

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Efectos del enriquecimiento proteico vegetal sobre las propiedades de la pasta sin gluten a base de harinas de cultivos andinos y almidones.

**María Emilia Meneses Gallardo
Pamela Salomé Sevilla Garzón
Gustavo Andrés Venegas Rivadeneira**

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado
como requisito para la obtención del
título de
Ingeniero/a en Alimentos

Quito, 14 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Efectos del enriquecimiento con proteína vegetal sobre las propiedades de la pasta fresca libre de gluten a base de cereales de cultivos andinos.

**María Emilia Meneses Gallardo
Pamela Salomé Sevilla Garzón
Gustavo Andrés Venegas Rivadeneira**

Nombre del profesor, Título académico

María Gabriela Vernaza Leoro, Ph.D.

Quito, 14 de diciembre de 2022

© 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 la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: María Emilia Meneses Gallardo
Código: 00206518
Cédula de identidad: 1725261935
Lugar y fecha: Quito, 14 de diciembre de 2022

Nombres y apellidos: Pamela Salomé Sevilla Garzón
Código: 00201284
Cédula de identidad: 1722638176
Lugar y fecha: Quito, 14 de diciembre de
2022

Nombres y apellidos: Gustavo Andrés Venegas Rivadeneira
Código: 00215988
Cédula de identidad: 1725082588
Lugar y fecha: Quito, 14 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Se llevó a cabo un diseño de mezclas con el objetivo de analizar los efectos que tiene el reemplazo del almidón de maíz (AM) por almidón de papa pregelatinizado (APP), harina de arroz (HA) por harina de maíz morado (HMM) y enriquecer con proteína vegetal (PA). Se caracterizó la pasta en función de aumento de peso, tiempo de cocción, pérdida de sólidos y se realizó un análisis proximal de la misma. Asimismo, se ejecutó una evaluación sensorial en el que se analizó atributos de color, sabor, textura, olor y gusto global. La formulación optimizada presentó una sustitución de 2,5% con APP y enriquecimiento con 15,0% de PA. Los parámetros que presentaron una diferencia significativa fueron: la disminución del 27.13% en la pérdida de sólidos, 49.71% en el aumento de peso y un incremento de 8.60% en la cantidad de proteínas. A nivel sensorial hubo diferencia significativa en atributos de textura y color, pero la pasta optimizada tuvo aceptación general por parte del consumidor.

Palabras clave: almidón de maíz, almidón de papa pregelatinizada, harina de maíz morado, harina de arroz, proteína de arroz, goma xantana, extrusor.

ABSTRACT

A mixture design was carried out with the objective of analyzing the effects of replacing corn starch (AM) with pregelatinized potato starch (APP), rice flour (HA) with purple corn flour (HMM) and Enrich with vegetable protein (PA). The pasta was characterized based on weight gain, cooking time, loss of solids, and a proximal analysis of the pasta was performed. Likewise, a sensory evaluation was carried out in which attributes of color, flavor, texture, smell and global taste were analyzed. The optimized formulation presented a substitution of 2,5% with APP and enrichment with 15,0% of PA. The parameters that presented a significant difference were: a 27.13% decrease in the loss of solids, a 49.71% increase in weight, a 3.66% increase in humidity, and an increase of 8.60% in the amount of proteins. The sensory analysis shows that there is a significant difference in terms of texture and color attributes, however, it was identified a general acceptance for the optimized treatment.

Key words: starch corn, pregelatinized potato starch, purple corn flour, rice flour, rice protein, xanthan gum, extruder.

Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Antecedentes:.....	10
1.2 Justificación:	12
1.3 Objetivos	14
1.3.2 Objetivos Específicos:	14
2. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Localización.....	16
2.2 Materia prima.....	16
2.2.1 Harina de maíz morado	16
2.2.2 Harina de arroz.....	16
2.2.3 Almidón de papa pregelatinizado	16
2.2.4 Almidón de maíz.....	16
2.2.5 Proteína de arroz	16
2.3 Elaboración de la pasta	17
2.4 Diseño experimental	18
2.5 Caracterización de la pasta.....	19
2.7 Análisis sensorial	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1 Caracterización de la pasta.....	22
3.1.1 Aumento de peso.....	23
3.1.2 Pérdida de sólidos	26
3.1.3 Porcentaje de proteína.....	29
3.2 Optimización.....	31
3.2.1 Caracterización optimización.....	33
3.2.2 Análisis proximal optimización	34
3.3 Etiqueta	35
3.4 Evaluación sensorial	37
CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXO A: CUESTIONARIO EVALUACIÓN SENSORIAL.....	44
ANEXO B: CONSENTIMIENTO INFORMADO	45
ANEXO C: TABLAS DE ANOVA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Codificación de las 12 formulaciones.....	17
Tabla 2 Formulación para cada corrida experimental.....	18
Tabla 3. Variables de entrada.....	19
Tabla 4. Metodologías empleadas para el análisis proximal y el de sodio de pasta fresca...	20
Tabla 5. Resultados de aumento de peso, tiempo de cocción, pérdida de sólidos totales y porcentaje de proteína de las muestras de pasta libres de gluten	22
Tabla 6. ANOVA del ajuste general del modelo para el aumento de peso.....	24
Tabla 7. ANOVA sobre el ajuste general del modelo para la pérdida de sólidos.....	27
Tabla 8. ANOVA sobre ajuste general del modelo para el porcentaje de proteína	30
Tabla 9. Función de deseabilidad utilizada en la formulación optimizada.....	32
Tabla 10. Resultados de aumento de peso, tiempo de cocción y pérdida de sólidos totales de la muestra de control y optimizada de los fideos libres de gluten con proteína	33
Tabla 11. Composición proximal de la muestra de control y optimizada de pasta libre de gluten.....	34
Tabla 12. Resultados de la evaluación sensorial.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de contorno del aumento de peso	24
Figura 2. Curva de contorno de la pérdida de sólidos totales	27
Figura 3. Gráfico de contorno del porcentaje de proteína	30
Figura 4. Tabla nutricional de la formulación óptima de pasta libre de gluten.	35
Figura 5. Tabla nutricional de la formulación control de pasta libre de gluten.	36
Figura 6. Semáforo de la formulación óptima de pasta libre de gluten.	36
Figura 7. Semáforo de la formulación control de pasta libre de gluten	37

