

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Desarrollo de pasta de arroz libre de gluten con sustitución parcial por harina de chocho (*Lupinus Mutabilis Sweet*) a través de un diseño experimental de proceso-mezclas

Sistematización de experiencias prácticas de investigación e intervención

**David Esteban Albuja Vaca
Christian Alexander Yépez Vizuete**

Ingeniería Industrial

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

Quito, 10 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Desarrollo de pasta de arroz libre de gluten con sustitución parcial por harina de chocho (*Lupinus Mutabilis Sweet*) a través de un diseño experimental de proceso-mezclas

**David Esteban Albuja Vaca
Christian Alexander Yépez Vizuete**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Danny Navarrete , Ingeniero Industrial

Firma del profesor

Quito, 10 de mayo de 2017

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: David Esteban Albuja Vaca

Código: 00110168

Cédula de Identidad: 1719114025

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Christian Alexander Yépez Vizuete

Código: 00110845

Cédula de Identidad: 1710018167

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2017

RESUMEN

La sustitución parcial de una leguminosa en productos libres de gluten aumenta su nivel nutricional. Se preparó una pasta sin gluten de harina de arroz con sustitución parcial por harina de chocho (10 % a 30%) (variable de mezclas), con formulación de huevo (8% a 30%) y goma guar (0.15% a 1%)(variable de procesos). Se analizó con un diseño experimental combinado de proceso - mezclas. La luminosidad se explica por un modelo únicamente de mezclas ($p < 0,05$) que fue influenciado por el arroz. El contenido de proteína, aumento de peso y pérdida de sólidos se explica por un modelo proceso - mezclas ($p < 0,05$), mientras que las cenizas por un modelo solamente de mezclas ($p < 0,05$), todos estos son influenciados por el chocho debido a su alto nivel proteico, mineral (calcio y fósforo) y por su carencia de gluten. Se realizó un análisis sensorial que cuantificó el agrado del consumidor en las características sensoriales de la pasta ($p < 0,05$) donde la mejor formulación fue 20% harina de chocho, 30% huevo y 0,15% goma guar. Se hizo un análisis proximal de la pasta para compararla con una de control (100% arroz) donde la pasta con chocho aumenta en ceniza (37.5%), proteína (63.15%), grasa insaturada (112.12%) y fibra (126.66%). El reemplazo parcial de la harina de arroz por harina de chocho se puede utilizar de manera favorable en la formulación de pasta libre de gluten.

ABSTRACT

Partial substitution of a legume in gluten free products increases its nutritional level. A gluten free spaghetti of rice flour with partial substitution of “chocho” flour (10% to 30%) was made, egg formulation (8% to 30%) and guar gum (0.15% to 1%). It was analysed with a process-mixture design. Luminosity is explained by a mixture model ($p < 0.05$) that was influenced by rice. Protein content, weight gain and loss of solids were explained by a process - mixture model ($p < 0.05$), while ashes by a mixture model ($p < 0.05$). All of these response variables are influenced by “chocho” because of its high protein level, minerals (calcium and phosphorus) and its lack of gluten. Consumer testing was performed to quantify the consumer's pleasure in the sensory characteristics of the spaghetti ($p < 0.05$) where the best formulation was 20% “chocho” flour, 30% egg and 0.15% guar gum. A proximal analysis of the spaghetti was performed to compare it with a control (100% rice), where spaghetti with “chocho” increased in ash (37.5%), protein (63.15%), unsaturated fat (112.12%) and fiber (126.66%). Partial replacement of rice flour with “chocho” flour may be favourably used in the gluten free spaghetti formulation.

TABLA DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos:</i>	8
<i>Resumen</i>	9
<i>1. Introducción</i>	9
<i>2. Métodos y materiales</i>	12
2.1. MATERIALES Y PREPARACIÓN DE PASTA LIBRE DE GLUTEN	12
2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	13
<i>2.3. Caracterización de los productos</i>	14
2.3.1. EVALUACIÓN DE COLOR.....	14
2.3.2. CANTIDAD DE PROTEÍNA Y CENIZAS	15
2.3.3. CALIDAD DE LA PASTA.....	15
2.3.3.1. TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN	15
2.3.3.2. AUMENTO DE PESO.....	15
2.3.3.3. PÉRDIDA DE COCCIÓN	15
2.4. FUNCIÓN DE DESEABILIDAD	16
2.5. PRUEBAS DE CONSUMIDOR.....	17
2.6. ANÁLISIS PROXIMAL DE LOS PROTOTIPOS	18
2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	18
<i>3. Resultados y discusión</i>	19
3.1. EVALUACIÓN DEL COLOR.....	19
3.2. PROTEÍNA Y CENIZA DE PASTA LIBRE DE GLUTEN SIN COCINAR	22
3.3. CALIDAD DE LA PASTA LIBRE DE GLUTEN	23
3.4. FUNCIÓN DE DESEABILIDAD.....	27
3.5. PRUEBAS AL CONSUMIDOR.....	27
3.6. ANÁLISIS PROXIMAL DE LOS PROTOTIPOS	29
<i>4. Conclusiones</i>	31
<i>Referencias</i>	32

Desarrollo de pasta de arroz libre de gluten con sustitución parcial por harina de chocho (*Lupinus Mutabilis Sweet*) a través de un diseño experimental de proceso-mezclas

David Esteban Albuja Vaca
Christian Alexander Yépez Vizuete
María Gabriela Vernaza Leoro
Danny Orlando Navarrete Chávez

170157, Diego de Robles y Avenida Interoceánica
Universidad San Fransisco de Quito
Quito, Pichincha
Ecuador
+593 2 297 1700

dealbujav@gmail.com
christianyepeszv@gmail.com
mgvernaza@usfq.edu.ec
dnavarrete@usfq.edu.ec

Palabras Clave:

Lupinus mutabilis sweet, chocho, proceso-mezclas, análisis sensorial, análisis proximal, calidad de la pasta.

*Agradecimientos:**David Esteban Albuja Vaca*

Agradezco a Dios, mis padres Byron y Carmen y a mi hermano Diego por el constante apoyo brindado en todo momento de mi formación personal y académica, que gracias a ellos soy lo que he llegado a ser. A mis profesores por la transmisión de todos los conocimientos obtenidos, especialmente a Danny Navarrete y Gabriela Vernaza por toda la ayuda para hacer realidad esta investigación, a Christian que por su esfuerzo y apoyo hemos logrado sacar este proyecto adelante y sin duda por ser un amigo indispensable. Finalmente a todas las personas que de uno u otro modo intervinieron en mi carrera universitaria.

Christian Alexander Yépez Vizúete

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi carrera, y haberme dado salud para lograr mis objetivos, a mi madre Juanita por su apoyo incondicional en todo momento, consejos valores, motivación en el día a día y por ser un ejemplo de vida en lo profesional y en lo personal. A mi hermano Adrian por su amistad y ejemplo en mi vida. Agradezco la confianza, apoyo y dedicación de su tiempo a mis profesores Danny Navarrete y Gabriela Vernaza por su conocimiento y amistad en este largo proceso y darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas. Finalmente a David por ser excelente compañero de tesis y amigo incondicional de inicio a fin.

