

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Estudio de la utilización de harina de chocho, extracto de levadura y goma guar en pan de molde: optimización mediante Metodología de Superficie de Respuesta
Sistematización de experiencias prácticas de investigación

Juan Sebastián Bonilla Cruz
Alexis Esteban Calderón Cifuentes

Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito, 18 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Estudio de la utilización de harina de chocho, extracto de levadura y goma guar
en pan de molde: optimización mediante Metodología de Superficie de
Respuesta**

Juan Sebastián Bonilla Cruz

Alexis Esteban Calderón Cifuentes

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Danny Navarrete, Ms.

Firma del profesor

Quito, 18 de mayo de 2016

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Juan Sebastián Bonilla Cruz

Código: 00106724

Cédula de Identidad: 171579423-4

Lugar y fecha: Quito, 16 de mayo de 2017

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Alexis Calderón Cifuentes

Código: 00107221

Cédula de Identidad: 171831415-4

Lugar y fecha: Quito, 16 de mayo de 2017

Agradecimientos

A mis padres Lorena y Henry por todo el esfuerzo diario, por ser amigos, confidentes y sobre todo por ser la luz en los momentos de oscuridad y desolación. Sin ellos no podría haber culminado esta etapa. A mi hermana María Paula por estar siempre presente y por ser una de las principales motivaciones para mejorar y crecer todos los días.

A mis amigos y amigas por tantos momentos inolvidables y por ser las mejores personas que pude conocer en todos estos años. Sin ellos no habría sido una experiencia tan divertida.

A todos mis profesores de la USFQ por compartir sin ningún problema sus conocimientos y experiencias. A todo el departamento de ingeniería de alimentos y en especial a nuestra directora de tesis Gabriela Vernaza por contribuir incondicionalmente a este trabajo y nuestro aprendizaje. Agradezco especialmente a los profesores del departamento de ingeniería industrial por las horas de dedicación, por las enseñanzas y por la exigencia durante estos años. A Danny Navarrete por ser más que un profesor, por ser el amigo y guía incondicional.

A la Universidad San Francisco de Quito por ser el lugar perfecto para crecer y emprender nuevos retos.

Sebastián Bonilla

Quiero agradecer primeramente a mis padres Betty y Francisco, por siempre creer en mí y ayudarme a alcanzar mis metas profesionales y personales. A mis hermanos Francisco y Michael, por ser mis mejores amigos y en quienes siempre puedo confiar, han sido siempre un ejemplo de esfuerzo y dedicación.

Agradezco también a nuestro director de tesis y amigo Danny Navarrete, por el apoyo incondicional que nos brindó para llevar a cabo este proyecto y por las enseñanzas recibidas a lo largo de estos años.

A las personas del departamento de ingeniería de alimentos, por brindarnos apoyo durante la realización de nuestro proyecto. Agradezco especialmente a Gabriela Vernaza, su contribución a este trabajo ha sido extremadamente valiosa.

Finalmente, agradezco a la Universidad San Francisco de Quito por brindar a mis hermanos y a mí una educación de excelencia.

Alexis Calderón

RESUMEN

Este estudio fue diseñado con el fin de evaluar cambios en características nutricionales y de calidad del pan de molde al sustituir parcialmente harina de trigo (HT) por harina de chocho (HC) en niveles de 0% a 20%. Se estudió además la adición de extracto de levadura (EL) de 0% a 2% y goma guar (GG) de 0% a 0.2% como aditivos en el pan. Las propiedades químicas y físicas que se analizaron fueron absorción de agua, volumen específico, cantidad de proteína, actividad de agua, pH de la masa y cenizas totales. Adicionalmente, se realizó evaluaciones sensoriales donde se analizó los atributos de apariencia, sabor, textura y gusto global. La inclusión de 20% de HC causó una reducción en el volumen específico de 8.33% en comparación con el pan de 100% HT. Adicionalmente, la adición de HC aumentó la cantidad de proteína, absorción de agua y el pH de la masa. La adición de GG aumentó el volumen específico cuando se añadió en niveles medios, siendo la adición de 0.15% de GG la que causó un mayor aumento del volumen específico cuando HC se encontraba en sus niveles altos. El análisis de evaluación sensorial identificó que el tratamiento con niveles altos de EL disminuyó el nivel de agrado en apariencia, sabor y gusto global debido al oscurecimiento que provocó a la masa y su sabor residual. Los resultados muestran que se pueden realizar panes con niveles altos de sustitución de HC, que tengan aceptación de los consumidores y características físicas y químicas deseables.

ABSTRACT

This study was designed to evaluate changes in nutritional and quality characteristics of sliced bread when wheat flour (WF) was partially substituted with lupin flour (LF). The range of substitution was 0%-20%. Addition of yeast extract (YE) from 0% to 2% and guar gum (GG) 0% to 0.2% was also studied. The physical and chemical properties analyzed were water absorption, specific volume, protein content, water activity, pH of dough and ash content. Additionally, sensory evaluations were conducted to determine levels of consumer liking. The attributes analyzed during the sensory evaluations were appearance, flavor, texture and overall appeal. Inclusion of 20% LF caused a reduction in specific volume of 8,33% when compared to a bread made with 100% WF.