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes:

La pasta es uno de los alimentos más populares a nivel mundial por su versatilidad, conveniencia, accesibilidad, fácil preparación, y propiedades nutricionales. Es consumido ampliamente por parte de la población debido al fácil acceso de carbohidratos, su bajo contenido de grasas, sodio y su bajo aporte de glucosa en la sangre (Baah, Duodu y Emmambux, 2022). Sin embargo, cada vez son más veces las personas preocupadas por consumir productos más saludables que permitan prevenir enfermedades y a su vez mejorar su bienestar físico y mental (Mejía & Posada, 2020).

Hoy en día, existe una tendencia a nivel mundial que asocia los productos saludables con los alimentos libres de gluten. Se pueden hallar una gran variedad de productos incluyendo a las pastas (Mejía & Posada, 2020). No obstante, aún sigue siendo desafiante reemplazar el gluten, ya que es el componente responsable de la elasticidad y baja adherencia característica de las pastas (López et al., 2019). El desarrollo de productos que evitan el uso de harinas de trigo, avena, centeno y cebada han hecho que se busquen otras materias primas para la elaboración de pasta como harinas de amaranto, fréjol, arroz, maíz, yuca, papa, etc. Por estas razones se ha popularizado el uso de almidones, gomas, e hidrocoloides (Milde et al. 2020).

De esta manera, y en busca de nuevas materias primas para la elaboración de pasta libre de gluten en los países andinos, se presentan cultivos funcionales como, el maíz morado (*Zea Mays L.*). Cultivado en la sierra ecuatoriana y que desde hace miles de años ha sido utilizado como alimento por las civilizaciones indígenas. El color característico del maíz se debe a la presencia de pigmentos denominados antocianinas, y está compuesto por grasas, resinas, saponinas, azufre, sodio, fósforo y ácido salicílico (Guillén-Sánchez, et al, 2014). Actualmente, su principal uso en la industria es la harina para la elaboración de distintos productos como

galletas, pan, jugos, entre otros. Otro de los cultivos andinos tradicionales es el chocho o soya andina (*Lupinus mutabilis Sweet*). Es rico en lisina, pero también contiene fibra, hierro, minerales y no contiene gluten. No es un cultivo exigente por lo que no requiere una inversión económica alta y logra adaptarse a suelos arenosos y erosionados (Quilca, 2020). Uno de sus derivados, la harina de chocho sigue siendo altamente nutritiva y a nivel tecnológico funciona como emulsionante debido a su contenido de lecitina. La harina de chocho está compuesta por 44,8% de proteína, 26,3% de grasa, 9% de fibra y 2,1% de cenizas (Carvajal, 2019). No obstante, la toxicidad y el sabor amargo del grano dependen de su contenido de alcaloides, los cuales se deben extraer por medio de un lavado o remojo (Quilca, 2020).

Si bien las proteínas del gluten juegan un papel importante en la pasta a base de sémola, los almidones son componentes de las pastas libres de gluten capaces de reorganizar la estructura macromolecular de manera eficaz dando una textura similar a la pasta con gluten (Baah et al., 2022). Por ejemplo, la fécula de patata tiene una mejor gelificación, espesamiento, estabilización y gelatinización, además de que aporta firmeza al producto (Dalbhagat, Mahato y Mishra, 2019). El papel estructurante del almidón está relacionado a la tendencia de las macromoléculas a reasociarse e interactuar después de la gelatinización, retardando el hinchamiento, y la solubilización del almidón en la cocción. Las estructuras formadas por amilosa están presentes en forma retrogradada y el buen comportamiento de cocción se atribuye a estas redes principalmente. El rol de gluten se puede reemplazar si se usan almidones y harinas tratados química, enzimática o térmicamente, o, al adoptar procesos para realizar pastas no convencionales para inducir nuevos arreglos moleculares (Romano et al., 2021). Actualmente, las harinas se utilizan más que los almidones, para evitar el paso costoso de extracción de almidón de los granos, por lo que las harinas permiten explotar las interacciones entre los almidones y otros componentes como las proteínas y los lípidos (Romano et al., 2021).