Resumen

La sustitución parcial de una leguminosa en productos libres de gluten aumenta su nivel nutricional. Se preparó una pasta sin gluten de harina de arroz con sustitución parcial por harina de chocho (10 % a 30%) (variable de mezclas), con formulación de huevo (8% a 30%) y goma guar (0.15% a 1%)(variable de procesos). Se analizó con un diseño experimental combinado de proceso - mezclas. La luminosidad se explica por un modelo únicamente de mezclas ($p < 0,05$) que fue influenciado por el arroz. El contenido de proteína, aumento de peso y pérdida de sólidos se explica por un modelo proceso - mezclas ($p < 0,05$), mientras que las cenizas por un modelo solamente de mezclas ($p < 0,05$), todos estos son influenciados por el chocho debido a su alto nivel proteico, mineral (calcio y fósforo) y por su carencia de gluten. Se realizó un análisis sensorial que cuantificó el agrado del consumidor en las características sensoriales de la pasta ($p < 0,05$) donde la mejor formulación fue 20% harina de chocho, 30% huevo y 0,15% goma guar. Se hizo un análisis proximal de la pasta para compararla con una de control (100% arroz) donde la pasta con chocho aumenta en ceniza (37.5%), proteína (63.15%), grasa insaturada (112.12%) y fibra (126.66%). El reemplazo parcial de la harina de arroz por harina de chocho se puede utilizar de manera favorable en la formulación de pasta libre de gluten.

1. Introducción

La enfermedad celíaca no solamente se presenta en países desarrollados, sino que también en zonas del mundo en crecimiento, estudios realizados en el hospital Alemán de Buenos Aires indican que en América Latina existe una prevalencia de 1:11 de esta enfermedad, siendo 1:9 para mujeres y 1:30 a los hombres [Gimenez et al. \(2002\)](#), en comparación a

Estados Unidos siendo de uno en 141 o 0.71% en Europa, [Rubio et al. \(2012\)](#). La ingesta de trigo fue reconocida como una causa de esta enfermedad en 1950 por Willem Karel Dicke, y en la actualidad el 1% de la población mundial posee enfermedad celíaca ([Malalgoda y Simsek \(2016\)](#)).

Es una enfermedad digestiva crónica que lleva a la mala absorción de nutrientes, se da por una intolerancia al gluten , [Gimenez et al. \(2002\)](#), proteína que se encuentra en el trigo, centeno, avena y cebada [Karlin et al. \(2016\)](#), está asociada al sistema HLA (antígeno leucocitario humano) aunque existen otros factores que son los que determinantes como la forma y tiempo de presentación [Chirido y Arranz \(2005\)](#). Esta enteropatía autoinmune ataca el intestino delgado de cada individuo de distinta forma e imposibilita su correcto funcionamiento, la existencia de síntomas es innegable pese a que existen afectados que no los poseen, y se vuelve más difícil la detección de esta patología [Malalgoda y Simsek \(2016\)](#).

Esta enfermedad ha llamado la atención en varios campos de investigación con el fin de desarrollar productos que puedan satisfacer las necesidades de gente con enfermedad celíaca, actualmente el único tratamiento para estas personas es una dieta libre de gluten con alimentos como arroz, maicena y el sorgo, pero estos ofrecen bajo contenidos de calidad nutricional [Giuberti et al. \(2015\)](#). Por esta razón se busca alimentos funcionales para aumentar el valor nutricional de estos alimentos libre de gluten.

En el desarrollo de las culturas andinas existe una gran diversidad de cultivos, entre estas el *Lupinus mutabilis Sweet* (Chocho) una leguminosa que fija nitrógeno atmosférico en volúmenes considerables de 100 kg/ha [Jacobsen y Mujica \(2006\)](#), el consumo mayormente se da desde Venezuela a Argentina , y Ecuador es igualmente uno de los mayores

productores [Polowick et al. \(2014\)](#). Sus valores nutricionales son similares a los de la soya, pero no existe mucho estudio de este en la literatura.

El valor nutritivo del Chocho es bastante alto, las proteínas y aceites constituyen más de la mitad de su peso. Con base a un análisis bromatológico, posee en promedio 35.5% de proteína, 16.9% de aceites, 7.65% de fibra cruda, 4.145% de cenizas y 35.77% de carbohidratos [Carvajal et al. \(2014\)](#), en comparación a la soya el chocho viene muy a la par en sus componentes nutricionales.

El lupino consta de un alto contenido de alcaloides limitando el consumo de este alimento abundante en proteínas, estos componentes causan intoxicación en los humanos [Carvajal et al. \(2015\)](#). Los alcaloides hacen que la leguminosa sea amarga, generando una desventaja con respecto a los demás granos. [Jacobsen y Mujica \(2006\)](#). El sabor amargo y componentes tóxicos deben ser removidos antes del consumo, la desintoxicación del grano se logra a través de métodos químicos y biológicos. El método simple, económico y más usado es un continuo baño de la leguminosa con agua [Carvajal et al. \(2014\)](#). De tal manera que se tenga un grano para el consumo apto de las personas.

La pasta común realizada con harina de trigo y agua es uno de los alimentos más populares en el mundo [Sarawong et al. \(2014\)](#). La pasta como alimento es un producto de consumo masivo debido a su bajo aporte de grasa, sodio y bajos niveles de glucosa en la sangre a través del tiempo (respuesta glucémica). La pasta tradicional a base de trigo tiene la característica de permitir la interacción de sus proteínas con lípidos y otros componentes para formar el gluten [Granito et al. \(2003\)](#) la cual es esencial para la cocción en agua, ya que evita la desintegración de la pasta. Sin embargo es un compuesto intolerante para las

personas que padecen enfermedad celiaca, por esta razón se busca la elaboración de una pasta libre de gluten

La pasta tradicional se considera un alimento desbalanceado debido a su baja cantidad de grasa y fibra dietética y al bajo valor biológico de su proteína [Granito et al. \(2003\)](#). Por otro lado un estudio de pastas realizado en Australia determinó que son productos con propiedades nutricionales bajas debido a la falta de niveles de proteína [Laleg et al. \(2016\)](#). Por lo que se busca aumentar el valor nutricional de estas pastas mediante otros alimentos. No existe un estudio publicado acerca de una pasta libre de gluten para personas que padecen enfermedad celíaca, hecha a base de un alimento funcional como el chocho. En consecuencia a esta falta de funcionalidad en uno de los alimentos de mayor consumo en la población se propone el uso de chocho debido a sus componentes nutricionales para el metabolismo del ser humano.

El objetivo fue la elaboración de pasta de arroz libre de gluten con sustitución parcial por harina de chocho (*Lupinus Mutabilis Sweet*) utilizando la metodología de superficies de respuestas generadas a través de un diseño de mezclas (mixture design) del tipo proceso - mezclas.

2. *Métodos y materiales*

2.1. *Materiales y preparación de pasta libre de gluten*

Se utilizó harina de arroz (*Oryza Sativa*) y huevo entero adquiridos en el mercado local. La harina de chocho des amargada, cocinada y molida se consiguió del mayorista de granos, cuyo origen es en Imbabura - Ecuador. La goma guar fue adquirida en Toptrading CIA. LTDA.

Para la obtención de las pastas se siguió las diferentes formulaciones descritas en la Tabla 1. Todos los ingredientes (harina de chocho, harina de arroz, huevo entero, goma guar) se pesaron en balanza semianalítica (MonoBlock PB3001-S, Estados Unidos). Los ingredientes secos fueron mezclados a velocidad 1 por 5 minutos en la batidora planetaria (HOBART, Estados Unidos), mientras se fue añadiendo el huevo entero de forma continua. La mezcla se pasó al extrusor (La Parmigiana D 45, Italia), se añadió agua homogéneamente y se mezcló durante 7 minutos. Los espaguetis fueron cortados a una longitud de 20cm y se dejaron secar por 4 horas a 65⁰C en una cámara de secado (PROINGAL, modelo SB100, Ecuador) hasta llegar a una humedad de 10% [Laleg et al. \(2016\)](#).