The inclusion of LF increased the protein content, water absorption and pH of the dough. Addition of GG increased the specific volume when partially added with 0.15% addition resulting on the highest specific volume increase. The sensory evaluation analysis identified that treatments with high levels of YE decreased satisfaction in appearance, flavor, and overall appeal, due to the browning of the bread and the residual taste that YE caused. These results show that sliced bread with high levels of substitution of LF can be made, while keeping acceptable levels of consumer acceptance and desirable physical and chemical characteristics.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. GENERALIDADES	11
2.1. MATERIALES	11
2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	11
2.3. PROCESO DE ELABORACIÓN.....	11
2.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS	12
2.5. FUNCIÓN DE DESEABILIDAD.....	12
2.6. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	12
2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	14
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
3.1 ABSORCIÓN DE AGUA	14
3.2. VOLUMEN ESPECÍFICO	15
3.3. CANTIDAD DE PROTEÍNA.....	15
3.4. ACTIVIDAD DE AGUA	16
3.5. PH DE LA MASA	17
3.6. CENIZAS TOTALES	17
3.7. FUNCIÓN DE DESEABILIDAD	17
3.8. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	18
4. CONCLUSIONES.....	21
5. REFERENCIAS.....	21

Estudio de la utilización de harina de chocho, extracto de levadura y goma guar en pan de molde: optimización mediante Metodología de Superficie de Respuesta.

- Bonilla Cruz Sebastián: Quito – Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. Juan.bonilla.cruz@estud.usfq.edu.ec
- Calderón Cifuentes Alexis: Quito – Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. acalderonc@estud.usfq.edu.ec
- Vernaza Leoro Gabriela: Quito – Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. mgvernaza@usfq.edu.ec
- Navarrete Danny: Quito – Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. dnavarrete@usfq.edu.ec

Palabras clave

Lupinus Mutabilis Sweet, chocho, pan de molde, Metodología de superficie de respuesta, Goma Guar, Extracto de Levadura, optimización

Abstract

Este estudio fue diseñado con el fin de evaluar cambios en características nutricionales y de calidad del pan de molde al sustituir parcialmente harina de trigo (HT) por harina de chocho (HC) en niveles de 0% a 20%. Se estudió además la adición de extracto de levadura (EL) de 0% a 2% y goma guar (GG) de 0% a 0.2% como aditivos en el pan. Las propiedades químicas y físicas que se analizaron fueron absorción de agua, volumen específico, cantidad de proteína, actividad de agua, pH de la masa y cenizas totales. Adicionalmente, se realizó evaluaciones sensoriales donde se analizó los atributos de apariencia, sabor, textura y gusto global. La inclusión de 20% de HC causó una reducción en el volumen específico de 8.33% en comparación con el pan de 100% HT. Adicionalmente, la adición de HC aumentó la cantidad de proteína, absorción de agua y el pH de la masa. La adición de GG aumentó el volumen específico cuando se añadió en niveles medios, siendo la adición de 0.15% de GG la que causó un mayor aumento del volumen específico cuando HC se encontraba en sus niveles altos. El análisis de evaluación sensorial identificó que el tratamiento con niveles altos de EL disminuyó el nivel de agrado en apariencia, sabor y gusto global debido al oscurecimiento que provocó a la masa y su sabor residual. Los resultados muestran que se pueden realizar panes con niveles altos de sustitución de HC, que tengan aceptación de los consumidores y características físicas y químicas deseables.

1. Introducción

El *Lupinus Mutabilis Sweet* es una leguminosa que se desarrolla en los valles de la región andina, sobre todo en Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. Existen diferentes denominaciones, según el país e idioma, para esta variedad de *Lupinus*: Ecuador (Chocho, chochito), Bolivia (tauri, tarhui, chuchus muti), Perú (Tarwi, chochito), en castellano general (altamuz, lupino o chocho) y en inglés (Andean Lupine, Pearl Lupin) (Jacobsen y Mujica, 2006). Hablar del chocho es citar un alimento nutritivo, saludable y natural que tiene como principal obstáculo, para el consumo humano, la presencia de alcaloides de tipo quinolizidínicos que son tóxicos y de sabor amargo. Para reducir el riesgo de intoxicación se debe aplicar un proceso de desamargado (Caicedo, 2001). Es conocido que el proceso de desamargado elimina un 99,92% de alcaloides, siendo la etapa de cocción la que elimina un mayor porcentaje de estos (Carrión, 2008). El aumento del uso de esta leguminosa se debe a su alto contenido de proteína, grasas no saturadas, fibra y minerales (Caicedo, 2001). Se estima que contiene 30-40 g de proteína por cada 100 gramos (Güemes-Vera, 2004). El chocho, puede ser usado para la fortificación del contenido de proteínas en pasta, pan, galletas, ensaladas, salchichas, entre otros y puede ser sustituto de la soya y la leche (Carvajal-Larenas, 2015).

Se ha podido identificar, en los últimos años, que el desarrollo de nuevos alimentos funcionales se ha convertido en prioridad para científicos y para la industria alimenticia en general (Sullivan, 2010). Estudios recientes muestran que la sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de cultivos andinos podría mejorar la calidad nutricional del pan de trigo (Rosell, 2009). Específicamente existe un interés particular sobre las nuevas fuentes de proteínas vegetales con el objetivo de ampliar la variedad de las mismas (Guillamón, 2010). Investigaciones sobre el uso del chocho en panificación establecen que con la sustitución del 10% de HC en HT la calidad proteica aumenta de 28% a 76% (Gross, 1983). Otros estudios establecen también que una sustitución mayor al 12,5% causa pérdida de volumen específico y disminuye la aceptación general del pan (Rosell, 2009).

Como se mencionó anteriormente, la adición de otras harinas para la elaboración del pan puede tener efectos no deseables en la estructura del mismo. En la actualidad, es una práctica común la utilización de aditivos en la harina de trigo como EL y GG, para superar estas deficiencias en calidad (Lagrain, 2010). El extracto de levadura es un ingrediente con propiedades nutricionales excepcionales, compuesto principalmente por aminoácidos, péptidos y nucleótidos (Chae, 2001). Ha sido utilizado en la industria alimenticia como un agente saborizante y fuente de vitaminas en suplementos alimenticios (Bekatorou, 2007). La goma guar es un hidrocoloide. Los hidrocoloides son almidones y gomas utilizados en la producción de alimentos debido a propiedades deseables que ofrecen al ser añadidos, como movilidad de agua y vida extendida del producto (Rosell, 2001). Concretamente, la adición de goma guar a la masa de pan ha demostrado mejorar elasticidad, reducir la dureza de la corteza, aumentar el volumen específico, mejorar la textura y aumentar el tiempo de vida del producto (Ribotta, 2004).