La firmeza de la pasta y la calidad de cocción también dependerán del proceso de extrusión que sea aplicado. La extrusora de un solo tornillo (SSE) contiene un solo tornillo giratorio, donde el material es transportado a la sección de transición donde el tornillo es menos profundo y la materia prima puede compactarse (Dalbhagat, Mahato y Mishra, 2019). La temperatura del producto aumenta por la fricción entre la superficie del cilindro y los gránulos de alimentación, esto hace que el empaquetamiento del material se vuelva más apretado; de esta manera se obtiene la pasta al final de la extrusión (Dalbhagat, Mahato y Mishra, 2019).

Además de los emulsionantes e hidrocoloides, las proteínas añadidas pueden ser ingredientes estructurantes para la producción de pasta sin gluten, y brindan beneficios nutricionales. Comúnmente se usan proteínas de leche o huevo en las formulaciones para mejorar las características de la pasta, y proteína vegetal como lo son la de soya y arveja (Kim et al., 2022). No obstante, esta clase de proteínas suelen ser alergénicas. A diferencia de estas, la proteína de arroz puede ser una fuente excelente con altas propiedades nutricionales relacionadas con la salud como aminoácidos equilibrados, efectos hipocolesterolémicos, etc. (Bolarinwa y Oyesiji., 2021). La proteína de arroz contiene lisina con una composición de aminoácidos de alta calidad, favorable para el consumo humano. Este tipo de proteínas han sido recomendadas como un sustituto para niños y adultos mayores (Detchewa et al., 2022). Con esta premisa, el objetivo es determinar el efecto que tiene la adición de proteína de arroz y el uso de almidón de papa pregelatinizado, así como de maíz morado.

1.2 Justificación:

Uno de los grandes problemas a nivel mundial es el hambre y la desnutrición. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, cerca de 800 millones de personas pasan hambre en el mundo (FAO, 2020). Su dieta está constituida principalmente por el consumo de carbohidratos, ya que muchas veces el acceso a alimentos

como la carne, el pollo o el pescado, que son principales fuentes de proteína, puede ser muy limitado y costoso (Noboa, 2022). Estas situaciones afectan directamente al desarrollo y crecimiento normal de las personas a nivel mundial (UNICEF, 2022). Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar alimentos de alto consumo y fortificados, como fuentes de alto valor proteico y vitamínico.

Por otro lado, la enfermedad celíaca es un problema global que afecta al 1% de la población mundial (Malalghoda & Simsek, 2016). Esta enfermedad es un desorden autoinmune que daña el revestimiento del intestino como reacción a la intolerancia al gluten, generando una mala absorción de nutrientes. El proceso de inflamación del intestino delgado puede producir aplanamiento de las vellosidades intestinales, hiperplasia de las criptas e inflamación del epitelio por linfocitos que pueden experimentar un desarrollo de células malignas (Espinel, Peña & Serrano, 2022). Por lo mencionado, las personas celíacas pueden padecer de desnutrición. A pesar de todos los estudios, el único tratamiento eficaz es eliminar el gluten de la dieta diaria. Motivo por el cual en la industria de alimentos se busca desarrollar productos que puedan satisfacer las necesidades de las personas celíacas (Albuja et al., 2019).

En la actualidad, los productos sin gluten tienen un bajo nivel nutricional y se componen principalmente de harinas de arroz y maíz. Sin embargo, existen una gran variedad de harinas vegetales que se pueden emplear para enriquecer nutricionalmente productos libres de gluten. Ecuador es un país agrícola donde se cultivan una gran variedad de productos como el maíz, el chocho, la papa y el arroz. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el 2020 se sembraron alrededor de 74 mil hectáreas de maíz; la gran mayoría de agricultores de maíz pertenecen a la agricultura familiar campesina (AFC), que tienen menos de 2 hectáreas y sus recursos económicos son limitados. Una de las variedades más llamativas es el maíz morado. Aunque su cultivo en el país ha tomado fuerza durante los últimos años, es poco

aprovechado. Por lo tanto, si se aumenta significativamente la demanda del cultivo de esta variedad de maíz en el país a través del desarrollo de productos con este tipo de materia prima, se puede generar un impacto económico y social positivo que beneficie a miles de personas dedicadas a la agricultura. Según los datos de la ficha técnica de INIAP199 - Maíz Negro (2019), la producción de harina de maíz morado es una actividad rentable que puede generar grandes ingresos. Se estima que el costo unitario de harina de maíz negro es 0,80 USD/kg y el P.V.P. en el mercado es de 1,60 USD/kg (Yanez et al., 2019).