2.2. Diseño experimental

Para optimizar las variables de respuesta se realizó un diseño experimental de procesos-mezclas combinado. El primer componente es un diseño de mezclas ya que la combinación de las dos harinas (chocho y de arroz) debe formar el 100% de la mezcla, ya que entre ellas son variables dependientes. La harina de chocho varió de 10% al 30% (Tabla 1).

Las variables de proceso son el segundo componente las cuales son independientes entre sí, es decir no influye el nivel de un factor sobre el otro. Se utilizó goma guar (niveles de 0.15% a 1%) y huevo entero (niveles de 8% a 30%) (Tabla 1) [Sarawong et al. \(2014\)](#). Para el diseño experimental se realizaron 20 corridas (10 de ellas fueron réplicas) con bloque de 3 factores para eliminar la variación introducida al experimento por parte del factor perturbador temperatura diaria. [Montgomery \(2012\)](#).

Sin embargo cada variable de mezclas se puede ver afectada por cada nivel de las variables de proceso, por esta razón se aplicó un diseño experimental de mezclas combinado, donde se realizó cada corrida de variables de mezcla en cada combinación de diferentes niveles de

las variables de proceso. Los demás ingredientes de la formulación de la pasta se mantuvieron constantes. Este diseño es I-optimal por lo que usa algoritmos para formar el óptimo modelo matemático computacional. Esto se debe a que no es un diseño estándar, su zona de experimentación es irregular y tiene una gran cantidad de posibles tratamientos Myers et al. (2016). Para determinar las diferentes corridas y réplicas del diseño experimental se usó el software Design Expert versión 10.

2.3. Caracterización de los productos

2.3.1. Evaluación de color

Uno de los factores más importantes que el consumidor considera al comprar pasta es el color del producto Giuberti et al. (2014). Para evaluar el color en la pasta libre de gluten se utilizó el método 14-22.01 AACC (2010), usando un colorímetro (Minolta CR 410 Chroma Meter), se realizaron cuatro mediciones de las muestras y se registraron las intensidades de absorbancia de luz en comparación con un fondo blanco, en la escala de L^* , a^* , b^* , 100 (L), y -1 a -1 (a y b), Tang et al. (1999). Con estos datos obtenidos se calculó la saturación C^* (croma)(1) y la tonalidad h (hue)(2), utilizando las siguientes ecuaciones.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

2.3.2. Cantidad de proteína y cenizas

Para determinar la cantidad de proteína y cenizas se utilizó la metodología de la AOAC (2000). Se utilizaron los métodos 46-13 y 08-12 respectivamente.

2.3.3. Calidad de la pasta

2.3.3.1. Tiempo óptimo de cocción

Para la determinación del tiempo óptimo de cocción de la pasta, se usó el método de la AACC 66-50.01 (2010). Se colocaron 25 [g] de la pasta en 300 [ml] de agua destilada a temperatura de ebullición y a presión atmosférica, el tiempo óptimo en el cual la pasta está cocida se lo define como el tiempo hasta que desaparece el núcleo blanco de espagueti después de ser presionado entre dos placas transparentes.

2.3.3.2. Aumento de peso

Para medir el aumento de peso o la hidratación en la pasta se empleó el método AACC 66-50.01 (AACC, 2010) con algunas modificaciones, se cocinaron las pastas hasta su punto óptimo de cocción. La pasta fue drenada por 30 segundos, se obtuvo la diferencia entre el peso de la pasta antes de la cocción y después de la cocción.

2.3.3.3. Pérdida de cocción

La pérdida por cocción se determinó según el método AACC 66-50.01 (AACC, 2010) con algunas modificaciones. Se analizaron cuantitativamente los cambios en la pasta, la pérdida se evaluó después de cocinar 10 [g] de pasta en 100 ml de agua destilada a temperatura de

ebullición durante el tiempo óptimo. La solución resultante después de remover la pasta cocinada del agua, fue evaporada en una estufa de aire caliente a 105°C. Los residuos en gramos se tomaron como el peso del espagueti original que se perdió, durante el período de cocción.

2.4. Función de Deseabilidad

Para evaluar los resultados obtenidos de las múltiples variables medidas se utilizó la función de deseabilidad. Esta toma en cuenta los objetivos deseados, sea maximizar o minimizar cada una de las variables de respuesta. Esta se compone de dos partes, la deseabilidad individual y la compuesta. La individual (d_i) determina la forma en que la estructura optimiza una respuesta individual. Este enfoque transforma cada y_i en una d_i que varía en el rango de:

$$0 \leq d_i \leq 1$$

donde si la respuesta y_i está en su objetivo entonces $d_i = 1$, y si la respuesta está fuera de la región aceptable $d_i = 0$. La deseabilidad compuesta (D) determina la forma en que la estructura optimiza un conjunto de respuestas en general. La deseabilidad arroja un puntaje de cero a uno, siendo uno la situación óptima; el cero indica que los resultados no están en los rangos aceptables [Myers et al. \(2016\)](#). Luego se escogen las variables para maximizar la deseabilidad total.

$$D = (d_1 \cdot d_2 \dots d_m)^{1/m}$$

donde m es el número de respuestas, la deseabilidad global será nula si alguna individual es igual a cero. El valor D en el intervalo $[0,1]$ muestra un balance de las respuestas favorable/no favorables. El algoritmo de optimización utiliza valores de ponderación para cada variable de respuesta, las cuales fueron asignados según el objetivo establecido para cada

una de ellas. Estas ponderaciones tienen valores de uno al cinco, donde uno indica importancia nula; cinco indica un peso máximo en la determinación de la deseabilidad [Myers et al. \(2016\)](#). Se analizó todos los tratamientos con esta función y a partir de los puntajes se seleccionó dos tratamientos que fueron evaluados en las pruebas de consumidor.

2.5. Pruebas de consumidor

La finalidad de las pruebas al consumidor fue investigar y medir los factores de percepción, actitud y sociales que afectan en el gusto y consumo del producto [Lawless et al. \(2010\)](#). Se realizó una prueba afectiva utilizando una encuesta de cinco preguntas donde se usó una escala hedónica de 9 puntos [Lim \(2011\)](#). Se midió el nivel de agrado de apariencia global, producto en conjunto, sabor y textura de tres prototipos, con un total de 112 aceptadores del concepto (50 mujeres, 62 hombres), miembros de la comunidad USFQ [Hough et al. \(2006\)](#). Dos de estos prototipos fueron los obtenidos a través de la función de deseabilidad con los valores más altos. El tercero se lo desarrolló como un control con la finalidad de observar si al consumidor le agrada un sabor con más o menos harina de la leguminosa estudiada.

Para la protección de los panelistas, se requirió que todos los consumidores firmen un consentimiento informado previo a cualquier prueba. El estudio fue autorizado por el comité de ética de la Universidad San Francisco de Quito-Ecuador. La prueba se realizó en un ambiente controlado en el laboratorio de análisis sensorial de esta misma universidad. El orden de presentación fue secuencial monádico a través de un ‘mutually orthogonal latin square’ (MOLS), con la finalidad de minimizar los efectos de contexto [Wakeling et al. \(2010\)](#). Cada participante evaluó las tres muestras de pasta (20 g) que fueron presentados con la única identificación de un código alfa numérico de tres dígitos. Para el análisis estadístico de esta sección se usó el software Minitab dieciséis.