En la literatura, no se han encontrado estudios sobre optimización de pan con sustitución de harina de trigo por harina de chocho, extracto de levadura y goma guar. Por lo tanto, se estudió el efecto de la sustitución de HT por HC y la utilización de EL y GG en la elaboración de pan de molde y su optimización a través de Metodología de Superficie de Respuesta (MSR).

2. Generalidades

2.1. Materiales

Se utilizó harina de trigo para panificación (Paniplus, Moderna Alimentos S. A. con la caracterización: 11% proteína, 65.5% absorción de agua, 5 min de estabilidad, 36% gluten húmedo, 1% gluten seco y 280 s Falling Number). La harina de chocho cocinada y desamargada se obtuvo de un proveedor local de la provincia de Imbabura (Ecuador). El extracto de levadura fue entregado por Abysmo Brewery, posteriormente pasó por un proceso de secado y molido bajo condiciones controladas en el laboratorio de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ). La goma guar se obtuvo de la empresa Toptrading Ecuador (caracterización: 8.5% de humedad, 1% de cenizas, 2.5% de ácido insoluble, 84.5% de goma, 3.5% proteína).

2.2. Diseño experimental

Para el desarrollo del estudio se utilizó un Diseño Central Compuesto (CCD) 2^3 donde se estudió el efecto de la sustitución de HC (0% - 20%) y la adición de EL (0% - 2%) y GG (0% - 0.2%). Se realizaron dieciocho corridas de las cuales fueron ocho factoriales, seis axiales y cuatro réplicas del punto central para obtener la estimación del error (Ribotta, 2008), y un valor $\alpha = 1.68$ para garantizar la rotabilidad del modelo (Tabla 1).

2.3. Proceso de elaboración

La formulación base del pan de molde fue: 100% de harinas HC (0% - 20%), de acuerdo al CCD donde la harina de trigo y harina de chocho suman 100% EL (0% - 2%), GG (0% - 0.2%), levadura fresca (4%), sal (2%), grasa vegetal (5%), azúcar (5%), mejorador S-500 (0.7%). La absorción de agua fue específica para cada formulación de acuerdo a la Tabla 1. Estos resultados se obtuvieron por el estudio de Mixolab realizado a las pre mezclas. Los ingredientes fueron mezclados por 6 minutos en una mezcladora de HSIAO MACHINE Co. modelo BM20 (Taiwán). La masa descansó por 5 minutos a temperatura ambiente (20 °C). Posteriormente se dividió la masa en secciones de 420 g, las mismas que fueron amasadas y boleadas antes de colocarlas en moldes de aluminio. Los moldes ingresaron a la cámara de fermentación de Tecmy Equipos (Ecuador) con temperatura 38 °C y humedad relativa controlada del 85% por 50 min. Se hornearon los panes durante 17 min a 170 °C en un horno Pratica Technicook modelo E125 (Brasil). Los panes fueron enfriados y guardados en bolsas de polietileno de baja densidad por 24 horas para sus análisis posteriores.

2.4. Caracterización de los productos

El volumen específico se determinó de acuerdo al método 10-05.05 de la AACC (2010). La actividad de agua se realizó en la sonda y el equipo Hygrolab C1 de Retronic (Suiza) de acuerdo a las especificaciones del proveedor. La cantidad de proteína se determinó por el método 46-13.01 de la AACC (2009), las cenizas se determinaron de acuerdo al método 08-01.01 de la AACC (2009). El pH según el método 945.42 de la AOAC (2009). Todos los análisis se realizaron por duplicado, con excepción del volumen específico que se realizó por triplicado.

2.5. Función de Deseabilidad

La función de deseabilidad (FD) es un método de optimización multivariable descrito por primera vez por (Derringer y Suich 1980). Tiene como objetivo encontrar un conjunto de operaciones que optimicen, en cierto punto, todas las variables dependientes de la MSR utilizada o que al menos las mantenga en los rangos deseados (Montgomery, 2005). Consiste en convertir cada variable en una función deseable individual (d_i) entre 0 y 1, siendo 0 cuando la variable se encuentra fuera de la región aceptable y 1 cuando la función se encuentra en su objetivo. Para posteriormente maximizar las condiciones de deseabilidad compuesta (D) donde se optimizan todas las respuestas. D se optimiza de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$D = d_1 \times d_2 \times d_3 \dots d_m^{\frac{1}{m}}$$

donde m es el número de respuestas. En consecuencia, D es nula si al menos una función deseable individual es igual a cero. Se utilizó el software Design Expert 10 el cual, para la función de deseabilidad individual de cada variable, asignó importancias y estableció objetivos, de maximización, minimización y mantención en los rangos estudiados. Se utilizó la FD para evaluar y optimizar las variables dependientes. En el proceso de optimización se analizaron todos los tratamientos y a partir de los valores resultantes de deseabilidad se eligieron los tres tratamientos que presentaron los mayores valores de deseabilidad. A partir de esta se realizaron las evaluaciones sensoriales.

2.6. Evaluación sensorial

Se realizó el análisis afectivo a los 3 mejores tratamientos obtenidos de acuerdo a los resultados de la optimización mediante la función de deseabilidad. Se estudiaron los atributos de: apariencia, sabor, textura y gusto global de los tratamientos. Se consideraron 112 panelistas (Hough, 2006) no entrenados de la comunidad USFQ, para esto se obtuvo aprobación para realizar pruebas que involucren personas del comité de bioética de la USFQ con código 2017-002T. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de evaluación sensorial de la USFQ y se utilizó una escala hedónica de nueve puntos, siendo 1 = “Me disgusta extremadamente” y 9 = “Me gusta extremadamente” (Lim, 2011).

