrementan las dextrinas mejorando la firmeza del pan francés.

**Tabla 4.** Valores óptimos del % de firmeza en el pan francés

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
X <sub>1</sub> (% alfa-amilasa)	0,01	0,05	0,03
X <sub>2</sub> (% lactosuero)	0,01	0,25	0,13

Estas aseveraciones se fundamentan en los resultados encontrados por (Güemes *et al.*, 2009), quien en su investigación encontró que el pan con 25% de lactosuero alcanza la máxima textura, seguido de la muestra con 15% de lactosuero; sin embargo en el pan francés experimental no se busca que el pan sea muy blando, si no que tenga una textura característica (Morales, 1992; Ordoñez, 1998), indican que durante el proceso de cocción de los productos de panadería el lactosuero, mejora el oscurecimiento y estructura de la corteza, produce la desnaturalización necesaria para hacer a la proteína de suero capaz de retener agua; manteniendo frescos al pan durante mucho tiempo. Además, debido a sus afinidades lipofílicas e hidrofílicas, conducen a una buena distribución de la grasa y a una estructura en el pan mejorada.

Por otro lado, Blanco (1999) señala que la  $\alpha$ -amilasa fúngica aumenta la vida media del pan a 5 días si bien el valor final de endurecimiento es el mismo. La alfa-amilasa fungal (1,4-a-glucan-glucanohidrolasa) es

una glicoproteína de 478 aminoácidos, su estructura tridimensional posee tres dominios y su conformación está estabilizada por cuatro puentes disulfuro. La presencia de calcio es necesaria para su actividad debido a que dos zonas de unión al calcio se localizan en lugares próximos a las zonas de actividad enzimática. Gil *et al.* (1998) y Miranda (2004), en sus investigaciones fundamentan que la  $\alpha$ -amilasa limita la velocidad de envejecimiento del pan al hidrolizar parcialmente las zonas amorfas del almidón retrogradado, rompiendo enlaces (puentes de H) entre las fibrillas de proteína y los gránulos de almidón, creando dextrinas y azúcares de bajo peso molecular, estas dextrinas juegan un papel relevante en la retención de agua y en la esponjosidad de la miga. Conforme se va degradando el almidón dañado, parte del agua absorbida por estos gránulos pasa de nuevo a la masa, reduciéndose la consistencia de la misma. Un exceso de dextrinas contribuye a hacer pegajosa la masa.

**Tabla 5.** ANVA para la maximización de la textura

FUENTE	SC	Gl	CM	F-Ratio	P-Valor
A: % $\alpha$ amilasa	0,01056	1	0,0106	0,04	0,8383
B: % Lactosuero	0,00471	1	0,0047	0,02	0,8930
AA	1,75326	1	1,7533	7,44	0,0294
AB	0,00000	1	0,0000	0,00	1,0000
BB	9,41865	1	9,1865	39,99	0,0004
Error Total	1,6881	7	0,235		
Total (corr.)	11,3312	12			

El ANVA de la tabla 5 analizó la variabilidad de los resultados de la firmeza ( $\text{dm}^2/\text{kg.s}$ ), con respecto a los factores independientes en estudio (% de  $\alpha$ -amilasa y % de lactosuero), observándose que la relación (AA) y la relación (BB) tienen valores p inferiores a 0,05, estos resultados nos indica que son significativamente diferentes de cero al 95% del nivel de confianza, por lo tanto influyen en la firmeza del pan.

Los resultados de las pruebas reológicas realizadas a la masa de las variables optimizadas fueron: *El Índice de caída*, se determinó a través de actividad amilásica usando el Falling Number, la masa con harina de trigo el Nazareno sin  $\alpha$ -amilasa resulto con bajísima actividad enzimática (435 segundos); al utilizar la masa con harina de trigo el Nazareno con 0,03%  $\alpha$ -amilasa +13%

de lactosuero, el índice de caída fue de 267 segundos, este resultado nos indica que la  $\alpha$ -amilasa actuó hidrolizando el almidón; según Monleón *et al.* (2008) y Calaveras (2004) el Falling Number (FN) mide la actividad enzimática o la cantidad de  $\alpha$ -amilasa de la harina, así valores altos de FN indican baja actividad enzimática y valores bajos alta actividad enzimática.

**Tabla 6.** Valores de índice de caída

muestras	tiempo de caída
harina de trigo nazareno	435 s
harina de trigo nazareno + $\alpha$ -amilasa y lactosuero	267 s

Existe valores de FN óptimo para cada uso de la harina estando comprendido entre 200 y 300 segundos, harinas con altos valores (>300 segundos), dan origen a masas con dificultad para fermentar, panes con miga dura, compacta y con corteza pálida. Harinas con índices excesivamente bajos (<150 segundos), dan origen a masas blandas, pegajosas, difíciles de trabajar con máquina.