2.6. Análisis proximal de los prototipos

Se seleccionó un prototipo que cumplió mejor con las características sensoriales en las pruebas al consumidor y se hizo un análisis proximal junto con un control, una pasta libre de gluten completamente de arroz.

2.7. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los tratamientos se usó el software Design Expert versión diez con la finalidad de determinar factores o interacciones que tienen efecto en las diferentes variables de respuesta tanto a nivel individual como a nivel consolidado a través de la función de deseabilidad. El modelo completo resultante es la ecuación 3, asumiendo que todos sus términos son significativos. Para cada variable de respuesta, se pueden obtener también modelos reducidos de este modelo consolidado [Myers et al. \(2016\)](#).

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \alpha_1 x_1 x_2 + \alpha_2 x_2 z_2 + \alpha_3 x_1 x_2 z_1 + \alpha_1 x_1 z_2 + \alpha_2 x_2 z_1 + \alpha_3 x_1 x_2 z_2 + \delta_1 x_1 z_1 z_2 + \delta_2 x_2 z_1 z_2 + \delta_3 x_1 x_2 z_1 z_2 + \varepsilon \quad (3)$$

Donde y es la variable de respuesta asignada a cada uno de los tratamientos, β_i es la información lineal y no lineal de las propiedades de los componentes de mezclas, α_i indica la información de los efectos principales y la interacción de las variables de proceso, δ_i indica los componentes de mezcla y las variables de proceso, finalmente ε_{ij} indica el error residual. Para determinar la significancia de los factores se usó $\alpha = 0,05$.

Para el análisis sensorial se consideraron los factores de diseño, constantes y de bloqueo, estos son prototipos, ambiente y personas respectivamente. Se realizó un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA), con $\alpha = 0,5$, de acuerdo al siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \{i = 1, 2, 3. j = 1, 2, \dots, 112\} \quad (4)$$

Donde y_{ij} indica la variable de respuesta, μ indica la media de la variable analizada, τ_i indica el efecto del i -ésimo tratamiento, β_j indica el efecto del j -ésimo bloque, finalmente ε_{ij} muestra el error aleatorio. Para realizar la comparación entre el mejor prototipo y la pasta de control (100% arroz) se realizó una prueba t, con la finalidad de ver si existe diferencia estadística entre ellas.

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación del color

Los resultados de la luminosidad de la pasta varía desde 53.34 a 75.81 (Tabla 1), una alta variación en las mediciones puede ser relacionada al color original de la harina de la leguminosa y sus pigmentos. Estos datos indican el valor de Munsell que representa claridad u oscuridad. [Nielsen \(2009\)](#). El modelo matemático que se obtuvo en variables de mezclas es cúbico y de medias en las variables de proceso ($P < 0.05$). Esto quiere decir que las variables de proceso no son significativas. El modelo de las variables de proceso que mejor se ajusta a los datos es la media de los tratamientos. Este modelo se reduce a un modelo solamente de mezclas. Donde el factor más significativo es la harina de arroz seguido de la harina de chocho con coeficientes muy cercanos de 73,00 y 69,54 respectivamente (Tabla 2).

En el modelo de proceso mezclas la combinación óptima es un modelo cuadrático en variables de mezcla y 'two factorial interaction' (2FI) en variables de proceso, de esta manera todos los factores de mezclas y proceso tienen efecto en la variable de respuesta. El valor Croma (C^*) tiene un modelo cuadrático en variables de mezcla y 2FI en variables de

proceso ($P < 0.05$) cuyos resultados varían de 21.54 a 29.21 (Tabla 1). En el modelo matemático obtenido el chocho es el factor más influyente en la variable de respuesta (Tabla 2)

Un comportamiento similar se reportó en los resultados para hue (h), sigue un modelo lineal en variables de mezcla y factorial (2FI) en variables de proceso ($P < 0.05$). El rango de sus resultados va desde 1.47° a 1.52° , mucho más cercanos entre sí en comparación con los resultados de luminosidad y croma. Siendo el chocho el factor más significativo en el modelo, y el arroz muy cercano igualmente. La aceptabilidad del producto puede no verse influenciada, ya que productos de pasta libre de gluten con distintos colores están comercialmente disponibles. En la pasta sin gluten que ha pasado por el proceso de cocción se espera que el nivel de luminosidad (L^*) disminuya [Flores et al. \(2014\)](#).

Tabla 1
Resultados obtenidos en el diseño proceso mezclas de pastas de arroz libre de gluten con sustitución parcial por chocho

No. de Tratamiento	Variables			L^a	C^{*a}	h^a	Proteína ^b	Ceniza ^b	Aumento de peso ^b	Perdida de sólidos ^b
	Chocho* (%)	Huevo (%)	Goma Guar (%)							
1	20	8	0.15	71,93 ± 1.28	25,79 ± 0.30	1,50 ± 0.00	18.18 ± 0.29	1.30 ± 0.05	167.06 ± 0.01	12.90 ± 0.01
2	20	30	1.00	68,75 ± 1.16	28,40 ± 1.87	1,48 ± 0.00	23,32 ± 0.52	1.26 ± 0.05	168.11 ± 0.01	8.03 ± 0.01
3	20	30	1.00	69,94 ± 1.37	27,15 ± 0.57	1,49 ± 0.01	19.92 ± 0.29	1.15 ± 0.05	184.18 ± 0.01	8.68 ± 0.01
4	30	30	0.15	70,23 ± 0.68	28,62 ± 0.29	1,48 ± 0.00	22,58 ± 0.52	1.30 ± 0.05	175.70 ± 0.01	9.92 ± 0.01
5	10	8	1.00	70,10 ± 0.24	22,80 ± 0.64	1,50 ± 0.00	14.28 ± 0.29	0.94 ± 0.02	285.47 ± 0.01	19.68 ± 0.01
6	30	8	0.11	68,38 ± 0.82	27,39 ± 0.16	1,48 ± 0.00	21.93 ± 0.52	1.37 ± 0.05	171.73 ± 0.01	15.76 ± 0.01
7	10	30	0.15	71,37 ± 0.52	28,09 ± 0.45	1,47 ± 0.00	16.07 ± 0.52	1.00 ± 0.05	200.34 ± 0.01	8.73 ± 0.01
8	20	30	0.15	69,57 ± 0.47	29,21 ± 0.23	1,47 ± 0.00	19.75 ± 0.52	1.19 ± 0.05	176.23 ± 0.01	10.00 ± 0.01
9	20	8	1.00	71,51 ± 0.18	26,05 ± 0.93	1,50 ± 0.00	18.12 ± 0.29	1.36 ± 0.05	170.51 ± 0.01	10.56 ± 0.01
10	20	30	1.00	70,01 ± 1.90	28,50 ± 0.43	1,47 ± 0.00	18.83 ± 0.52	1.43 ± 0.03	158.34 ± 0.01	7.89 ± 0.01
11	30	8	1.00	69,39 ± 0.41	26,92 ± 0.16	1,48 ± 0.00	22.02 ± 0.52	1.50 ± 0.03	165.74 ± 0.01	10.55 ± 0.01
12	20	8	1.00	72,50 ± 1.69	25,53 ± 0.43	1,51 ± 0.00	17.37 ± 0.29	1.18 ± 0.05	172.70 ± 0.01	10.65 ± 0.01
13	10	19	0.36	74,53 ± 1.20	23,90 ± 0.18	1,51 ± 0.00	14.74 ± 0.29	0.94 ± 0.02	220.15 ± 0.01	9.29 ± 0.01
14	20	30	0.15	69,01 ± 0.31	29,03 ± 0.43	1,47 ± 0.00	19.69 ± 0.29	1.30 ± 0.05	187.51 ± 0.01	8.04 ± 0.01
15	25	19	0.57	53,34 ± 1.08	27,90 ± 0.19	1,48 ± 0.00	20.73 ± 0.52	1.55 ± 0.03	178.09 ± 0.01	7.92 ± 0.01
16	25	19	0.57	68,85 ± 0.95	27,51 ± 1.05	1,49 ± 0.00	20.80 ± 0.52	1.62 ± 0.03	180.93 ± 0.01	9.83 ± 0.01
17	20	8	0.15	72,03 ± 0.58	24,47 ± 0.57	1,52 ± 0.00	17.94 ± 0.29	1.31 ± 0.05	187.48 ± 0.01	14.27 ± 0.01
18	30	30	1.00	69,20 ± 0.92	21,69 ± 0.15	1,47 ± 0.00	21.92 ± 0.52	1.55 ± 0.03	161.23 ± 0.01	8.26 ± 0.01
19	10	30	1.00	73,19 ± 0.44	24,74 ± 0.70	1,51 ± 0.00	15.84 ± 0.29	0.65 ± 0.02	214.20 ± 0.01	7.41 ± 0.01
20	10	8	0.15	75,81 ± 0.27	21,54 ± 0.29	1,52 ± 0.00	13.63 ± 0.29	0.95 ± 0.02	198.47 ± 0.01	18.67 ± 0.01