Tabla 1

Diseño central compuesto con tres variables independientes: sustitución de harina de chocho en harina de trigo, extracto de levadura y goma guar en niveles codificados y niveles reales (g/100g) para las pre mezclas.

	HC	EL	GG	Absorción de Agua (%)	Volumen específico (a) ml/g	Cantidad de proteína (%)	Actividad de agua	pH de la masa	Cenizas totales (%)
	x1	x2	x3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
1	-1	-1	-1	67.000±0.000	3.680±0.096	10.495±0.007	0.952±0.005	5.98±0.014	1.600±0.014
2	1	-1	-1	70.300±0.000	3.040±0.276	12.950±0.056	0.939±0.006	5.99±0.049	1.630±0.014
3	-1	1	-1	67.000±0.000	4.250±0.351	10.535±0.021	0.932±0.009	5.92±0.035	1.530±0.014
4	1	1	-1	70.700±0.000	3.130±0.234	11.600±0.014	0.956±0.012	5.96±0.007	1.540±0.000
5	-1	-1	1	67.000±0.000	3.590±0.145	10.860±0.056	0.962±0.008	5.97±0.042	1.605±0.007
6	1	-1	1	70.100±0.000	3.250±0.275	13.015±0.035	0.962±0.008	5.93±0.042	1.655±0.021
7	-1	1	1	67.000±0.000	3.880 ±0.274	10.735±0.007	0.934±0.004	5.99±0.021	1.600±0.014
8	1	1	1	69.900±0.000	3.530±0.212	12.535±0.021	0.935±0.002	6.09±0.014	1.530±0.014
9	-α	0	0	66.900±0.000	4.330±0.195	9.740±0.056	0.933±0.000	6.1±0.007	1.520±0.000
10	α	0	0	72.200±0.000	2.820±0.268	13.485±0.007	0.962±0.011	6.1±0.007	1.670±0.000
11	0	-α	0	68.000±0.000	3.490±0.067	10.960±0.664	0.954±0.005	6.01±0.000	1.645±0.007
12	0	α	0	68.900±0.000	3.270±0.139	12.175±0.049	0.942±0.010	6.05±0.042	1.645±0.007
13	0	0	-α	69.100±0.000	3.070±0.126	12.155±0.007	0.945±0.007	5.92±0.028	1.635±0.007
14	0	0	α	68.900±0.000	3.090±0.123	11.955±0.021	0.939±0.010	5.94±0.007	1.635±0.007
15	0	0	0	68.000±0.000	3.680±0.166	12.475±0.063	0.941±0.007	5.89±0.049	1.600±0.000
16	0	0	0	69.000±0.000	3.770±0.279	12.625±0.035	0.943±0.002	5.96±0.000	1.630±0.014
17	0	0	0	68.400±0.565	3.590±0.124	12.580±0.042	0.938±0.001	5.93±0.035	1.650±0.014
18	0	0	0	69.100±0.000	3.260±0.155	12.375±0.007	0.939±0.004	5.89±0.007	1.650±0.007

Datos para $x \pm$ desviación estándar. Mediciones realizadas en duplicado.

a: n=3

Se presentó los tratamientos a los consumidores de forma secuencial monádica, es decir, se presentó todos los tratamientos a cada consumidor y un tratamiento a la vez. Se aleatorizó el orden de presentación entre los tratamientos con el fin de disminuir el efecto de fatiga o preferencia de la primera muestra (Komanska, 1990). Adicionalmente, se proporcionó agua para limpiar el paladar con el fin de eliminar el efecto de sabor residual entre los tratamientos (Komanska, 1990).

2.7. Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos en el CCD se evaluaron de acuerdo a la MSR. Se analizaron en total 6 variables de respuesta, obteniendo para cada una el modelo matemático y los coeficientes de regresión como se muestra en la Tabla 2. Las variables dependientes se evaluaron mediante un análisis de la función de deseabilidad. Se utilizó el software Design Expert 10. Los resultados de la evaluación sensorial se analizaron en el software Minitab versión 16 en base a un Diseño Latino Cuadrado (DLC) en el que se bloqueó el orden de presentación de los tratamientos y el efecto de los panelistas. El nivel de significancia para los análisis se estableció en un valor de 0.05.

3. Resultados y discusión

3.1 Absorción de agua

La absorción de agua en cada una de las formulaciones realizadas de acuerdo al CCD fueron diferentes debido a la consistencia de la masa deseada. La Tabla 1 muestra los valores obtenidos para cada formulación. (Carvajal-Larenas 2015) establece que la absorción de agua de la HC depende del proceso tecnológico de su elaboración, del tipo de proteínas y del perfil de aminoácidos, entre otras características, sin embargo, se establece que absorbe aproximadamente 1.2 g de agua/g. En la Figura 1 a) se observa la superficie de respuesta obtenida para este estudio. El modelo lineal presentado en la Tabla 2 muestra que a mayor cantidad de HC se obtienen porcentajes de absorción de agua mayores. Este resultado concuerda con lo establecido en (Rosell (2009) en donde se establece que el pan con sustitución de HC presenta mayor absorción de agua en comparación con el pan sin sustitución. De manera similar (Dervas 1999) indica que para varias harinas de chocho se ha encontrado que los productos resultantes requieren una mayor cantidad de agua para alcanzar una absorción óptima para panificación. Respecto al proceso tecnológico (Carvajal-Larenas 2015) establece también que al elevar la temperatura de la HC se liberan proteínas que permiten mayor absorción de agua. En consecuencia, es importante resaltar que para el proceso de desamargado se debe cocinar el chocho el cual gelatiniza el almidón presente. El EL y la GG en los rangos estudiados no aportan un nivel de absorción de agua similar a la HC pero es importante notar que la GG aporta gran absorción y ayuda a la estabilidad del pan (Pahwa, Kaur y Puri, 2016).

