

Desarrollo de un producto de panificación con harinas de leguminosas y cereales complementado con *trüb*

P.J. Hernández Pérez¹, A. Reyó Herrera² y M.S. Córdoba Aguilar*¹

1 Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito escolar s/n Ciudad Universitaria, Col UNAM, CU, Delegación Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. **2** Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito escolar s/n Ciudad Universitaria, Col UNAM, CU, Delegación Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. *marisol.cordova@icat.unam.mx

RESUMEN

Se propuso desarrollar un producto de panificación de harinas de cereales y leguminosas y *trüb*, que es un subproducto de proceso de elaboración de cerveza cuya composición presenta predominantemente aminoácidos ácidos, aminoácidos alifáticos, taninos y compuestos polifenólicos. Las harinas se procesaron en el ICAT, se les realizó un análisis bromatológico y una caracterización en función de solubilidad, pH, % humedad, actividad de agua (a_w) y densidad total, aparente y compactada; adicionalmente, al *trüb* se le realizó una prueba de sedimentación. Se propuso un diseño de mezclas para las formulaciones del producto de panificación, utilizando un diseño de programación no lineal con restricciones utilizando el programa (*FrontlineSolvers*), cuyas variables de decisión fueron diferentes proporciones de *trüb* y harinas; como función objetivo, la calidad proteica (PDCAAS) del producto final y, como restricciones, los aminoácidos limitantes del *trüb* y las harinas. En todas las formulaciones, se utilizó masa madre. Se logró desarrollar un producto de panificación con 8 a 10 % de *trüb* y con un PDCAAS mayor en 16 a 19 % respecto a una formulación con sólo harina de trigo. El producto presentó una textura y estabilidad aceptables, con calidad nutricional y alta tolerancia proteica.

Palabras clave: *trüb*, cereales, leguminosas, producto de panificación, PDCAAS, diseño de mezclas.

ABSTRACT

A bakery product made from cereal, legume and *trüb* flours was developed. *Trüb* is a by-product of the brewing process whose composition consists of acidic amino acids, aliphatic amino acids, tannins, and polyphenolic compounds, which complements the protein quality of the product and increases its PDCAAS. The flours were obtained at ICAT and were characterized based on AQP, solubility, pH, % moisture, water activity (a_w) and density. Several formulations of the bakery product were tested, using a nonlinear programming design with restrictions (*FrontlineSolvers*), whose decision variables were different proportions of *trüb* and flour; the objective function was the protein quality (PDCAAS) of the final product and the limiting amino acids of the *trüb* and the flours, as restrictions. In all formulations, wheat flour sourdough was used. It was possible to develop a bakery product with 8 to 10% of *trüb* and with a PDCAAS higher by 16 to 19% compared to a formulation of only wheat flour. The final product presented an acceptable texture, with quality and high protein tolerance.

Key words: *trüb*, cereals, legumes, bakery product, PDCAAS, mix design.

INTRODUCCIÓN

El síndrome de malabsorción se define como una alteración en la asimilación de nutrientes que puede ser producida por la hidrólisis defectuosa de nutrientes o la alteración de la absorción mucosa de los nutrientes (Pérez *et al.*, 2008). El síndrome de malabsorción causa diferentes alteraciones, fundamentalmente pérdida de peso, anemia y desnutrición. Esta condición se presenta por disminución de la capacidad digestiva, por incremento de la motilidad intestinal o por disminución de la superficie digestivo-absortiva, como en el caso de la cirugía bariátrica. Estos pacientes requieren de dietas que les proporcionen todos los requerimientos nutrimentales, principalmente de proteína, la cual es el nutrimento más importante que ayuda a mantener la masa magra (Johnson-Stoklossa y Atwal, 2013). Sin embargo, los alimentos que contienen proteínas de alta calidad (carne, huevo, etc.), en muchos casos, no son tolerados o son poco accesibles. Promover una alimentación equilibrada resulta complicado en la mayoría de los casos, pues se tiene baja capacidad gástrica o puede presentarse inapetencia. Una alternativa para evitar la desnutrición severa en estos pacientes y alcanzar los requerimientos nutrimentales, es el uso de fórmulas sin lactosa y sacarosa, o bien, fórmulas oligoméricas que en la mayoría de los casos deben administrarse por medio de una sonda de alimentación, dada su pobre aceptación por vía oral. Todos estos suplementos implican un elevado costo para el paciente. Por otra parte, durante el proceso de elaboración de cerveza se generan varios residuos. Uno de ellos, obtenido de la etapa de pasteurización y lupulado del mosto es un residuo con un alto contenido de fibra y proteína que puede aprovecharse incorporándolo total o parcialmente, a una formulación enriquecida nutricionalmente.