Los resultados de las pruebas reológicas realizadas a la masa de las variables optimizadas fueron: *El Índice de caída*, se determinó a través de actividad amilásica usando el Falling Number, la masa con harina de trigo el Nazareno sin  $\alpha$ -amilasa resulto con bajísima actividad enzimática (435 segundos); al utilizar la masa con harina de trigo el Nazareno con 0,03%  $\alpha$ -amilasa +13% de lactosuero, el índice de caída fue de 267 segundos, este resultado nos indica que la  $\alpha$ -amilasa actuó hidrolizando el almidón; según Monleón *et al.* (2008) y Calavera (2004) el Falling Number (FN) mide la actividad enzimática o la cantidad de  $\alpha$ -amilasa de la harina, así valores altos de FN indican baja actividad enzimática y valores bajos alta actividad enzimática.

Existe valores de FN óptimo para cada uso de la harina estando comprendido entre 200 y 300 segundos, harinas con altos valores (>300 segundos), dan origen a masas con dificultad para fermentar, panes con miga dura, compacta y con corteza pálida. Harinas con índices excesivamente bajos (<150 segundos), dan origen a masas blandas, pegajosas, difíciles de trabajar con máquina.

**Tabla 7.** Resultados del consistograma con hidratación adaptada (HA)

Consistograma	Unidad	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
PrMax	mb	2255	2048
TPrMax	s	100	116
Tol	s	113	161
D250	mb	1107	550
D450	mb	1454	1068
HYDHA b 15	%	57,0	48,5
WAC b 15	%	59,0	50,2

T<sub>1</sub> = harina de trigo el Nazareno  
T<sub>2</sub> = Harina de trigo con alfa-amilasa y lactosuero.

El consistógrafo determino la adecuada proporción de agua y harina que da lugar a una masa con buenas características para su manejo, fermentación y horneado (Cauvain y Young, 2002), la muestra presento una absorción de agua de 50,2%.

**Tabla 8.** Resultados del alveograma con hidratación adaptada (HA)

Alveograma	Unidad	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
Tenacidad (P)	mm	90,00	53,00
Extensibilidad (L)	mm	36,00	122,00
Fuerza (W)	10E-4 J	121,00	179,00
Relación (P/L)		2,48	0,44

T<sub>1</sub> = Harina de trigo el Nazareno  
T<sub>2</sub> = Harina de trigo el Nazareno con  $\alpha$ -amilasa y lactosuero.

El alveograma se realizó para ver el comportamiento de la masa panaria optimizada (0,03%  $\alpha$ -amilasa y 13% de lactosuero); el cual alcanzo valores de tenacidad (P = 53), extensibilidad (L = 122), fuerza (W = 179) y la relación (P/L = 0,44), resultando la masa con buenas cualidades panaderas y dentro del rango recomendado por (Monleón *et al.*, 2008) quien menciona, que para productos horneados fermentados, se debe utilizar harinas fuertes con una W = 180 - 200 y W > 170, P/L = 0,3 - 0,7 provenientes de granos equilibrados con buenas aptitudes para panificación. En la evaluación nutricional del pan francés los resultados de la composición químico proximal del pan francés se muestra en la tabla 9.

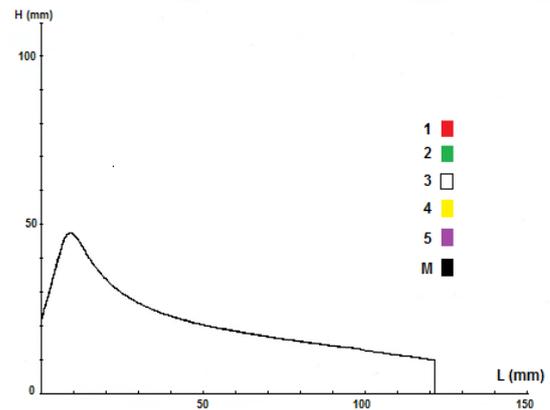
**Tabla 9.** Composición química proximal del pan francés (g/100 g base húmeda)

Componentes	(A)	(B)
Humedad	27,11 ± 0,096	27,03 ± 0,131
Proteínas	9,19 ± 0,051	8,22 ± 0,035
Grasa	0,29 ± 0,010	0,19 ± 0,010
Ceniza	1,71 ± 0,025	1,45 ± 0,036
Fibra	0,54 ± 0,015	0,56 ± 0,015
Carbohidratos	60,53 ± 0,305	62,40 ± 0,407
Calcio	0,090 ± 0,004	0,034 ± 0,001

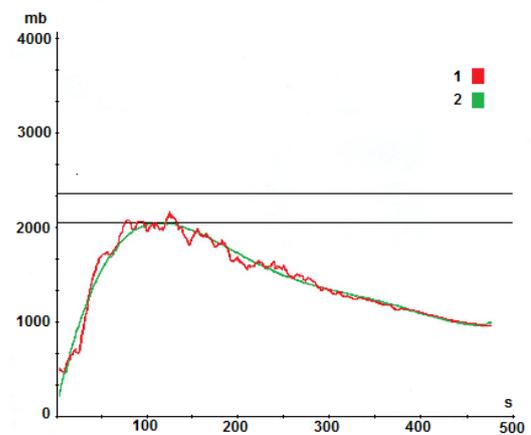
(A): Pan francés experimental (B): Pan francés comercial.