Tabla 2

Modelos matemáticos con variables codificadas obtenidos con el CCD.

Variable dependiente	Modelo matemático	Valor P	R ² Ajus.
Absorción de agua	$=68.68 + 1.47x_1 + 0.08x_2 - 0.23x_3$	<0.0001	0.8139
Volumen específico	$= 3.89 - 0.34x_1 - 0.03x_2 + 0.04x_3 - 8.01E^{-003}x_1x_2 + 0.19x_1x_3 - 0.06x_2x_3 - 0.15x_1^2 - 0.14x_2^2 - 0.21x_3^2$	0.0002	0.9528
Cantidad de proteína	$=11.85 + 0.99x_1 + 0.078x_2 + 0.067x_3$	<0.0001	0.8238
Actividad de agua	$=0.95 + 3.87E^{-003}x_1 - 3.16E^{-003}x_2 - 4.95E^{-003}x_3 + 3.29E^{-003}x_1x_2 - 2.83E^{-003}x_1x_3 - 4.92E^{-003}x_2x_3$	0.0174	0.6076
pH de la masa	$=5.98 + 0.023x_1 - 0.02x_2 + 9.368E^{-003}x_3$	0.0097	0.5006
Cenizas totales	$=1.61 + 0.01x_1 + 2.2E^{-005}x_2 - 4.95x_3 - 0.03x_1x_2 - 0.02x_1x_3 + 0.016x_2x_3$	0.0004	0.8443

x_1 : Sustitución de HC por HT, x_2 : EL, x_3 : GG.

3.2. Volumen específico

El modelo que se obtuvo para el volumen específico fue un modelo cuadrático. En la Figura 1 b) se puede ver la superficie de respuesta obtenida. El volumen específico se vio negativamente afectado por la adición de HC en la mezcla. Para un pan con 100% harina de trigo, el volumen específico fue significativamente mayor (3.72 ± 0.088 ml/g) al obtenido para una sustitución del 20% de HC (3.41 ± 0.088 ml/g). De igual manera, en la Figura 1 se puede ver el efecto positivo de la adición de GG en el volumen específico, lo cual coincide con otros estudios realizados a panes con harina de trigo (Ribotta, 2004). Sin embargo, para este caso específico, se observó que niveles medios de sustitución de GG producen los mejores volúmenes. En la figura se puede ver que para una sustitución del 20% de HC en harina de trigo, se obtiene un volumen específico significativamente más bajo (2.95 ± 0.088 ml/g) para niveles bajos de GG, mientras que el volumen más alto se obtiene con una adición de 0.15% de GG (3.46 ± 0.088 ml/g).

El volumen específico puede verse reducido al añadir HC debido a que las proteínas presentes en el chocho son en su mayoría globulinas y albuminas, mientras que las prolaminas y gluteninas se encuentran presentes en cantidades muy bajas (Doxastakis, 2000). El bajo contenido de prolaminas impide la retención de dióxido de carbono durante la fermentación causando volúmenes específicos más bajos (Rosell, 2014)

3.3. Cantidad de proteína

El nivel de proteína es una de las características más importantes para la elaboración de este pan debido a que el chocho posee un alto contenido de proteínas (Carvajal-Larenas, 2015). El porcentaje de proteína en el pan cumple con el objetivo de diseñar un producto con elevado contenido nutricional. Un elevado porcentaje de proteínas en el producto ayudaría a la nutrición de poblaciones en riesgo. Los niveles de proteína de las variables independientes afectan a la cantidad de proteína total.

La Tabla 2 muestra que la proteína se describe de acuerdo a un modelo lineal. Se puede observar que HC, EL y GG afectan positivamente la cantidad de proteína de los tratamientos finales, sin embargo HC contribuye en mayor magnitud.

Específicamente, si se fija la GG y EL en niveles medios, con el 20% de HC ($12.84\% \pm 0.43$) de proteína, mientras que con 0% de HC se obtiene ($10.85\% \pm 0.43$) de proteína. Si se fija el EL y la GG en los niveles más bajos, con 0% de HC se obtiene ($10.70\% \pm 0.43$) de proteína, con 20% de HC se obtiene ($12.69\% \pm 0.43$). Finalmente, si se fija el EL y la GG en los niveles más altos, con 0% de HC se obtiene ($10.99\% \pm 0.43$), con 20% de HC se obtiene ($12.98\% \pm 0.4$). De manera general, a mayor cantidad de HC se obtuvieron porcentajes mayores de proteína en todos los casos analizados. Al fijar las cantidades de EL y GG en sus niveles altos se observó que hay un incremento en la proteína, sin embargo, el incremento en la cantidad de proteínas fue menor que al variar HC. En la Figura 1 c) se puede observar la superficie de respuesta para esta variable dependiente.

3.4. Actividad de agua (a_w)

El porcentaje de \square_{\square} es de suma importancia debido a que es crítica en el proceso de elaboración del pan y en el producto final. Por ejemplo, tiene efectos en la textura y tiene un efecto directo en la proliferación y multiplicación de microorganismos (Pagani, Marti y Bottega, 2014). Es decir, determina el tiempo de vida del producto.