El *trüb* es un subproducto de proceso de elaboración de cerveza, obtenido después de la maduración de la cerveza, el cual puede utilizarse para complementar alimentos funcionales, debido a que su composición presenta predominantemente aminoácidos ácidos, así como sus amidas, aminoácidos alifáticos, taninos, compuestos polifenólicos derivados de la adición de lúpulo además, de la presencia de una mezcla compleja de proteínas desnaturalizadas, carbohidratos y lípidos provenientes del grano (Yeow, 1978).

Se han desarrollado productos funcionales de panadería, los cuales han sido complementados con diferentes sustancias nutritivas y protectoras que permiten disminuir la incidencia de diversos tipos de patologías asociadas con alimentos (Montero, et al., 2015). Debido a sus características de vida de anaquel, su bajo costo de manufactura y formulación, los productos de panificación pueden ser enriquecidos al adicionar proteínas de origen vegetal, como concentrados o aislados proteicos de diversas leguminosas (Güemes *et al.*, 2009).

En la actualidad el método sugerido para evaluar la calidad proteica es el PDCAAS en el cual se valora hasta qué punto la fuente de proteína puede satisfacer la demanda de aminoácidos permitiendo la predicción de la proteína en la dieta (FAO Y FINUT, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y caracterización fisicoquímica de harinas y *trüb*

Se obtuvieron las harinas de leguminosas y cereales por el método establecido por Velázquez (2019). Las legumbres se remojaron durante 24 horas a temperatura ambiente, se hace la cocción y secado en un equipo Industrial de charolas (*Avantco*) para su posterior molienda en seco para disminuir el tamaño de partícula. En el caso de los cereales, la harina se obtiene por molienda y tamizado 80.

En la planta piloto de elaboración de cerveza (Facultad de Química/Lab. tecnología de alimentos), al término del proceso de elaboración de cerveza, se obtuvo el sedimento (*trüb*) del tanque de fermentación

para su posterior deshidratación. La caracterización de las harinas se hizo en función de: solubilidad, pH, % humedad, actividad de agua (a_w) y densidad total, aparente y compactada y sedimentación.

Para la determinación de humedad en las distintas harinas obtenidas, así como en el *trüb*, se utilizó el método de termobalanza (NMX-F-428-1982), mediante una termobalanza (Sartorius Alemania MA37-1 a 135 °C. Se determinó a_w en un medidor de actividad de agua (Aqualab Series 4TE), el cual sigue la metodología de punto de rocío a 25 °C. Ambas pruebas fueron realizadas por triplicado a cada muestra (Velázquez. 2019).

Se determinó la densidad total mediante un picnómetro y se registró el peso por triplicado para cada muestra. Se calculó la densidad de las muestras mediante la siguiente ecuación:

$$Densidad\ total = \frac{m}{v}$$

Donde: m = masa (g) y v = volumen (mL)

La densidad aparente se determinó en una probeta de 10mL con graduación de 0.5mL, y se pesó la cantidad de harina que ocupa 5 mL sin compactar. La densidad aparente se determinó por triplicado reportando los resultados en gramo por mL, utilizando la siguiente ecuación:

$$Densidad\ aparente = \frac{m}{v_0} \quad \text{Donde: } v_0 = \text{volumen sin compactar (mL)}$$

Después de observar el volumen inicial utilizado para la densidad aparente, se compacto la harina impactándola 150 veces sobre una superficie plana y suave, a ritmo constante llevando a una altura de 5 cm aproximadamente. Para reportar los resultados en gramo por mL se utilizó la ecuación:

$$Densidad\ compactada = \frac{m}{v_f} \quad \text{Donde: } v_f = \text{volumen final por asentamiento (mL)}$$