Asimismo, el uso de diversas materias primas que incluyen variedad de cultivos de cereales y tubérculos el maíz morado, chocho, arroz, papa y maíz amarillo para la elaboración de nuevos productos, puede generar un impacto positivo en el medio ambiente. La demanda de diferentes materias primas incentiva el cultivo de múltiples alimentos y disminuye problemas de monocultivo que afectan directamente a la biodiversidad. En base a diversos estudios, el cultivo de una o dos especies causa un desgaste del suelo, quitándole nutrientes y dejando indefenso ante plagas, malas hierbas y enfermedades (Truitt, 2019).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar el efecto del enriquecimiento con proteína vegetal en la mezcla de harinas (lupino, arroz y maíz) y almidones en las características de la pasta libre de gluten.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Optimizar los tratamientos usando un diseño de mezclas con superficie de respuesta al reemplazar el porcentaje de harina de arroz por harina de maíz morado, almidón de maíz por almidón de papa pregelatinizado y proteína vegetal.
- Evaluar el comportamiento de la proteína de arroz en la elaboración de pasta libre de gluten y

el aporte final en el porcentaje de proteína de la pasta.

- Analizar el efecto de la adición de almidón de papa pregelatinizado la estabilidad de la pasta, y las características que se atribuyen a los almidones en pastas libres de gluten como lo son la pérdida de cocción y la absorción de agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

El estudio fue realizado en la ciudad de Quito (Pichincha) con una temperatura promedio de 20 °C, humedad relativa de 77% y a 2850m de altura. El mezclado se realizó en la cocina experimental y la extrusión en la planta de la Universidad San Francisco de Quito, Cumbayá.

2.2 Materia prima

2.2.1 Harina de maíz morado

Se utilizó harina de maíz morado de la marca La Pradera, que se adquirió en el supermercado y cuyas especificaciones son: 2g/30g de proteína, 1g/30 g de grasa y 23 g/30 g de carbohidratos.

2.2.2 Harina de arroz

Se utilizó harina de arroz de la marca La pastora, que se adquirió en el supermercado y cuyas especificaciones son: 0,056 g/50 g de proteína, 0,3g/50 g de grasa y 40,8g/50 g de carbohidratos.

2.2.3 Almidón de papa pregelatinizado

Se utilizó almidón de papa pregelatinizado (Emjel EP 820) que se adquirió en la empresa INNOVAPEC. Su ficha técnica específica 7% de humedad, un pH de 6,50 y 1% de cenizas.

2.2.4 Almidón de maíz

Se utilizó almidón de maíz, marca La Original, que se adquirió en el supermercado cuyas especificaciones son: 3g/25g de proteína, 0g/25g de grasa y 18 g/25g de carbohidratos.

2.2.5 Proteína de arroz

Se utilizó proteína de arroz que se adquirió en la empresa INNOVAPEC, con el

nombre de Proteína de Arroz al 80%, especificando en su ficha técnica: 83,4g/100g de proteína, 6,10g/100 g de grasa, 1,9g/100 g de carbohidratos y 0,138g/100 g de sal.

2.3 Elaboración de la pasta

Se elaboró pasta a partir de una formulación base constituida por 42.8% almidón de maíz, 11.55% de harina de arroz, 3.8% de harina de chocho, 2.5% de goma xanthan, 1% de NaCl, 35.5% de agua y 2.8% de aceite de girasol. A continuación, se optimizó la fórmula reemplazando proteína de arroz al 80% y almidón de papa pregelatinizado por el almidón de maíz y la harina de arroz por harina de maíz morado. En la tabla 1. se puede observar la codificación de las cantidades

Tabla 1 Codificación de las 12 formulaciones.

Corrida	Ensayo	Niveles codificados		
		Harina de maíz morado (X ₁)	Almidón de papa pregelatinizado (X ₂)	Proteína de arroz (X ₃)
4	1	1	0	0
1	2	0	1	0
2	3	0	0	1
7	4	0.5	0.5	0
5	5	0.5	0	0.5
10	6	0	0.5	0.5
8	7	0.6667	0.1667	0.1667
12	8	0.1667	0.6667	0.1667
11	9	0.1667	0.1667	0.6667
3	10	0.3333	0.3333	0.3333
6	11	0.3333	0.3333	0.3333
9	12	0.3333	0.3333	0.3333

Para la elaboración de las distintas formulaciones de pasta se utilizó una balanza para

pesar todos los ingredientes. Primero, se colocaron los ingredientes secos (harinas, almidón, proteína, sal y goma xanthan) en la mezcladora (Hobart 5-Quart Mixer) y se mezcló por un minuto con la potencia más baja, es decir en el nivel 1. Segundo, se incorporó el aceite y se mezcló por 1 minuto con la misma potencia. Tercero, se agregó el agua y se mezcló por 6 minutos. Una vez que se formó la masa, se llevó al equipo extrusor en frío y se procedió con la formación de la pasta en forma de cilindros. Se prepararon 500 g de muestra para cada corrida experimental, de acuerdo con el diseño experimental aplicado (Tabla 2).