La Tabla 2 muestra un modelo de interacciones. La interacción más representativa es la del EL y GG, es decir, el resultado en conjunto de estos componentes son los que afectan de mayor manera la a_w . Si se fija HC en su nivel medio y EL y GG en sus niveles más altos se obtiene (0.9365 ± 0.004), mientras que si EL y GG se encuentran en sus niveles más bajos se obtienen valores predichos de (0.94 ± 0.004). Si se fijan HC, EL y GG en sus niveles más bajos se obtiene (0.9323 ± 0.004). Por el contrario, con nivel medio de HC, EL y alto de GG se obtiene (0.95 ± 0.004). Es decir, debido a la interacción, los niveles más altos de EL y GG representan los mejores niveles para la optimización de \square_{\square} . En la Tabla 2 se puede observar que la GG disminuye la actividad de agua. Resulta lógico entendible debido a que la GG es un hidrocoloide y por lo tanto absorbe gran cantidad de agua, dejando así menores cantidades de agua disponible para el sistema (Pahwa, Kaur y Puri, 2016). Se puede observar también que EL contribuye de manera inversa a la \square_{\square} del sistema debido a que EL comprende los componentes solubles en agua de la célula de levadura, es decir, está compuesto de aminoácidos, péptidos y sales que contribuyen a la reducción de agua

disponible en el sistema (Bayarjargal, 2014). En la Figura 1 e) se puede observar la superficie de respuesta para esta variable dependiente.

3.5. pH de la masa

Para el caso del pH se obtuvo un modelo lineal. Para el caso de HC, tenemos que aumentó la alcalinidad de la masa. Para la masa con 100% HT el pH fue menor (5.92 ± 0.025) que para la masa con 20% HC (6.00 ± 0.025). Estos valores concuerdan con otros estudios realizados a harinas de leguminosas. El incremento del valor de pH en las harinas de leguminosas puede darse debido a la solubilización de aminoácidos básicos (Aguilera, 2009). Para el caso de EL, este aumentó la acidez de la masa. Sin la adición de EL se obtuvo un pH mayor (5.96 ± 0.025) que para niveles altos (5.92 ± 0.025). Esto a su vez puede deberse a la alta cantidad de aminoácidos presentes en el extracto de levadura (Pancrazio et al., 2016) Existe evidencia de que el pH alcalino acelera el oscurecimiento del pan (De Leyn, 2014), sin embargo, el pH no fue considerado en la función de deseabilidad debido a que solamente se buscó estudiar su comportamiento.

3.6. Cenizas totales

Para el contenido de cenizas se obtuvo un modelo de interacciones en el cual HC, EL y GG estuvieron presentes en distintas interacciones. En ausencia de EL y GG, la adición de HC aumentó la cantidad de cenizas presentes en la muestra. Se tuvo que en la ausencia de HC, la cantidad de cenizas fue significativamente menor (1.55 ± 0.012) que para los niveles altos de HC (1.68 ± 0.012). Sin embargo, a niveles altos de los otros dos factores el aumento de HC no aumentó la cantidad de cenizas. Igualmente tenemos que existe una interacción entre EL y GG. Estas interacciones se pueden ver en las superficies de respuesta para cenizas de la Figura 1. Utilizando la función de optimización se encontró que la combinación que maximiza la cantidad de cenizas contiene 19.8% de HC, 0.98% de EL y 0.068% de GG, alcanzando un 1.676% de cenizas.

3.7. Función de deseabilidad

En el software Expert 10 se realizó la FD de acuerdo a los parámetros mostrados en la Tabla 3. A cada una de las variables se ha asignado un objetivo y un peso (importancia) en consecuencia a lo deseado para la optimización de los tratamientos finales. Las importancias se asignaron entre uno y cinco, siendo uno menos importante que cinco. La diferencia principal entre las formulaciones de los tres tratamientos es la cantidad de EL y la importancia que se asigna a su maximización y minimización, mientras que HC se maximizó en los tres casos y GG se mantuvo dentro de los límites del estudio. En consecuencia, los tres tratamientos óptimos se realizaron de acuerdo a las siguientes composiciones: PC10: HC (20%), EL (0.097%), GG (0.14%); PC20: HC (20%), EL (0.72%), GG (0.15%) y PC30: HC (16.48%), EL (1.72%), GG (0.16%).

La deseabilidad para PC10, PC20 y PC30 fueron 0.680, 0.663 y 0.660 respectivamente. Los valores proyectados por Design Expert 10 para las variables dependientes del tratamiento PC10 fueron: volumen específico (3.468 ml/g), cantidad de proteína (12.854%), \square_{\square} (0.948), cenizas totales (1.618%). Para el tratamiento PC20 fueron volumen específico (3.482 ml/g), cantidad de proteína (12.623%), \square_{\square} (0.944), cenizas totales (1.602%). Para el tratamiento PC30 fueron volumen específico (3.399 ml/g), cantidad de proteína (12.797%), \square_{\square} (0.949), cenizas totales (1.636%). Se observó que el tratamiento PC10 posee la mayor cantidad de proteína proyectada, en concordancia con la cantidad de HC. El tratamiento PC20 posee el volumen específico más alto en concordancia con la menor cantidad de HC. El tratamiento PC30 es el que posee un mejor valor de deseabilidad, un menor volumen específico proyectado y el mayor valor de cenizas, es decir, es el tratamiento que mejor optimiza los parámetros elegidos.