* Porcentaje de sustitución parcial sobre el 100% de arroz

^a Media entre 4 mediciones

^c Media entre 2 mediciones

3.2. Proteína y Ceniza de pasta libre de gluten sin cocinar

Los resultados obtenidos de proteína y ceniza de la pasta libre de gluten con harina de chocho se presentan en la tabla 1. La proteína tiene un modelo lineal en variables de mezclas y un modelo lineal en las variables de proceso ($P < 0.05$). La ceniza tiene un modelo matemático cúbico en variables de mezclas y de media en variables de proceso al igual que el modelo de luminosidad.

En general, la leguminosa usada para el estudio se la caracteriza por un alto contenido de proteína (32.0-52.6 g/100g dw) [Carvajal et al. \(2014\)](#), este complementa al valor habitual proteico del 7% del arroz [Juliano \(1994\)](#). Por lo tanto, la inclusión de harina de chocho en productos libres de gluten mejora el contenido de nivel proteico y valor nutricional del producto. El chocho posee un alto nivel de lisina (Lys) uno de los 10 aminoácidos esenciales para el ser humano [Guyton \(2006\)](#). Los resultados de proteína varían desde 13.64 a 23.31% en los tratamientos. El chocho es el principal responsable de este comportamiento, siendo el factor más importante en el modelo matemático. La relación de eficiencia proteica (PER) del chocho fue reportada entre 0.83 1 [Chango et al. \(1993\)](#) [Petterson \(1998\)](#). Como se muestra en la figura 1.D, la superficie de respuesta indica que a mayor nivel de chocho y huevo se tuvo mayor contenido de proteína.

La semilla del chocho y sus derivados como la harina, se han utilizado para mejorar las propiedades nutricionales de alimentos que contienen la leguminosa [Güemes et al. \(2008\)](#). Y se encontró que este alimento puede mejorar la calidad biológica de las proteínas cuando se la combina con otros cereales. [Jiménez y Dávila \(2006\)](#).

El término más significativo en el modelo matemático para el aumento de cenizas es el harina de chocho debido a su 3.3 g/100 g de minerales de la leguminosa [Jacobsen y Mujica \(2006\)](#) Los resultados varían desde 0.66 a 1.62 % del contenido total de cada tratamiento. El modelo

matemático se explica de forma cúbica ya que las variables de proceso (Huevo entero y Goma guar) no son significativas. El segundo término con mayor influencia es la harina de arroz, ya que el 28% de minerales está distribuido equitativamente en el arroz elaborado entre hierro, fósforo y potasio [Juliano \(1994\)](#). La variación del contenido de minerales puede también darse por el uso de diferentes métodos analíticos. [Peñaloza et al. \(1991\)](#). El mineral que más aporta el chocho a la pasta libre de gluten es el calcio, por su alto contenido de 320.7 mg /100 g [Peñaloza et al. \(1991\)](#)

3.3. Calidad de la pasta libre de gluten

Después de evaluar el tiempo óptimo de cocción en las veinte muestras se estandarizó un tiempo de siete minutos y treinta segundos para medir aumento de peso y pérdida de sólidos en todos los tratamientos.

Las características de cocción son medidas por el aumento de peso y la pérdida de sólidos que sufre la pasta. Para los dos casos los tratamientos sí son influyentes para cada variable de respuesta, teniendo un rango entre 158.35 a 285.47% y 7.41 a 19.68% respectivamente.

En las condiciones del experimento, el modelo matemático (Tabla 2) que se obtiene para aumento de peso es un modelo cuadrático en las variables de mezclas y un modelo de interacción factorial para las variables de proceso. Los factores que afectan de mayor manera en el modelo es el chocho y el arroz, esto se debe a que el chocho tiene una alta absorción de agua, puede aumentar hasta tres veces su tamaño, además ciertas etapas de procesamiento como remojar, eliminación de alcaloides (proceso de desamargado del grano) y cocción mejora la capacidad de absorción de agua debido que elimina componentes como lípidos y polifenoles [Carvajal et al. \(2014\)](#), además el almidón del chocho (2.99%) se gelatiniza, el orden molecular es destruido (rompimiento de puentes de hidrógeno) gradual e irreversiblemente, los gránulos pierden su

cristalinidad absorbiendo gran cantidad de agua [Hernández et al. \(2008\)](#). De igual manera el arroz tiene un bajo contenido de lípidos, 2.2% [Juliano \(1994\)](#) permitiendo una alta capacidad de absorción de agua. Esto se confirma viendo la superficie de respuesta (Figura 1.F) donde con un mayor porcentaje de chocho se tiene aumento en la respuesta.

Por otro lado para pérdida de sólidos el modelo matemático para variables de mezclas se explica de forma cuadrática y para variables de proceso de forma lineal (Tabla 2). Los factores con mayor influencia son el chocho y el arroz, estos granos no contienen gluten (lipoproteínas viscoelásticas), esta proteína contribuye al desarrollo de la masa y previene la desintegración de la pasta durante la cocción en agua caliente [Granito et al. \(2003\)](#).

La pérdida de sólidos es un indicador para medir la calidad de la pasta cocida. Para la obtención de una pasta de calidad se debe tener menos del 12% [Hoseney \(1999\)](#) sin embargo para una pasta libre de gluten este valor aumenta entre 20-25% [Mestres et al. \(1993\)](#). En este estudio se tiene un promedio de 10,85% lo cual demuestra que la pasta está dentro de los estándares de, inclusive, una pasta con gluten.

Tabla 2: Modelos matemáticos para variables de respuesta del promedio de 20 muestras de pasta libre de gluten.