El pan francés experimental alcanzo una humedad de 27,11 % superior al 27,03% del pan francés comercial, en ambos casos están dentro de lo permitido (35% máximo) según la NTP 206.003-1976.

Este resultado se fundamenta en que las enzimas  $\alpha$ -amilasa han hidrolizado el almidón produciendo dextrinas la cual es la encargada de retener agua y las proteínas del lactosuero tienen esa misma capacidad de absorber agua tal como señala (Parra, 2009). Como era de esperarse, el contenido de proteína del pan francés experimental (9,19%) fue mayor al aumentar el porcentaje de lactosuero concentrado, resultando superior al 8,22% de proteínas del pan francés comercial, este resultado se basa en el empleo de la harina de trigo El Nazareno con alto contenido proteico (12,94%) y el uso del lactosuero en polvo con un 18% de proteínas, estos dos componentes hacen que el pan francés tenga un alto valor nutritivo (Ordoñez, 1998).



**Figura 2.** Alveograma de la muestra optimizada (T<sub>2</sub>).



**Figura 3.** Consistograma de la muestra optimizada (T<sub>2</sub>).

Al realizar la prueba de Levene ( $0,834 > 0,05$ ) se verifico que existe homogeneidad de varianzas y al analizar la prueba t student para muestras independientes con un  $\alpha = 0,05$  ( $0,021 < 0,05$ ) mostró que existe diferencia significativa entre las 2 muestras en cuanto al nivel de agrado ( $P > 0,05$ ) (Tabla 11). La muestra 705 (Harina de trigo variedad El Nazareno + 0,03% de  $\alpha$ -amilasa + 13% de lactosuero) presentó un buen nivel de agrado superior al tratamiento control (muestra 425) y por tanto podría utilizarse esta formulación para mejorar el agrado del consumidor hacia el producto.

#### 4. Conclusiones

Se determinó las características físico químicas del trigo variedad INIA-418 resultando con 14.87% de proteínas y un índice de dureza de 21%; además la harina obtenida en un molino Buhler alcanza 12.94% de proteínas, 32.76% gluten húmedo y 10.92% de gluten seco, siendo superiores a los valores mínimos (28.5% gluten húmedo y 9.5% gluten seco) resultando con características similares a la harina de trigo comercial.

En la elaboración de pan francés se optimizó la concentración de las variables en estudio (0.03% de  $\alpha$ -amilasa y 13% de lactosuero) con respecto a la harina, cuya ecuación de superficie de respuesta de Firmeza es:  $Y = -1,05944 + 168,497X_1 + 45,8575X_2 - 2758,84X_1^2 + 0,0 X_1 X_2 - 175,21X_2^2$ , y al evaluar la masa panaria con la concentración optima, esta presento un índice de caída de 267 segundos, tenacidad ( $P = 53$ ), extensibilidad ( $L = 122$ ), fuerza ( $W = 179$ ) y la relación ( $P/L = 0,44$ ), resultando con buenas cualidades panaderas.

Se evaluó las características nutricionales y sensoriales del pan francés experimental, determinándose que el lactosuero es rico en lactosa, proteínas, vitaminas y calcio, lo que mejoro nutricionalmente el contenido de proteínas en un 11,8% (de 8,22% a 9,19%) y calcio en un 164,61% (de 34 mg a 90 mg). Además, se observó una alta aceptación por parte de los panelistas (3,28 – 3,89), existiendo diferencias significativas entre los tratamientos ( $0,021 < 0,05$ ) debido al ligero oscurecimiento debido a la presencia de lactosa en el producto y una textura más suave por efecto de la  $\alpha$ -amilasa.