La solubilidad se evaluó de acuerdo con el método propuesto por (de Barros, et al., 2014), con modificaciones. Se pesó 1 g de las muestras y se aforo a 10mL con agua y se agitó 15 minutos a temperatura ambiente. Se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos, posteriormente se tomó una alícuota de 2mL \pm 0.5mL la cual se colocó en una termobalanza Sartorius Alemania MA37-1. Por medio de diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de solubilidad. Para reportar los resultados se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%Solubilidad = \frac{g\ sólidos\ secos}{g\ muestra * \frac{100 - \%Humedad}{100}} * \frac{g\ aforo}{g\ alícuota} * 100$$

Se les determino el pH mediante un potenciómetro (Science, EUA, MED) previamente ajustado son buffers pH 4 y 7 respectivamente. Por otra parte, el porcentaje de sedimentación se determinó pesando 7 g de una suspensión homogénea en un tubo falcón, mediante una centrifugación a 100 rpm (UnicoPower Spin Centrifuge EUA LX and FX) a 25°C durante un minuto y posterior filtrado a vacío. Se dejo a peso constante en una estufa a 80°C y posteriormente pesado de la masa drenada. La determinación se realizó por duplicado (Toxtle, 2020).

Formulaciones de panificación

Las formulaciones de los productos de panificación se realizaron mediante un diseño de programación no lineal con restricciones utilizando el programa (*FronlineSolvers*), para llevar a cabo la determinación de las formulaciones se tomaron como variables de decisión el *trüb* y las harinas, como función objetivo el PDCAAS que se esperaría obtener en el producto final y como restricciones los aminoácidos limitantes

del *trüb* y harinas; los PDCAAS fueron obtenidos de la base de datos de harinas de leguminosas del Laboratorio de Ingeniería de proceso del ICAT (Soto, 2019).

PDCAAS

El PDCAAS se determina mediante la siguiente ecuación (FAO y FINUT, 2017):

$$\frac{\frac{\text{mg de aminoácido limitante}}{\text{g de proteína de estudio}}}{\frac{\text{mg de aminoácido de referencia}}{\text{g de proteína de referencia}}} \times \% \text{Digestibilidad Fecal Verdadera} \times 100$$

Debido a que el PDCAAS está referido a g de aminoácido por cada gramo de proteína digerible, en el diseño del producto de panificación resulta relevante el PDCAAS para garantizar la calidad proteínica del mismo y así optimizar su aprovechamiento, de tal manera que el modelo de optimización debe contemplar el porcentaje de proteína digerible y la cantidad de aminoácido esencial en la mezcla dentro se la función objetivo; a su vez, la elección de la variable de decisión debe contemplar los parámetros de proteína digerible y aminoácidos esenciales. Ya que el score de aminoácidos depende el aminoácido que esté en menor proporción a la proteína de referencia, fue necesario contemplar una ecuación de restricción para cada aminoácido esencial minimizando esta diferencia. La variable de decisión seleccionada que controla el modelo y asocia a las harinas y sus combinaciones fue la masa de cada harina.

Debido a que el balance de materia de cada aminoácido esencial relaciona la masa y los parámetros de aminoácidos esenciales para posteriormente dividirse entre la cantidad de proteína digerible de la mezcla obtenida a través del balance de materia de proteína digerible

Para poder determinar las formulaciones se utilizaron la siguiente ecuación:

Ecuación de restricción:

$$= \left[\left(\frac{g \text{ harina}}{100 * g \text{ aa}_1} \right) + \left(\frac{g \text{ harina}}{100 * g \text{ aa}_2} \right) + \dots + \left(\frac{g \text{ harina}}{100 * g \text{ aa}_n} \right) \right] * \frac{1}{g \text{ proteína total}} * 1000 - g \text{ referencia aa}_n$$