Tabla 3

Función de deseabilidad para la obtención de tratamientos optimizados

Variable dependiente	Extracto de levadura bajo (Tratamiento PC10)		Extracto de levadura medio (Tratamiento PC20)		Extracto de levadura alto (Tratamiento PC30)	
	Objetivo	Peso (a)	Objetivo	Peso	Objetivo	Peso
HC (x_1)	Maximizar	5	Maximizar	5	Maximizar	5
EL (x_2)	Minimizar	5	En rango	3	Maximizar	5
GG (x_3)	En rango	3	En rango	3	En rango	3
Volumen específico	Maximizar	5	Maximizar	5	Maximizar	5
Cantidad de proteína	Maximizar	5	Maximizar	5	Maximizar	5
Actividad de agua	Minimizar	3	Minimizar	3	Minimizar	3
Cenizas totales	Maximizar	3	Maximizar	3	Maximizar	3
Deseabilidad total		0.680		0.663		0.660

3.8. Evaluación sensorial

Los resultados establecidos en el atributo apariencia fue significativa como se puede observar en la Tabla 4. Se puede concluir que el nivel de agrado de la apariencia de los tratamientos PC10 y PC30 fue estadísticamente diferente. El tratamiento PC10 posee una calificación media de 7.073 (Me gusta moderadamente) en la escala hedónica de nueve puntos, mientras

que el tratamiento PC30 obtuvo 6.437 (Me gusta ligeramente). Según los comentarios de los panelistas el color del tratamiento PC10 fue más claro, por lo que se puede establecer que la cantidad de EL oscureció en mayor cantidad el producto. Es importante establecer que existen estudios en los que se demuestra que la harina de chocho oscurece el producto (Rosell, 2009). En los resultados para el atributo sabor se encontró también diferencia significativa, en el nivel de agrado, en el tratamiento PC30, el extracto de levadura marcó la diferencia en el sabor, debido a que según los panelistas este tratamiento fue el más amargo. Este tratamiento obtuvo la calificación más baja con un valor medio de 5.989 (Me gusta ligeramente).

En el análisis de textura los panelistas no identificaron diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que esta característica fue la única en la que todos los tratamientos fueron iguales. Finalmente, los resultados para gusto global, que abarca las características de apariencia, sabor y textura, demostraron que el tratamiento PC10 fue el que obtuvo una mejor calificación con un valor medio de 7.009 (Me gusta moderadamente), mientras que los tratamientos PC20 y PC30 fueron estadísticamente iguales.

Tabla 4

Resultados de evaluación sensorial de los tres tratamientos optimizados

Atributo Analizado	Tratamiento	Valor medio de gusto o disgusto
Apariencia	PC10	7.073±1.72 A
	PC20	6.839±1.72 A/B
	PC30	6.437±1.72 B
Sabor	PC10	6.999±1.72 A
	PC20	6.744±1.72 A
	PC30	5.989±1.72 B
Textura	PC10	7.125±1.72 A
	PC20	6.990±1.72 A
	PC30	6.876±1.72 A
Gusto Global	PC10	7.009±1.72 A
	PC20	6.537±1.72 B
	PC30	6.347±1.72 B

Letras distintas para cada atributo indica diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

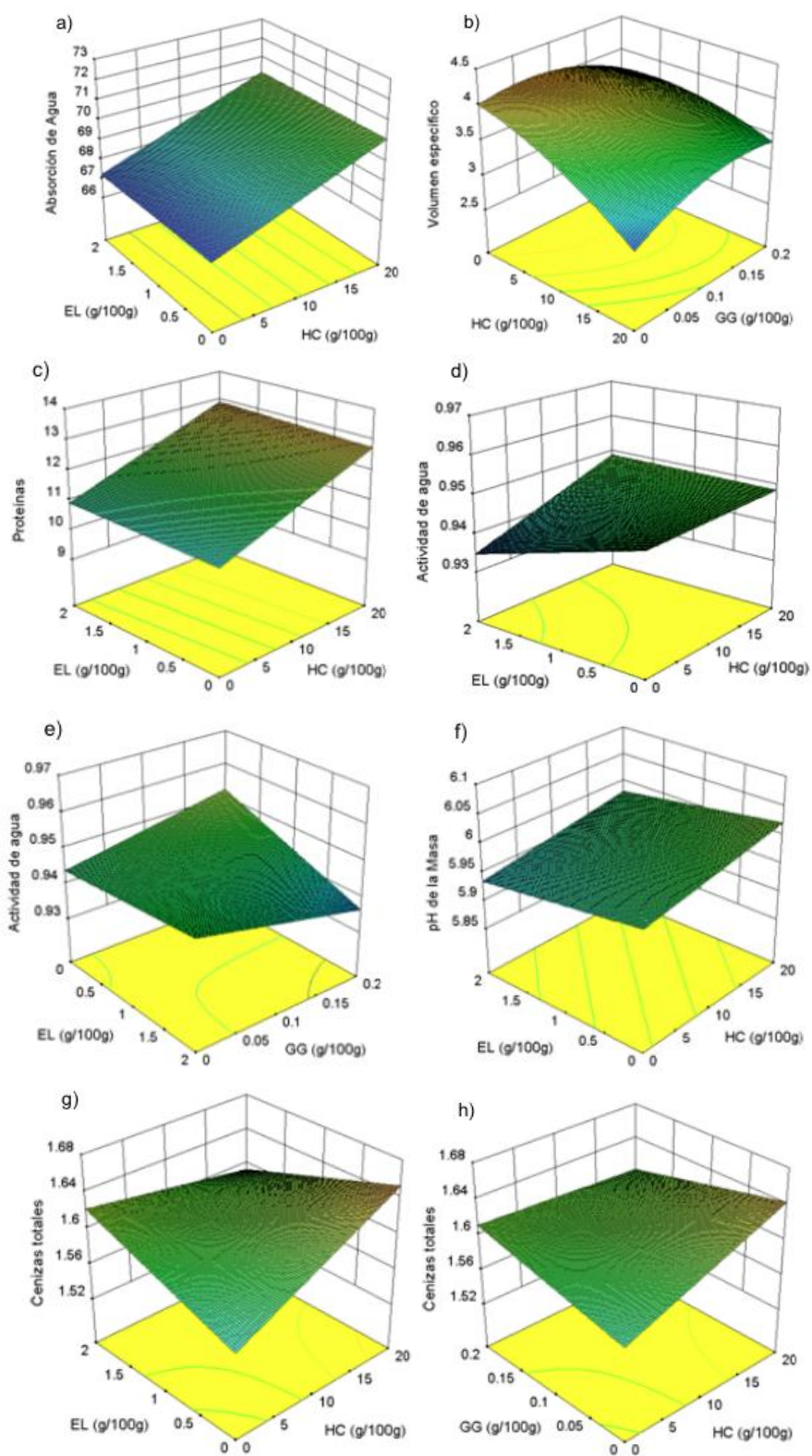


Figura 1. Superficies de respuesta para absorción de agua (a), volumen específico (b), proteínas (c), actividad de agua (d) (e), pH de la masa (f) y cenizas (g) (h)