Variables de Respuesta	Modelo Codificado	R cuadrado ajustado	Valor P
Luminosidad	$y = 69.54x_1 + 73.00x_2 - 1.88x_1x_2 - 105,98x_1x_2(x_1-x_2)$	0.48	0.0062
Croma (C*)	$y = 26.21x_1 + 24.11x_2 + 8x_1x_2 - 1.09x_1z_1 - 1.83x_1z_2 + 2.12x_2z_1 - 0.49x_2z_2 + 4.27x_1x_2z_1 + 4.33x_1x_2z_2 - 1.71x_1z_1z_2 - 1.22x_2z_1z_2 + 3.64x_1x_2z_1z_2$	0.89	0.0018
Hue (h)	$y = 1.48x_1 + 1.50x_2 - 0.0096x_1z_1 - 0.000138x_1z_2 - 0.016x_2z_1 + 0.00416x_2z_2 - 0.0053x_1x_2z_2 + 0.012x_1z_1z_2$	0.71	0.0005
Proteína	$y = 22.46x_1 + 15.18x_2 + 0.44x_1z_1 + 0.29x_1z_2 + 1.31x_2z_1 + 0.11x_2z_2$	0.88	<0.0001
Ceniza	$y = 1.44x_1 + 0.91x_2 + 0.40x_1x_2 + 2.35x_1x_2(x_1-x_2)$	0.81	<0.0001
Pérdida de sólidos	$y = 10.64x_1 + 12.65x_2 - 4.96x_1x_2 - 2.29x_1z_1 - 1.02x_1z_2 - 5.55x_2z_1 + 0.21x_2z_2 + 8.96x_1x_2z_1 - 1.92x_1x_2z_2$	0.82	0.0008
Aumento de peso	$y = 169.76x_1 + 225.00x_2 - 75.71x_1x_2 - 3.65x_1z_1 - 7.89x_1z_2 - 17.35x_2z_1 + 23.69x_2z_2 + 51.93x_1x_2z_1 - 42.22x_1x_2z_2 - 5.64x_1z_1z_2 - 24.57x_2z_1z_2 + 45.58x_1x_2z_1z_2$	0,88	0.0026

 x_1 = Harina de chocho x_2 =Harina de arroz z_1 = Huevo entero z_2 = Goma guar

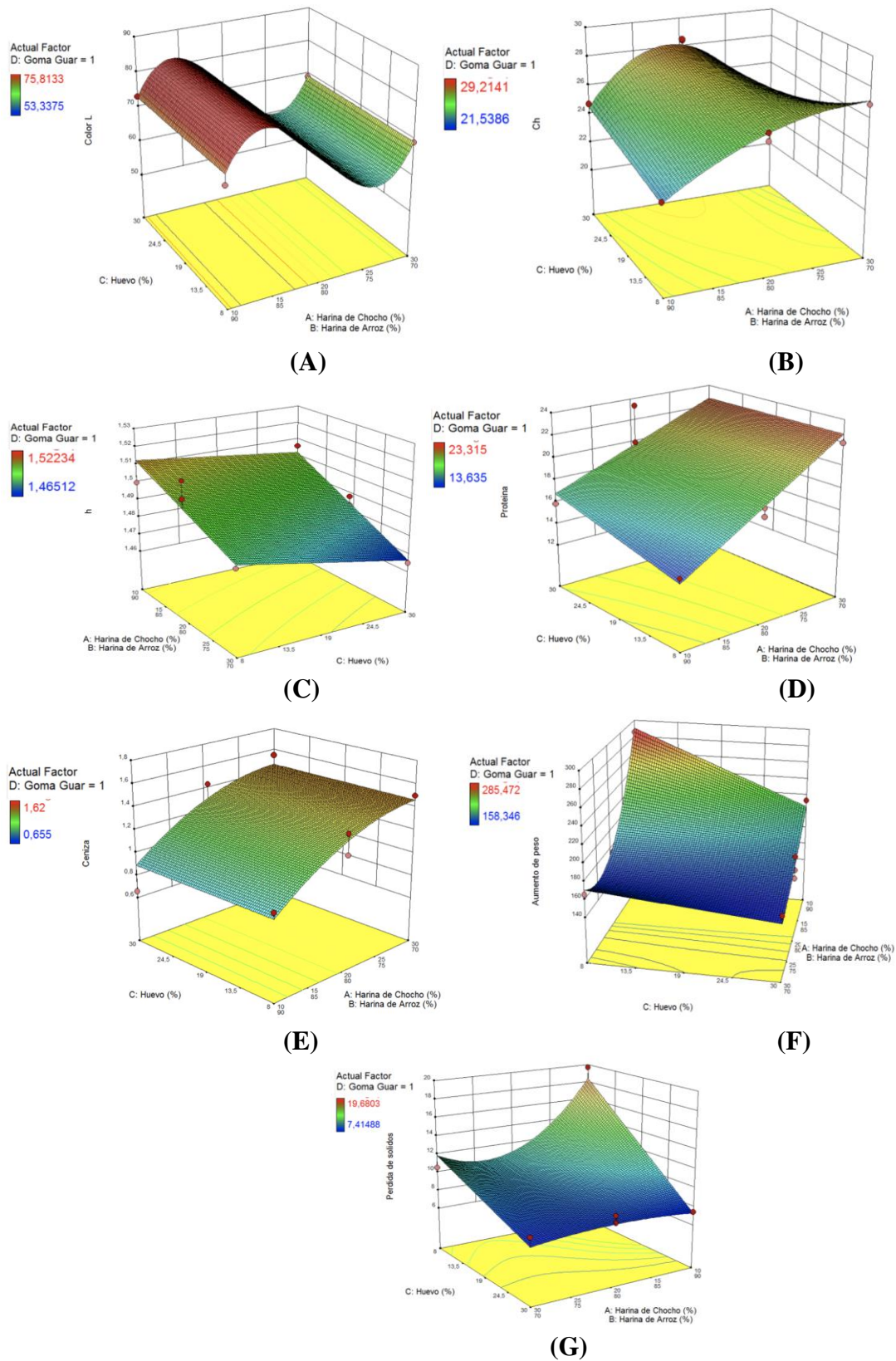


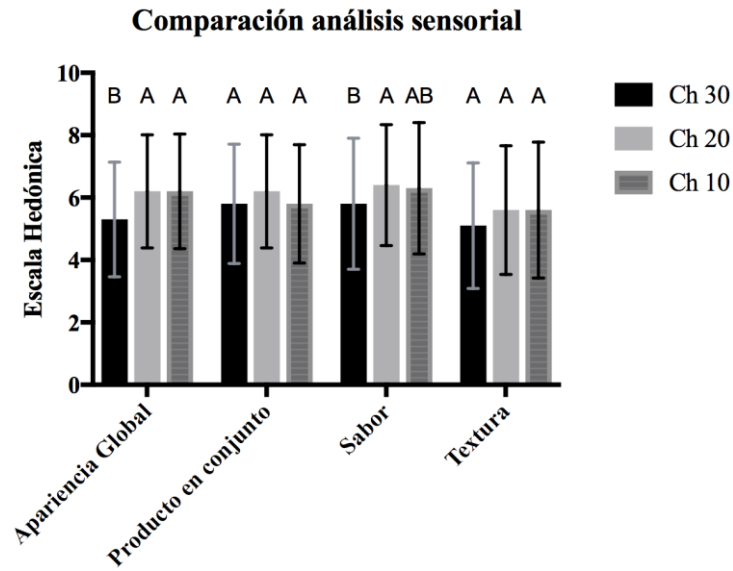
Fig. 1: Superficies de respuesta de luminosidad (A), C* (B), h (C), proteína (D), ceniza (E), aumento de peso (F) y pérdida de sólidos (G)

3.4. Función de deseabilidad

Las ponderaciones dadas a las variables fueron según la importancia en el producto, que son: Luminosidad (1), C* (3), h (3), proteína (5), ceniza (5), aumento de peso (5) y pérdida de sólidos (5). A partir de esto, con el algoritmo de deseabilidad se obtuvo treinta y siete posibles respuestas óptimas, donde la mayor fue de 0.582, y la menor de 0.478. La mejor con formulación de 30% harina de chocho, 70% harina de arroz, 30% huevo y 0.15% de goma guar (Ch 30). A este resultado le sigue un valor de 0,536, formada por 19.93% harina de chocho, 80,06% harina de arroz, 30% huevo y 0,15% de goma guar (Ch 20).