Donde: g aa_n= gramos de aminoácido esencial

En una hoja de cálculo se establecieron las celdas de restricción correspondientes a las ecuaciones de los aminoácidos esenciales, así como la función objetivo que corresponde a la cantidad de aminoácidos esenciales y las variables de decisión correspondientes a los gramos de muestra para alimentar el modelo. Cada columna representa un tipo de harina a utilizar, así como las recomendaciones de aminoácidos, cada fila muestra un parámetro fisicoquímico necesario para el cálculo de los valores nutrimentales del producto y la función objetivo. A su vez se añadió una columna para el score sin linealizar y PDCAAS con el fin de visualizar los resultados a través de las combinaciones del algoritmo. Para resolver el algoritmo, se utilizó el programa *FrontLine Solvers* para determinar un mínimo local con el fin de establecer una solución óptima para encontrar aquella combinación que se ajustara mejor al modelo. Después de obtener los gramos de harina, se ajustaron a base 100 para establecer la formulación de las harinas en porcentaje (Soto, 2019). Finalmente, para determinar el PDCAAS de cada aminoácido se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$PDCAAS = \text{Score aa}_n * \frac{g \text{ proteína digerible}}{g \text{ proteína cruda}}$$

Pruebas de panificación y textura

Las pruebas de panificación se realizaron en la Facultad de Química en el laboratorio 4B, para determinar el tiempo y la fuerza de amasado para lograr la consistencia pertinente de la masa. Para todas las formulaciones, la porción de harina de trigo a utilizar se adicionó como masa madre, utilizando cantidades iguales de agua y harina, 136 g respectivamente, así como 0.14 g de levadura. Se dejó fermentar a 23 ± 0.5 °C/15 h. El amasado de cada formulación se hizo a mano por 20 minutos, posteriormente se dejó leudar a 34 ± 2 °C con ambiente húmedo en un fermentador para panificación durante 1 hora. Al término del tiempo de leudado se determinó hacer piezas de forma redonda y 90 g cada una. Se realizó un segundo leudado a 34 ± 2 °C/20 minutos. Se establecieron condiciones de horneado de 180°/35 min.

Las características de textura se realizaron con un texturómetro (BROOKFIELD® Texture Pro CT) cuantificando los parámetros mecánicos de las curvas de fuerza. Los datos se analizaron con el software Texture Pro CT V1.9 Build 35, se realizó por triplicado curvas de fuerza (deformación) durante un tiempo determinado. La prueba se les hizo a los panes utilizando la sonda TA25/1000 y a las masas de panificación, la sonda TA43. Los parámetros que fueron evaluados en las muestras son: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba ANOVA de un factor ($\alpha= 0.05$ para determinar la diferencia significativa entre las formulaciones respecto a su PDCAAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de harinas

En las tablas 1 y 2 se presentan las características de humedad, actividad de agua (a_w), pH, densidad y solubilidad de las harinas de leguminosas (frijol negro y lenteja), del cereal (avena) y del *trüb*; también en la tabla 2 se presenta la característica de sedimentación del *trüb*.

El a_w de las harinas varía entre 0.1 y 0.4 y quedan dentro de los límites para el crecimiento de microorganismos. La actividad de agua representa el contenido de humedad donde pueden ocurrir reacciones químicas y enzimáticas en alimentos, así como del crecimiento de hongos, levaduras y bacterias; los valores mínimos anteriormente mencionados son: 0.80, 0.88 y 0.91 (Badui, 2006) Por lo tanto, las harinas obtenidas al presentar valores inferiores se reduce la posibilidad del crecimiento microbiano. En la tabla 1 se observa que el porcentaje de humedad de las harinas varía desde 1.45% a 8.59%, por lo que entran en límite máximo de humedad que indica la NOM-247-SSA1-2008 (SSA, 2008) el cual es del 15%. Al no existir una normatividad específica para % H del *trüb* (Tabla 2), se consideró como una harina por lo cual también entra dentro del límite de la norma.

El pH en las harinas y el *trüb* presenta valores entre 5 y 7, lo cual es favorable ya que el pH de la harina influye en la capacidad del gluten para formar una red esponjosa, un pH inferior a 3.4 puede provocar una alteración debido a microorganismos acéticos y butíricos. Para obtener un mayor desarrollo fermentativo y máxima producción de CO₂ en el pan formado, se deben tener valores de pH entre 5 y 6, siendo el mejor entre 5.4 y 5.8; sin embargo, estos valores de pH se logran obtener cuando se utiliza métodos de obtención de pan con fermentaciones largas, como es el caso del método esponja (Sarmiento, 2015).