#### Referencias

- Anzaldúa, M. 2005. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Acribia. España. 2005. pp. 46-47, 84-87.
- AOAC. 1995. Métodos oficiales del análisis. Asociación de químicos analíticos oficiales. Arlington, Virginia.
- Berrueta, J.; Labajos, B.; Coca, J. 1992. Utilización de enzimas en las industrias alimentarias. Dpto. de Ingeniería Química. Universidad de Oviedo. Alimentación, equipos y tecnología 10: 79-85.
- Blanco, C. 1999. Características inmunoquímicas de la sensibilización a  $\alpha$ -amilasa. 3era Ed. Sección Alergología. Hospital General Yale. Burgos. Ponencia de la edición 1999.
- Burrington, K. 2000. Productos de suero en la panificación. Industria alimentaria.
- Calaveras, J. 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Ediciones Mundi Prensa. Madrid-España. 564 págs.
- CIMMYT, 1985. Reporte final del entrenamiento en Centro Experimental de mejoramiento de maíz y trigo. México. 75 págs.
- Cauvain, S.C.; Young, L. 2002. Fabricación de pan. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España.
- Cauvain, S.C.; Young, L. 2008. Productos de panadería. Ciencia, tecnología y práctica. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España. pp. 154-157.
- Dendy, D.; Dobraszczyk, B. 2004. Cereales y productos derivados. Editorial. Acribia S.A. Zaragoza-España.
- Espinoza, M. 2007. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Versión digital. Editorial Universitaria, Cuba.
- Gil, M., Callejo, M., Rodríguez, G. y Ruiz, M. 1998. Influencia de las enzimas en la firmeza y elasticidad del pan de molde durante su conservación. Universidad Politécnica de Madrid. Alimentación, Equipos y Tecnología. N°9. Año XVII Noviembre, 1998. pp.73-81.
- Giner, O.; Raventós, M. 2001. Tecnología del procesado del lactosuero. Universidad Politécnica de Cataluña. Alimentación, Equipos y Tecnología 160: 76-80.
- Giemes, N.; Totosaus, A.; Hernandez, J.; Soto, S.; Bolaños, N., 2009. Propriedades de textura de massa e de pão doce tipo concha fortificados com proteínas do soro de leite. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas 29(1): 70-75.
- ICC - Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology. 2006. ICC Standard N. 173. Whole meal and flour from *T. aestivum* – Determination of rheological behavior as a function of mixing and temperature increase.
- Luna F.; Bárcenas P. 2011. El almidón dañado y su impacto en la panificación. Revista Panera. Molinería, Panadería y pastelería. Número 7. Año 2-2008. Panera Ediciones SAC. Pp. 7-8.
- Martín, E.; De Mateo, B.; Miján, A.; Pérez, A.M.; Redondo, P.; Sáenz, I. 2007. Pan y Cereales. Dirección General de Salud Pública y Alimentación. Madrid - España. 145 págs.
- Martínez J.; Alvarez A. 2007. Aditivos y mejorantes en panadería. Alimentación, Equipos y Tecnología 220: 52-56.
- Miranda, R. 2004. Actividad de las amilasas en panificación. Artículo Técnico. 4-6. Disponible en: <http://www.alfaeditores.com/alimentaria/NovDic%2004/TECNOLOGIA%20Amilasas%20en%20Panificac%20.pdf>
- Montgomery, D.C. 2001. Response surface methods and other approaches to process optimization. En Design and analysis of experiments. 5a ed. Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 427-500.
- Monleón, G.; Collado F. 2008. Calidad industrial del trigo y la harina. Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos. Facultad de ciencias. Universidad de Burgos. Alimentación, Equipos y Tecnología 238: 32-35.
- Moncada, L. 2007. Calidad de grano de trigos provenientes de la sierra del Perú. Campaña 2003-2005. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Lima-Perú. pp. 4-5.

- Morales, F.; Romero, M.; Jimenez-Perez, S. 1992. El suero de quesería en la industria alimentaria. Instituto del Frío (CSIC). Alimentación, Equipos y Tecnología 6: 45-101.
- Ordoñez, J.; Cambero, I.; Fernández, L.; García, L.; De la Hoz, L.; Selgas, D. 1998. Tecnología de alimentos. Volumen I. Componentes de los alimentos y procesos. Editorial Síntesis S.A. Madrid- España.
- Ortiz, A. 2000. La harina y el laboratorio. Responsable del Dpto. de control de calidad Honesta Manzaneque, S.A. Alimentación, equipos y tecnología. N°1.
- Osella, C.; Sánchez, D.; González, R.; De la Torre, A. 2006. Molienda de trigo: Ensayos comparativos de escala industrial con planta piloto. Información Tecnológica 17(3): 33-39.
- Parra, H.R. 2009. Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 62(1): 4967-4982.
- SAGARPA, 2006. Informe de la calidad del trigo (ciclo otoño-invierno). Cámara Nacional de la Industria Molinera del trigo de Baja California. 25 págs.
- Van, M.; Hamer, R.J. 1993. Enzimas en Panadería. TNO Instituto de Biotecnología y Química (Países Bajos). Alimentación, equipos y tecnología 5: 115-118.
- Vázquez M.M., 2013. Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. Ciencia y Tecnología 13: 117-132.

Agroind Sci  
Agroind Sci  
AGROINDUSTRIAL