Tabla 2 Formulación para cada corrida experimental

Corrida	Harina de arroz [%]	Harina de maíz morado (X _i) [%]	Almidón de maíz [%]	Almidón de papa pregelatinizado (X _i) [%]	Proteína de arroz (X _i) [%]
1	11,55	0,00	32,80	10,00	0,00
2	11,55	0,00	22,80	0,00	20,00
3	7,70	3,85	32,80	3,33	6,67
4	0,00	11,55	42,80	0,00	0,00
5	5,78	5,78	32,80	0,00	10,00
6	7,70	3,85	32,80	3,33	6,67
7	5,78	5,78	37,80	5,00	0,00
8	3,85	7,70	37,80	1,67	3,33
9	7,70	3,85	32,80	3,33	6,67
10	11,55	0,00	27,80	5,00	10,00
11	9,62	1,93	27,80	1,67	13,33
12	9,62	1,93	32,80	6,67	3,33

2.4 Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental de mezclas. Para el diseño experimental se tienen variables independientes (x1: harina de maíz morado, x2: almidón de papa pregelatinizado y

x3: proteína de arroz), como se puede observar en la Tabla 3 con sus respectivos niveles. Se realizaron 12 corridas y fueron elaboradas de forma aleatoria para evitar errores sistemáticos. Las variables de salida o respuestas de interés fueron el contenido de proteína (maximizar), el tiempo de cocción (minimizar), la pérdida de sólidos (minimizar) y el aumento de peso (maximizar). Una vez realizados los análisis de las diferentes corridas, los resultados del experimento fueron analizados, utilizando el software estadístico Statistica. De esa forma, se obtuvo la formulación óptima, al ser modeladas las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla y al ser analizado cuál de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tiene mayor influencia sobre las respuestas de interés.

Tabla 3. Variables de entrada

Factores	Niveles	
	-1	+1
Harina de maíz morado (X_1) [%]	0	11,55
Almidón de papa pregelatinizado (X_2) [%]	0	10,00
Proteína de arroz (X_3) [%]	0	20,00

2.5 Caracterización de la pasta

Los siguientes análisis fueron realizados por duplicado.

2.5.1 Tiempo de cocción

El tiempo óptimo de cocción de la pasta fue obtenido por duplicado de acuerdo con el método internacional aprobado de la AACC 66-50.01. Se tomaron 20 gramos de pasta en 300 mL de agua destilada. El tiempo se registró cuando las partículas blancas de la pasta sin cocinar

desaparecían al comprimirlas con dos superficies transparentes cada 30 segundos.

2.5.2 Aumento de peso de la pasta

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 20 gramos de pasta con 300 mL de agua destilada hasta su punto óptimo de cocción. La pasta fue drenada por 30 segundos, se obtuvo el valor de hidratación de agua según la ecuación (1):

$$\text{Aumento de peso (\%)} = \frac{(\text{Peso de la pasta cocinada [g]} - \text{peso de la pasta cruda [g]})}{\text{Peso de la pasta cruda [g]}} \times 100 \quad (1)$$

2.5.3 Pérdida de sólidos totales

La pérdida de sólidos fue determinada por duplicado de acuerdo al método internacional aprobado de la AACC 66-50.01, con algunas modificaciones. Se tomó una alícuota de 25 mL del agua utilizada durante la cocción y se evaporó en la estufa a 105°C hasta alcanzar el peso constante. El porcentaje de sólidos perdidos se calcula con la ecuación (2):

$$\text{Pérdida de sólidos (\%)} = \frac{\text{peso del residuo evaporado (g)} \times \text{volumen agua de cocción (mL)}}{\text{peso de la muestra (g)} \times \text{volumen de la alícuota (mL)}} \times 100 \quad (2)$$

2.6 Análisis proximal de pasta

Las pastas obtenidas fueron analizadas siguiendo cada una de las metodologías que se detallan en la Tabla 4, por duplicado.

Tabla 4. Metodologías empleadas para el análisis proximal y el de sodio de pasta fresca

Análisis	Método
Humedad	Estufa, AOAC 926.07
Grasa	Soxhlet, AOAC 920.39
Proteína	Kjeldahl, AOAC 991.20
Cenizas	Mufla, AOAC, 925.11
Carbohidratos	Por diferencia.
Sodio	Mohr.

2.7 Análisis sensorial

La prueba sensorial se realizó con la muestra de pasta optimizada y una muestra control. Se condujo una prueba de aceptación por atributos con 60 panelistas no entrenados, entre las edades de 17-58 años (30 mujeres y 30 hombres). En un vaso transparente se colocaron 10 g de pasta libre de gluten, con forma de espagueti y cocinada con sal (0,7%). Las muestras fueron servidas a 30°C.