Tabla I. Caracterización fisicoquímica de las harinas de avena, leguminosas y *trüb*.

a_w	pH	DENSIDAD (g/mL)
-------	----	-----------------

	HUMEDAD			Total	Aparente	Compactada	SOLUBILIDAD
	(%)						(%)
Frijol negro	1.45	0.1722	6.28	0.8498	0.7321	0.9376	17.009
DE	0.25	0.0170	0.015	0.0149	0.0188	0.0379	0.6138
Lenteja	2.58	0.1425	6.59	0.8661	0.7569	0.8876	15.547
De	0.28	0.0253	0.010	0.0206	0.0141	0.0349	1.4532
Avena	8.59	0.4161	5.45	0.4299	0.2996	0.7753	3.387
De	0.07	0.0038	0.021	0.0194	0.0132	0.0129	0.1721

Tabla II. Caracterización fisicoquímica del *trüb*

	HUMEDA	a _w	pH	DENSIDAD (g/mL)			SOLUBILDA	SEDIMENTACIÓ	
	D (%)			Total	Aparente	Compactada	D (%)	N (%)	
								F1	F2
TRÜB	2.76	0.3740	5.12	0.8284	0.5965	0.8447	41.436	13.444	13.457
DE	0.01	0.0026	0.015	0.0041	0.0008	0.0273	1.5593	0.034	0.049

Los valores de densidad aparente y compactada están relacionados entre sí y son indicativas de que mientras es mayor el volumen que ocupa el polvo, menor será su densidad (Cerezal, et. al, 2011); los valores altos de densidad indican que la granulometría que presentan las harinas es fina (Bressani, et al., 2001).

El porcentaje de solubilidad está relacionado con la cantidad de almidón dañado, este daño fue ocasionado por el tratamiento térmico y el tamaño de partícula; esto explica por qué la alta energía de molienda puede causar fragmentación del almidón y originar dextrinas, las cuales impactan en la cantidad de sólidos solubles (Contreras, et al. 2014)

Los valores de sedimentación corresponden a los porcentajes de *trüb* en suspensión utilizados en las formulaciones 1 y 2 (tabla 3). Los cuales son similares debido a que la densidad de la harina es influenciada por la composición, a menor cantidad de sólidos solubles en la harina, mayor es la resistencia para sedimentar (Toxtle, 2020).

Pruebas de panificación

En la tabla 3 se presentan las formulaciones utilizadas para elaborar el pan, utilizando porcentajes de sustitución de harina de trigo de 50 y 60%. Estas formulaciones implican incorporar *trüb* en una proporción hasta 10%. Pruebas preliminares demostraron que una proporción mayor a 10% ocasionó un sabor desagradable al paladar del producto final.

TRIGO	AVENA	TRÜB	LENTEJA	FRIJOL	AGUA	SAL	ACEITE	LEVADURA
(%)	(%)	(%)	(%)	NEGRO	(%)	(%)	(%)	(%)
(%)								

CONTROL	60	0	0	0	0	37.72	1.31	0.49	0.35
FORMULACIÓN 1	36.87	21.38	6.26	4.42	4.42	23.97	1.61	0.60	0.43
FORMULACIÓN 2	28.50	24.80	7.12	5.13	5.13	26.73	1.56	0.58	0.42

Tabla III. Formulaciones para panificación

De acuerdo con (Vázquez, *et al.*, 2016) la proporción que se puede sustituir la harina de trigo por harina de avena en un producto de panificación es 10 % máximo, debido a que en mayor proporción la harina de avena provoca un “apelmazamiento” del producto, ocasionado por un descenso en la fuerza de la masa; en cuanto a la harina de frijol esta puede sustituir un máximo de 9.6% de harina de trigo, ya que al presentar una mayor cantidad de fibra dietética permite una mayor retención de agua lo cual ocasiona que disminuya la estabilidad y aumente el debilitamiento de la masa conforme aumente la proporción sustituida de harina de trigo (Álvarez, *et al.*, 2016); respecto a la harina de lenteja esta puede sustituir hasta un 10% de harina de trigo debido a que disminuye la actividad α amilasa provocando con esto una afectación en los parámetros de capacidad de retención de gas (tenacidad, extensibilidad y fuerza) debido a la ausencia de gliadinas, dificultando con ello la formación de gluten (Aguilar, *et al.*, 2011).