3.5. Pruebas al consumidor

Para las pruebas de consumidor se usaron tres prototipos, dos obtenidos mediante la función de deseabilidad y uno para control. Se obtuvo que el nivel de agrado para apariencia global y sabor fue estadísticamente diferente para las muestras estudiadas, pero no para el gusto total y la textura (figura 2). Esto se debe ya que al secar el grano antes de molerlo mejora las características organolépticas del mismo, esto ocasiona que la harina tenga un sabor neutral o tienda a un sabor amargo ligero [Carvajal et al. \(2014\)](#). También el sabor se ve influenciado proporcionalmente al porcentaje de chocho de cada formulación. Analizando el resultado global de todas las preguntas se puede concluir que el prototipo de mayor nivel de agrado fue el Ch 20.



Características sensoriales

Fig. 2: Comparación análisis sensorial de prototipos

Ch 30= 30% harina de chocho, 30% huevo y 0,15% goma guar

Ch 20= 20% harina de chocho, 30% huevo y 0,15% goma guar

Ch 10= 10% harina de chocho, 30% huevo y 0,15% goma guar

3.6. Análisis proximal de los prototipos

Los resultados del análisis proximal se presentan en la Tabla 3. La pasta con harina de chocho tiene mejores características nutricionales que la pasta de control. El nivel de proteína de la pasta con harina de chocho aumenta en 63.15% debido al alto contenido de proteína de la leguminosa (33.9-43.3 g/100 g dw) [Carvajal et al. \(2014\)](#), de igual manera el porcentaje de minerales es mayor en un 37.5% por el alto contenido que presenta esta leguminosa en calcio (320.7 mg/100 g dw) y en fósforo (753 mg/100 g dw) [Carvajal et al. \(2014\)](#), este porcentaje puede aumentar si se realiza la harina de la leguminosa con cáscara ya que la relación calcio - fósforo se altera al quitarla. [Poveda y Vanessa \(2015\)](#). El chocho contiene alto nivel de fibra (7.10 g / 100g) [Jiménez \(2013\)](#) por esta razón la pasta con harina de chocho aumenta en 126.66% en este componente. La leguminosa tiene aproximadamente 80% de ácidos grasos insaturados y el proceso de desamargado no afecta significativamente a este contenido ya que el chocho pasa de tener 18.9g/100 g dw a 16.6 g/100 g dw [Carvajal et al. \(2014\)](#) de grasa por esta razón la pasta se ve reflejada en un aumento de 112.12% de la pasta de control.

Tabla 3: Análisis proximal de pasta óptima vs. control.

Componente	MC	MP
Ceniza (%)	0.8 ± 0.001 ^a	1.1. ±0.007 ^b
Proteína (%)	11.4 ± 0.042 ^a	18.6 ± 0.014 ^b
Grasa (%)	3.3 ± 0.049 ^a	7 ± 0.127 ^b
Fibra (%)	0.3 ± 0.001 ^a	0.68 ± 0.001 ^b
Humedad	5.5 ± 0.049 ^a	9.8 ± 0.057 ^b
Carbohidratos	78.7 ± 0.057 ^a	62.7 ± 0.092 ^b

MC= Pasta de control libre de gluten 100% arroz

MP= Pasta libre de gluten con sustitución de 20% de harina de chocho

Medias con diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadística entre las muestras por prueba t (p<0.05)

4. Conclusiones

El presente estudio confirma la hipótesis que la harina de leguminosas son ingredientes útiles para la mejora nutricional de productos libres de gluten. Se puede tener implicaciones positivas en la dieta de persona celíacas con el consumo de pasta sin gluten hecha con harina de chocho (*Lupinus Mutabilis Sweet*), debido a su mayor calidad nutricional. Sustituyendo harina de chocho en la pasta de arroz se incrementa ceniza (37.5%), proteína (63.15%), grasa insaturada (112.12%) y fibra (126.66%), es decir aumenta la calidad de la pasta. La leguminosa es el factor que mayormente afecta en el aumento de peso por su capacidad de absorción de agua. El color de la pasta se vio influenciado por la adición de la harina de chocho. Los diseños de proceso-mezclas son útiles para entender las interacciones que tienen las variables de proceso en las variables de mezclas. Este estudio también provee un enfoque científico en la aceptación general del consumidor, donde el nivel de chocho preferido en la pasta sin gluten es de 20% con una formulación de 30% de huevo y 0,15% de goma guar. Para futuras investigaciones se recomienda realizar un secado de la pasta homogéneo para mejorar la calidad física de la misma.

Referencias

AACC International (2000). Approved methods of the AACC (10th ed.). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists International.

Aguilar-Zárate, P., Aguilar-Zárate, M., Inungaray, M. L. C., & Rivera, O. M. P. (2012). Importancia de la producción de transglutaminasa microbiana para su aplicación en alimentos. *Revista Científica*, 4(8)

AOAC (2000). Official methods of analysis (17th ed.). Gaithersburg, Md: Association of Official Analytical Chemists.

Araya, H., & Lutz, M. (2003). Alimentos funcionales y saludables. *Revista chilena de nutrición*, 30(1), 8-14.

Astaíza, M., Ruíz, L., & Elizalde, A. (2010). Elaboración de Pastas Alimenticias Enriquecidas a Partir de Harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa wild.*) y Zanahoria (*Daucus carota*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 8(1), 43-53.

Carvajal-Larenas, F. E., Van Boekel, M. J. A. S., Koziol, M., Nout, M. J. R., & Linnemann, A. R. (2014). Effect of Processing on the Diffusion of Alkaloids and Quality of *Lupinus mutabilis* Sweet. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1461-1471.

Chango, A., Villaume, C., Bau, H. M., Nicolas, J. P., and Mejean, L. (1993b). Debittering of lupin (*Lupinus luteus* L) protein by calcium alginate and nutritional evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 63: 195-200.

Chirido, F. G., & Arranz, E. (2005). Enfermedad celíaca. Nuevas perspectivas terapéuticas basadas en un mejor conocimiento de su patogenia molecular.

D'Egidio, M. G., Mariani, M. B., Nardi, S., Novaro, P., (1993). Viscoelastograph Measures and Total Organic Matter Test : Suitability in Evaluating Textural Characteristics of Cooked Pasta. *Cereal Chemistry* 70 (1), 67-72.

F.E. Carvajal-Larenas, A.R. Linnemann, M.J.R. Nout, M. Koziol & M.A.J.S. Van Boekel (2015): *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology and Debittering, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1080/10408398.2013.772089

Flores-Silva, P. C., Berrios, J. D. J., Pan, J., Agama-Acevedo, E., Monsalve-González, A., & Bello-Pérez, L. A. (2014). Gluten-free spaghetti with unripe plantain, chickpea and maize: Physicochemical, texture and sensory properties. *CyTA – Journal of Food*. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2014.929178>.