4. Conclusiones

La inclusión de HC en el pan de molde causó una reducción del 8,33% en el volumen específico al comparar el pan de 100% de HT y el pan con 20% de HC. En contraste, la adición de HC aumentó la cantidad de proteína de manera considerable (18.34%) comparada con el pan de 100% HT. La adición de HC aumentó también la absorción de agua y el pH de la masa. La adición de GG aumentó el volumen específico a niveles medios de sustitución, siendo la adición de 0.15% de GG la que causó un mayor aumento del volumen específico cuando HC se encontraba en sus niveles altos. La función de deseabilidad permite realizar optimizaciones tomando en cuenta todas variables y permite también evaluar los tratamientos óptimos mediante evaluaciones sensoriales. En las evaluaciones sensoriales se identificó que los niveles altos de EL provocaron una reducción en la aceptación de los atributos de apariencia, sabor y en consecuencia en el gusto global. El tratamiento PC10, que se caracteriza por un nivel bajo de EL tuvo las respuestas más altas en la escala hedónica en sabor, apariencia y gusto global. El tratamiento PC10 alcanzó valores de siete puntos (Me gusta moderadamente) en estos atributos.

5. Referencias

Technical, A. (2009). Ash--Basic Method. AACC International Approved Methods.

Technical, A. (2009). Crude Protein--Micro-Kjeldahl Method. AACC International Approved Methods.

Technical, A. (2009). Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. AACC International Approved Methods.

Aguilera, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales, Universidad autónoma de Madrid.

Bayarjargal, M., Munkhbat, E., Ariunsaikhan, T., Odonchimeg, M., Uurzaikh, T., Gan-Erdene, T. and Regdel, D. (2014). Utilization of spent brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae* for the production of yeast enzymatic hydrolysate. *Mongolian Journal of Chemistry*, 12(0).

Caicedo V., C., Peralta I., E., Villacrés, E., y Rivera M., M. (2001). Poscosecha y mercado de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) en Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas. (Publicación Miscelánea no. 105).

Carrión, J., Villacrés, E., Peralta I., E., y Ramos, M. (abril, 2008). Reutilización del efluente del desamargado de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Alimentos Ciencia e Ingeniería* , 17(1), 85-93.

Carvajal-Larenas, F., Linnemann, A., Nout, M., Koziol, M. and van Boekel, M. (2015). *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology, and Debittering. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(9), 1454-1487.

De Leyn, I. (2014). Other Leavening Agents. *Bakery Products Science and Technology*, 175-181.

Dervas, G., Doxastakis, G., Hadjisavva-Zinoviadi, S. and Triantafillakos, N. (1999). Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rheological properties. *Food Chemistry*, 66(1), 67-73.

Gross, U., Galindo, R. and Schoeneberger, H. (1983). The development and acceptability of lupine (*Lupinus mutabilis*) products. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, 32(2), 155-164.

Güemes-Vera, N., Arciniega-Ruiz Esperza, O. and Dávila-Ortiz, G. (2004). Structural analysis of the *Lupinus mutabilis* seed, its flour, concentrate, and isolate as well as their behavior when mixed with wheat flour. *LWT - Food Science and Technology*, 37(3), 283-290.

Guillamón, E., Cuadrado, C., Pedrosa, M., Varela, A., Cabellos, B., Muzquiz, M. and Burbano, C. (2010). Breadmaking properties of wheat flour supplemented with thermally processed hypoallergenic lupine flour. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1), 100.

Hough, G., Wakeling, I., Mucci, A., Chambers, E., Gallardo, I. and Alves, L. (2006). Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Quality and Preference*, 17(6), 522-526.

Jacobsen, S., Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 458-482.

Komanska, H. (1990). Sequential monadic designs: some theoretical considerations. *Journal of Sensory Studies*, 4(3), 201-211

Lagrain, B., Goderis, B., Brijs, K. and Delcour, J. (2010). Molecular Basis of Processing Wheat Gluten toward Biobased Materials. *Biomacromolecules*, 11(3), 533-541.

Lim, J. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*.

Montgomery, D. (2013). *Design and analysis of experiments*. 8th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc

- Pahwa, A., Kaur, A. and Puri, R. (2016). Influence of Hydrocolloids on the Quality of Major Flat Breads: A Review. *Journal of Food Processing*, 2016, 1-9.
- Pancrazio, G., Cunha, S., de Pinho, P., Loureiro, M., Meireles, S., Ferreira, I. and Pinho, O. (2016). Spent brewer's yeast extract as an ingredient in cooked hams. *Meat Science*, 121, 382-389.
- Ribotta, P., Pérez, G., Añón, M. and León, A. (2008). Optimization of Additive Combination for Improved Soy–Wheat Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 395-405.
- Ribotta, P., Pérez, G., León, A. and Añón, M. (2004). Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids*, 18(2), 305-313.
- Rosell, C., Rojas, J. and Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75-81.
- Sullivan, P., O'Flaherty, J., Brunton, N., Arendt, E. and Gallagher, E. (2010). Fundamental rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour. *European Food Research and Technology*, 231(3), 441-453.