En la figura 1 y tabla 4 se presentan los atributos sensoriales de corteza externa y miga interna de las formulaciones mientras que en la figura 2 se presenta el perfil de textura del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 3.

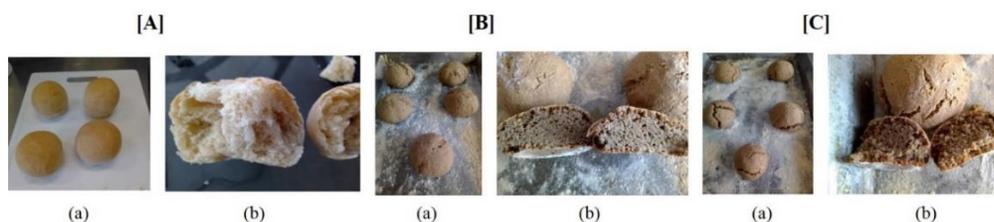


Figura 1. Imágenes del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 3: [A] harina de trigo (control), [B] *trüib* 6.2 %, [C] *trüib* 7.1%; (a) corteza del pan y (b) miga interna.

La proporción de leguminosas influye fuertemente en la interacción entre los gránulos del almidón, lo cual puede relacionarse con el contenido de humedad del pan, ya que a mayor humedad se obtienen mejores características.

Tabla IV. Atributos sensoriales de los productos de panificación utilizando harinas de leguminosas, cereales y *trüib*.

FORMULACIÓN	COLOR	AROMA	SABOR	TEXTURA
1	Beige oscuro	Tostado, levadura de cerveza	Salado, ligeramente astringente.	Corteza dura, miga apelmazada

2	Beige	Tostado,	Salado,	Corteza dura,
	oscuro	levadura de	ligeramente	miga
		cerveza	astringente	apelmazada



Figura 2. Perfil de textura del pan elaborado con las formulaciones de la tabla 3.

El perfil de sabor de ambas formulaciones fue ligeramente salado y astringente, con ligeras notas caramelizadas y una nota muy marcada a levadura de cerveza proveniente del *trüb*.

Los panes de ambas formulaciones presentan agrietamiento en la corteza, en contraste con el pan obtenido con la formulación control, el cual presenta una corteza uniforme, esto se debe a una falta de agua en la formulación. La presencia de las leguminosas resulta en panes más duros, menos elásticos, aunque son cohesivos y gomosos, e igual de masticables que el pan de trigo 100%. Se obtienen cortezas difíciles de romper, pero se recuperan con rapidez de la deformación como un producto semiblando, además el tiempo o las masticaciones necesarias para desintegrarse y ser deglutida es mayor al del pan ordinario.

Un contenido mayor de *trüb* y de frijol hace que sea menos fuerte la red que las otras. La formulación 2 presenta una estructura más estable, por lo que se necesita un mayor esfuerzo para modificar su estructura. Esto se observa en la apariencia de la miga. En los panes elaborados con la formulación 1 y 2 se observa “apelmazada” o cerrada con respecto a la miga del pan control. Esto fue ocasionado por una falta de trabajo mecánico (amasado), ya que las propiedades mecánicas de las masas son el resultado de una adecuada proporción de agua y harina (Rosalia, 2008).

El volumen del pan depende del tipo de harina utilizada en su elaboración, en general las harinas muy flojas, con escasa capacidad de retención de gas producen panes aplanados y muy densos. Por el contrario, las harinas excesivamente fuertes y tenaces no son capaces de expandirse, son difícilmente mecanizables y producen panes redondos, pero con poco volumen (Gómez, *et al.* 2007)

La cantidad de harina de lenteja, frijol y avena adicionada a cada formulación ocasiona que la miga que se observa en los panes obtenidos en ambas formulaciones tenga una consistencia gomosa y apelmazada, además de un menor volumen debido a que por la cantidad de carbohidratos y proteínas proveen a la masa una alta capacidad de retención de agua.