Se realizó una prueba de aceptación por atributos con una escala hedónica de 7 puntos (7 “me gusta extremadamente” y 1 “me disgusta extremadamente”). Por lo tanto, el panelista colocó el número que mejor describió a la muestra por su color, sabor, olor, textura y apariencia global. La prueba se desarrolló el miércoles 7 de diciembre del 2022 entre las 14h00 y 16h00, en el aula de evaluación sensorial de la Universidad San Francisco de Quito. Se presentó a cada panelista en platos blancos de poliestireno expandido, dos muestras codificadas con un número aleatorio de 3 dígitos (control 431 y óptima 897), un tenedor pequeño transparente de plástico, un vaso con agua, una servilleta, el cuestionario (Anexo A), el consentimiento informado (Anexo B) y un bolígrafo.

Mediante un ANOVA se determinó la aceptabilidad del producto óptimo y del control, con un nivel de significancia ($\alpha=0.05$) en el software Minitab 17. (Anexo C).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la pasta

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las 12 formulaciones en el orden de corridas establecidas anteriormente (Tabla 1). Se analizó el aumento de peso, tiempo de cocción y pérdida de sólidos. A continuación, se describen cada uno de los parámetros analizados.

Tabla 5. Resultados de aumento de peso, tiempo de cocción, pérdida de sólidos totales y porcentaje de proteína de las muestras de pasta libres de gluten

Corrida	Aumento de peso [%]	Tiempo de cocción [min]	Pérdida de sólidos [%]	Proteína [%]
1	123,2	5,10	11,1	3,20
2	68,7	23,5	22,1	21,4
3	156,3	7,46	12,4	9,60
4	171,1	5,40	10,8	2,90
5	144,6	7,30	14,3	12,3
6	161,7	13,0	12,4	9,40
7	137,7	5,06	10,8	3,10
8	133,2	9,00	14,6	5,60
9	144,6	8,51	11,5	9,00
10	137,5	8,30	12,4	11,6
11	114,9	10,4	15,0	15,2
12	120,2	5,15	11,9	6,60

De los resultados de la Tabla 5, se puede decir que el tiempo de cocción aumenta para las corridas con mayor cantidad de proteína, mientras que disminuye para las corridas que tienen mayor cantidad de almidón de papa pregelatinizado. Corroborando el resultado obtenido sobre el almidón de papa pregelatinizado, un estudio menciona que los almidones modificados físicamente tienen cortos tiempos de cocción (Hedayati et al., 2020). No obstante, una vez analizado los resultados por medio de la metodología de superficie de respuesta (diseño de mezclas) se obtuvo la ecuación matemática, el ajuste del modelo y el gráfico de contorno de cada variable de salida, para así obtener el modelo matemático que las optimice.

3.1.1 Aumento de peso

A continuación, se encuentra el modelo matemático del aumento de peso, el cual se puede observar en la ecuación (3). Este modelo matemático cuenta con un R^2 original de 0,83 y un R^2 ajustado (una vez que se eliminaron los factores no significativos) de 0,73.

$$AP = 162,1074 x_1 + 115,6740x_2 + 68,6052x_3 + 172,1652 x_2x_3 \quad (3)$$

Donde,

$$\begin{aligned} AP &= \text{Aumento de peso (\%)} \\ x_1 &= \text{Harina de maíz morado} \\ x_2 &= \text{Almidón de papa pregelatinizado} \\ x_3 &= \text{Proteína de arroz} \end{aligned}$$

En base al modelo matemático (ecuación 3), es posible observar que el aumento de peso no es afectado significativamente por la interacción de harina de maíz morado y proteína de arroz. Las variables presentes y la interacción entre el almidón de papa y proteína de arroz afectan significativamente al aumento de peso, por lo que se encuentran presentes en el modelo.

Tabla 6. ANOVA del ajuste general del modelo para el aumento de peso

Recurso	SS	df	MS	F	p
Modelo	6475,236	4	1618,809	8,424133	0,008227
Error total	1345,143	7	192,163		
Falta de ajuste	1192,651	5	238,530	3,128435	0,259777
Error puro	152,492	2	76,246		
Total ajustado	7820,379	11	710,944		

La Tabla 6 muestra el ajuste general del modelo matemático para el aumento de peso, mostrando que no carece una falta de ajuste, al ser el p mayor a 0,05. Mientras, que el modelo matemático si es significativo, dado que el valor de p es menor al 0,05. A continuación, se puede observar la curva de contorno para el aumento de peso.