Fu, B. X., Schlichting, L. M., Pozniak, C., Singh, A., 2011. A Fast, Simple and Reliable Method to Predict Pasta Yellowness. *Cereal Chemistry* 88 (3), 264-270.

Gimenez, S., Mentores, M. I., Boerr, L. A., Luna, P., & Mohaidle, A. (2002). Enfermedad Celíaca en el adulto. Prevalencia en una población de riesgo. Estudio descriptivo y retrospectivo de pacientes del Hospital Alemán de Buenos Aires.(*)

Giuberti, G., & Gallo, A. (2014). Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour. *Food Chemistry* , 7

Granito, M., Torres, A., & Guerra, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*, 28(7), 372-379.

Güemes-Vera, N., Peña-Bautista, R. J., Jiménez-Martínez, C., Dávila-Ortiz, G., and Calderón-Domínguez, G. (2008). Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivatives, and effect of these derivatives on bread quality and acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88: 1135-1143.

Guyton, Arthur C. (2006). Tratado de fisiología médica (11 edición). Elsevier España S.A..

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology (Campinas)*, 28(3), 718-726.

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

Jacobsen, S. E., & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los andes centrales*, 28, 458-482.

Jiménez Cadena, J. J. (2013). Diseño del proceso de extrusión para la elaboración de un suplemento nutricional con base en la mezcla amaranto, quinua, chocho y avena (Doctoral dissertation, QUITO/EPN/2013).

Jiménez-Martínez, C., Loarca-Piña, G., and Dávila-Ortíz, G. (2003c). Antimutagenic activity of phenolic compounds, oligosaccharides and quinolizidinic alkaloids from *Lupinus campestris* seeds. *Food Additives and Contaminants*. 20: 940-948.

Juliano, B. O. (1994). El arroz en la nutrición humana (Vol. 26). Food & Agriculture Org..

Karlin, S., Karlin, E., Meiller, T., & Bashirelahi, N. (2016). Dental and Oral Considerations in Pediatric Celiac Disease. *Journal Of Dentistry For Children*, 83(2), 67-70.

Lamacchia, C., Camarca, A., Picascia, S., Di Luccia, A., & Gianfrani, C. (2014). Cereal-based gluten-free food: How to reconcile nutritional and technological properties of wheat proteins with safety for celiac disease patients. *Nutrients*, 6(2), 575-590.

- Laleg, K., Cassan, D., Barron, C., Prabhasankar, P., & Micard, V. (2016). Structural, Culinary, Nutritional and Anti-Nutritional Properties of High Protein, Gluten Free, 100% Legume Pasta. *Plos One*, *11*(9), e0160721. doi:10.1371/journal.pone.0160721
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science & Business Media.
- Lim, J. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food quality and preference*, *22*(8), 733-747.
- Malalgoda, M., & Simsek, S., Celiac disease and cereal proteins, *Food Hydrocolloids* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.024>
- Mestres, C., Colonna, P., Alexandre, M. C., & Matencio, F. (1993). Comparison of various processes for making maize pasta. *Journal of Cereal Science*, *17*(3), 277-290.
- Myers, R., Montgomery, D., Anderson-Cook, C. (2016). *Response Surface Methodology*. Wiley: Hoboken.
- Montgomery, Douglas C. (2012). *Design and Analysis of Experiments, Eighth Edition*. Wiley: VitalBook file.
- Nielsen, S. (2009). *Análisis de los Alimentos*. Zaragoza. Editorial: ACRIBIA, S.A.
- Parada, A., & Araya, M. (2010). El gluten: Su historia y efectos en la enfermedad celíaca. *Revista médica de Chile*, *138*(10), 1319-1325.
- Parra-Medina, R., Molano-Gonzalez, N., Rojas-Villarraga, A., & Anaya, J. M. Prevalencia de enfermedad celiaca en Latinoamérica: revisión sistemática de la literatura y meta-análisis.
- Petterson, D. S. (1998). Composition and food uses of lupins. In: *Lupins as crop plants biology, production and utilization*, pp. 353-384. Gladstones, J. S., Atkins, C. A., and Hamblin, J. (Eds.), CAB INTERNATIONAL, Australia.
- Piwińska, M., Wyrwisz, J., & Wierzbicka, A. (2016). Effect of micronization of high-fiber oat powder and vacuum-drying on pasta quality. *Cyta: Journal Of Food*, *14*(3), 433-439. doi:10.1080/19476337.2015.1123775
- Polowick, P. L., Loukanina, N. N., & Doshi, K. M. (2014). Agrobacterium-mediated transformation of tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), a potential platform for the production of plant-made proteins. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, *50*(4), 401-411.
- Poveda, D., & Vanessa, J. (2015). Desarrollo de un complemento alimenticio proteico vegetal de alto valor biológico, a partir de la combinación de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y chocho (*Lupinus Mutabilis* Sweet), y su aceptabilidad en niños pre-escolares, del Jardín Juan Montalvo de la comunidad de Oyambarillo. Durante los meses de Septiembre-Octubre, 2014(Bachelor's thesis, PUCE).

- Rubio-Tapia, A., Ludvigsson, J. F., Brantner, T. L., Murray, J. A., & Everhart, J. E. (2012). The prevalence of celiac disease in the United States. *The American Journal of Gastroenterology*, 107, 1538e1544. quiz 1537, 1545.
- Sandhu, G. K., Simsek, S., & Manthey, F. A. (2015). Effect of Guar Gum on Processing and Cooking Quality of Nontraditional Pasta. *Journal Of Food Process Engineering*, 38(5), 426-436. doi:10.1111/jfpe.12173
- Sarawong, C., Rodríguez Gutiérrez, Z. C., Berghofer, E., & Schoenlechner, R. (2014) Gluten-free pasta: effect of green plantain flour addition and influence of starch modification on the functional properties and resistant starch content. *International Journal Of Food Science & Technology*, 49(12), 2650-2658. doi:10.1111/ijfs.12599
- Schuppan, D. (2000). Current concepts of celiac disease pathogenesis. *Gastroenterology*, 119, 234e242.
- Tang, C., Hsieh, F., Heymann, H., Hu, H., 1999. Analyzing and Correlating Instrumental and Sensory Data: a Multivariate Study of Physical Properties of Cooked Wheat Noodles. *Journal of Food Quality* 22 (2), 193-211.
- Tarzi, B. G., Shakeri, V., Ghavami, M., 2012. Quality Evaluation of Pasta Enriched With Heated and Unheated Wheat Germ during Storage. *Advances in Environmental Biology* 6 (5), 1700-1707
- Torres, A., Parra, J., Rojas, D., Fernández-Gómez, R., & Valero, Y. (2014). Efecto de la Suplementación de Sémola de Trigo con *Arthrospira Platensis* sobre Calidad, Aceptabilidad y Composición Física y Química de Espaguetis. *Vitae (01214004)*, 21(2), 81-89.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Product Design and Development*. St. Louis, Missouri: McGraw Hill .
- Vernaza, m. g., & Chang, y. k. (2012). Avaliação da adição de goma guar e sal na absorção de água e na qualidade de macarrão instant neo. *Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição*, 23(3).
- Wakeling, I. N., & MacFie, H. J. (1995). Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of k samples from t may be tested. *Food Quality and Preference*, 6(4), 299-308.
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24, 115e119.
- YU, L.J. and NGADI, M.O. 2006. Rheological properties of instant fried noodle dough as affected by some ingredients. *J. Sci. Food Agric.* 86, 544–548.