Aunado a esto, la fermentación de la masa se da por acción de la levadura adicionada a la masa, en donde se crean las condiciones adecuadas para que salga del estado de latencia y se vuelva activa. En la fermentación de la masa, la levadura consume rápidamente el oxígeno generándose condiciones

anaeróbicas, y así mismo se produce poco crecimiento de levadura. Al producirse el dióxido de carbono en la fase acuosa, el pH desciende y la fase acuosa se satura de dióxido de carbono. Una vez saturada el agua, el dióxido de carbono en exceso entra en las burbujas de aire preexistentes, y aumenta la presión. Dada las propiedades viscoelásticas de la masa, la celda de gas se expande para equilibrar la presión; es así como el volumen total de la masa aumenta, generando el sistema de esponja.

El gas producido durante el proceso de panificación depende principalmente del tiempo de fermentación, características y cantidad de levadura. La cantidad de gas retenido depende principalmente de las condiciones del proceso y de los ingredientes; sin embargo, existen otros factores que pueden afectar la interacción entre la producción y retención de gas (Conde, 2014).

Con respecto a los resultados observados en los panes obtenidos en la formulación 1 y 2, el factor que pudo afectar la fermentación y por ende el volumen de la masa principalmente sería el que la masa presentará un alto contenido en fibra proveniente de las harinas de avena, leguminosas y *trüb* ya que reduce la retención de gas y la tolerancia, debido a que la fibra interfiere en la estructura de gluten (Conde, 2014); al afectar la estructura del gluten y junto con la propiedad de las harinas de leguminosa (frijol y lenteja) de generar geles rígidos y fuertes, se favorece la coalescencia de las celdas de gas obtenidas durante la fermentación, dicha coalescencia es promovida por una repulsión débil entre las gotas o celdas de gas, una baja tensión superficial y un diámetro de celda grande (Hayman *et al.* 1998) dando como resultado una pérdida de gas, un volumen pequeño y por ende un pan de miga gruesa.

Cuando la masa está en el horno, se producen una serie de reacciones tanto físicas como químicas, que desembocan en la formación del pan. La corteza se empieza a formar cuando cede la migración del agua del interior de la masa hacia el exterior. Mientras la superficie de la masa recibe humedad no se forma la corteza, pero pasados unos minutos, y en función del tamaño y tipo de panes, del vapor inyectado y de la temperatura de cocción, dicha superficie se seca y consecuentemente aumenta su temperatura. A partir de los 130°C, los azúcares provenientes de la actividad enzimática y concretamente las dextrinas y la maltosa, empiezan a caramelizarse (es el llamado proceso de dextrinación) y a dar color a la corteza. A medida que la temperatura en la superficie del pan aumenta lo hace también la caramelización y de ahí se forman los aromas y el sabor particular de la corteza. En el transcurso de la cocción la corteza pierde cada vez más humedad, aumentando el secado y su dureza, que depende en buena medida de la coagulación del gluten contenido por la masa.

En los panes obtenidos de las formulaciones 1 y 2, se observa que la corteza es muy gruesa y sin brillo, esto se debe a un defecto de vapor y una baja humedad en la masa al momento de hornear lo cual causa una resequeidad excesiva dando como resultado el agrietamiento de la corteza; además este efecto de corteza gruesa se debe también a un amasado deficiente debido a la falta de homogeneidad en la masa provocando una menor extensibilidad en la masa. Respecto al color de la miga este se debe al uso de las harinas de leguminosas y *trüb*, en donde a mayor proporción de *trüb* ocasionó que la miga presentará un color más oscuro.

Del análisis estadístico, se acepta la hipótesis nula: existe una diferencia significativa entre los valores de PDCAAS de las 2 formulaciones.