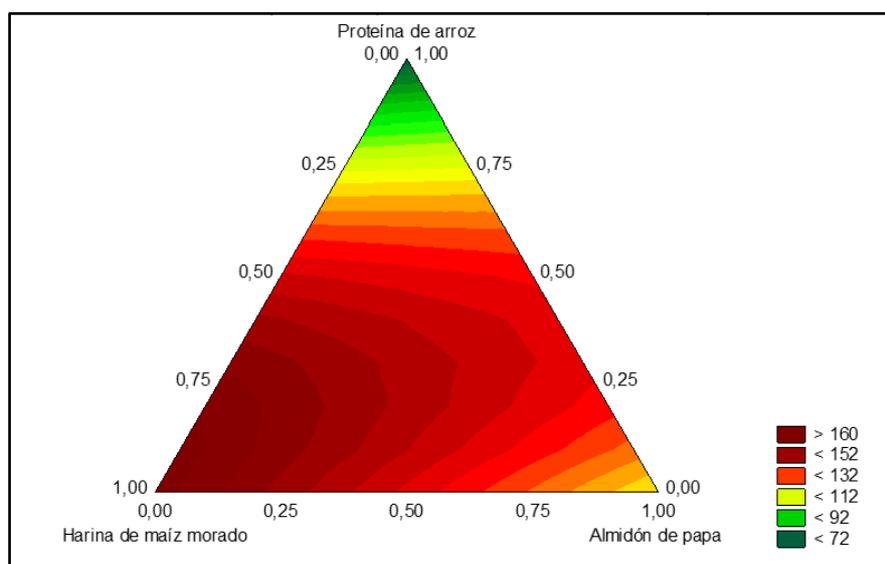


Figura 1. Curva de contorno del aumento de peso

En la figura 1 se observa que el aumento de peso en los fideos se incrementa a medida que la harina de maíz morado también, siendo esta la región óptima (>160%). En cambio, si se enriquece a los fideos con proteína de arroz, la variable de aumento de peso disminuye significativamente, siendo menor a 72%. Así mismo, se puede observar que la harina de maíz

morado es la variable independiente que más absorbió agua durante la cocción, contribuyendo así al aumento de peso, debido a que este cereal es alto en almidón y se gelatiniza con facilidad (De Arcangelis et al., 2020). La gelatinización del almidón ocurre cuando es sometido a un tratamiento hidrotérmico y por consecuencia absorbe agua hasta que los gránulos hinchados se rompen y forman un gel, aumentando así la viscosidad.

Igualmente, la gelatinización depende de la relación de amilosa y amilopectina. Entre más amilosa exista más agua podrá ser absorbida por las partes amorfas del almidón durante la gelatinización (Shevkani et al., 2016). También, los granos de maíz morado, al ser procesados y triturados para ser convertidos en harina, poseerán mayor contenido de almidón dañado; hay una mejor hidratación del almidón. El tratamiento que se realiza a las harinas de maíz morado hace que exista una mayor exposición de la superficie, de amilosa/amilopectina molecular y otros lugares donde se puede ligar el agua por lo que la absorción de agua incrementa (Guo et al., 2021). El estudio de De Arcangelis et al. (2020), destaca que el largo de las cadenas de amilopectina también afecta en la absorción de agua, donde las cadenas más cortas de amilopectina, del almidón de trigo sarraceno, causaron una disminución de la temperatura de gelatinización. La amilosa en los fideos de maíz es el componente responsable de su textura después de la cocción. El almidón presente en la harina de maíz con contenidos de amilosa entre 26-28%, se encontró exitosamente útil para la producción de fideos de tipo bihon (Marti y Pagani, 2013). En el caso del maíz morado, el contenido de amilosa es de 26,09%, y 73,91% de amilopectina (Erazo, 2021). Por otro lado también, los productos que han pasado por un proceso de extrusión poseerán un contenido de amilos mayor, y por ende el índice de absorción de agua y el aumento de peso también incrementa (Dalbhagat, Mahato y Mishra, 2019). No obstante, también se encontró que el maíz azul y el maíz morado tienen menor contenido de almidón (63,4% y 66,5%) en comparación con el maíz amarillo cuyo contenido de almidón es

alrededor del 75,2%, probablemente a causa de la dificultad de extraer almidón ya que el porcentaje de proteína es mayor en estos maíces pigmentados (Salvador y Clerici, 2020).

Así mismo, se nota que el almidón de papa pregelatinizado contribuye con el aumento de peso de los fideos, al tener un aumento de peso entre 113% y 132%. Sin embargo, a medida que la cantidad de almidón pregelatinizado se incrementa existe una reducción en el aumento de peso. Los almidones pregelatinizados ayudan a que el almidón pueda absorber agua a temperatura ambiente más rápido y que esta sea mayor, al igual que su viscosidad (Hendayati et al., 2020). Los estudios de Kolaric et al. (2020) de pasta enriquecida con almidón de papa, identificaron un incremento en el peso entre el 10 y el 20%, justamente realizando un reemplazo de hasta el 10%.

Según Teterycz et al. (2020), en su estudio y en otros varios, una absorción de agua decreciente y un aumento de peso menor se registran para pasta con alto contenido de proteína (con adiciones de harina de leguminosas, concentrados e aislados de proteína, etc.) este factor es determinante en la firmeza y la apariencia de los productos.