CONCLUSIÓN

La adición de *trüb* (subproducto considerado desecho) como complemento proteico en una proporción de 8 a 10 % en una formulación de harina para panificación aumenta el valor biológico (PDCAAS) entre 16 a 19 % con respecto a la formulación compuesta sólo con harina de trigo.

Las harinas de leguminosas, avena y *trüb* proporcionan una alta cantidad de fibra a la masa lo cual favorece una pérdida de la capacidad de retención de gas, otorgando productos de pequeño volumen y miga compacta, no obstante, se favorece la obtención de un coloide estable.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., Esparza, J., Meza, J., Candelas, M., Aguilera, M. y Ramírez, P. 2011. Efecto de la harina de lenteja (*Lens culinaris*) sobre las propiedades reológicas y de panificación de la harina de trigo. *Ciencia@UAQ*, 4(2), 4-9.
- Álvarez, M., Ochoa, M., Hernández, G., Nuñez, M., Rosas, B. y Gutiérrez, E. 2016. Empleo de harina de frijol blanco en panificación. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 26(1), 22-27.
- Badui, S. 2006. *Química de los alimentos*. Cuarta edición. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Bressani, R., C. Turcios, J., Reyes, L. y Mérida, R. 2001. Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 51(3), 309-313.
- Cerezal, P., Urtuvia, V., Ramírez, V y Arcos, R. 2011. Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; II: Propiedades de las mezclas. *Nutrición hospitalaria*, 26(1), 161-169.
- Conde, D. 2014. Estudio de la fermentación en panes funcionales, reducidos en grasas, carbohidratos y sal. Tesis de maestría. Universidad Tecnológica Nacional.
- Contreras, B., Morales, E., Reyes, M. y Gaytán, M. 2014. Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA-Journal of food*, 12(3), 263-270.
- FAO y FINUT. 2017. Evaluación de la calidad de la proteína de la dieta en la nutrición humana. Consulta de expertos. Granada: FAO
- Gómez, N., Edel, A. y M. Rosell, C. 2007. Trigo. En A. Edel León y C. M Rosell (Eds.), *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica* (pp 17-72). Alberto Edel León – Cristina M. Rosell Editores. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/17118/1/libro%20panificacion-2007.pdf>
- Güemes, N., Totosaus, A., Hernández, J., Soto, S. y Aquino, E. 2009. Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo “concha” fortificados con proteínas de suero de leche. *Ciência e Tecnología de Alimentos*, 29(1), 70-75.
- Hayman, A., Sipes, K., Hosoney, RC. y Faubion, JM. 1998. Factors controlling gas cell failure in bread dough. *Cereal Chemistry*. 75(5), 585–589.
- Johnson-Stoklossa, C. y Atwal, S. 2013. Nutrition Care for Patients with Weight Regain after Bariatric Surgery. *Gastroenterology Research and Practice*, 2013, 256145. <https://doi.org/10.1155/2013/256145>
- Montero, K., Moreno, R., Molina, E., Segundo, M. y Sánchez, B. 2015. Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos [versión electrónica]. *Interciencia*, 40(7), 473-478.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.
- Pérez, M., Temiño, R., Fernández, M. y Calvo, M. 2008. Síndrome de malabsorción intestinal (1). *Medicine – Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 10(4), 197-206.
- Rosalía, B. 2008. Estudio del efecto de acciones químicas y biológicas sobre la masa panaria. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Litoral.
- Sarmiento, Y. 2015. Estudio de la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de amaranto

- crudo y tostado en la elaboración de pan. Tesis de Ingeniería. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Soto, G. 2019. Aplicación de un algoritmo de optimización para el diseño de un suplemento alimenticio enfocado en malnutrición proteínico-energética. Tesis de maestría. UNAM.
- Toxtle, G. 2020. Uso del mucílago de nopal *Opuntia ficus indica* como dispersante de suplementos alimentarios. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Vásquez, F., Verdú, S., R. Islas, A., M. Barat, J. y Grau, R. 2016. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 17(2), 307-317.
- Velázquez, M. 2019. Estandarización de la cocción y deshidratación de legumbres para la obtención de harinas para suplementos. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Yeow, T. 1978. The utilization of heat coagulated beer wort protein (*trüb*). Tesis de maestría. The University of British Columbia.