3.1.2 Pérdida de sólidos

Con la ayuda del programa Statistica, se obtuvo el modelo matemático de la pérdida de sólidos, el cual se muestra en la fórmula (4). Este modelo matemático cuenta con un R^2 original de 0,88 y un R^2 ajustado de 0,83.

$$PS = 10,8589 x_1 + 11,1719x_2 + 21,5656x_3 - 16,9994x_2x_3 \quad (4)$$

Donde,

$$\begin{aligned} PS &= \text{Pérdida de sólidos (\%)} \\ x_1 &= \text{Harina de maíz morado} \\ x_2 &= \text{Almidón de papa pregelatinizado} \\ x_3 &= \text{Proteína de arroz} \end{aligned}$$

En base a los resultados de la ecuación (4) es posible observar que todas las variables y la interacción entre el almidón de papa pregelatinizado y proteína de arroz afectan significativamente a la pérdida de sólidos.

Tabla 7. ANOVA sobre el ajuste general del modelo para la pérdida de sólidos.

Recurso	SS	df	MS	F	p
Modelo	109,9618	3	36,65392	18,95425	0,000541
Error total	15,4705	8	1,93381		
Falta de ajuste	15,0174	6	2,50289	11,04729	0,085320
Error puro	0,4531	2	0,22656		
Total ajustado	125,4322	11	11,40293		

La Tabla 7 muestra el ajuste general del modelo matemático para el aumento de peso y se identifica que no carece de falta de ajuste, al ser el p mayor a 0,05. Mientras, que el modelo matemático si es significativo, dado que el valor de p es menor al 0,05. A continuación, se puede observar la curva de contorno para la pérdida de sólidos totales.

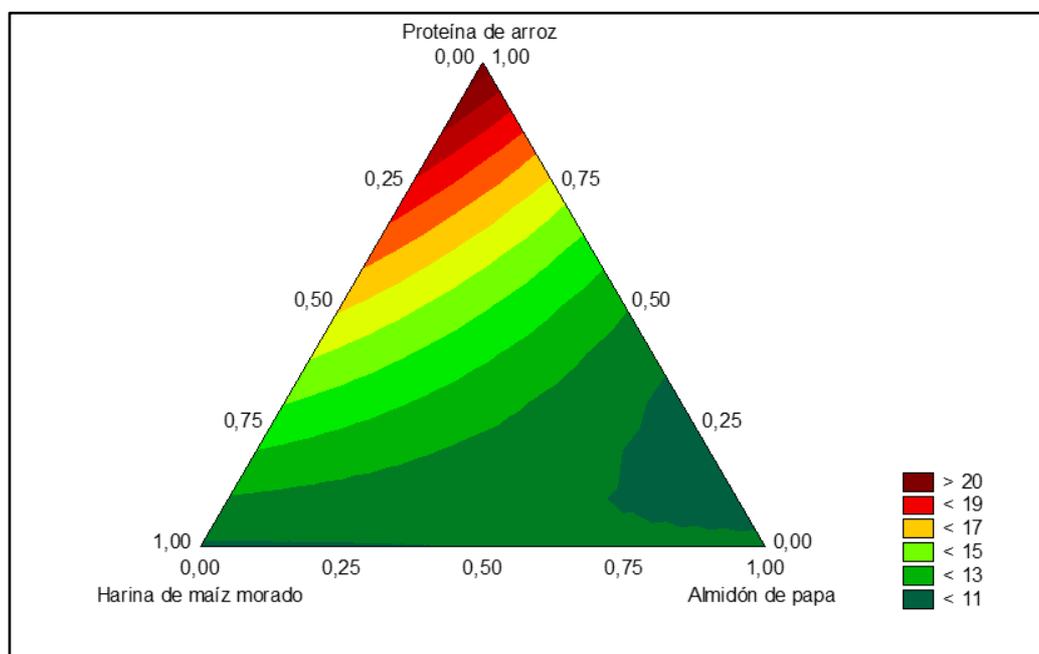


Figura 2. Curva de contorno de la pérdida de sólidos totales

En la Figura 2 se observa que la pérdida de sólidos disminuye a medida que la cantidad

de proteína de arroz se reduce, por lo que la mayor cantidad de proteína refleja una pérdida de sólidos totales mayor a 20%. Según el estudio de Phongthai et al., las proteínas de arroz influyen en la existencia de una mayor pérdida de sólidos cuando son introducidas a la pasta (2017). La menor pérdida de sólidos ocurre con el almidón de papa pregelatinizado, al ser esta pérdida menor a 11%. A causa de la falta de red de gluten, la pérdida de sólidos de fideos de almidón de papa, conducen a atributos sensoriales y de textura desagradables (Kolaric, 2020). Es por esta razón que se ha decidido usar almidón de papa pregelatinizado. Según los estudios de Yang et al. (2022), el almidón de papa pregelatinizado actúa como una pasta ligante que permite que la pérdida de sólidos se reduzca. No obstante, se observa que, en el vértice del almidón de papa pregelatinizado de la curva de contorno, no se encuentra la pérdida de sólidos más baja, lo cual puede deberse a que el almidón de papa fue pregelatinizado con método químico de esterificación (acetilación) por lo que sí tiene un grado de solubilidad. Un estudio menciona que la solubilidad del almidón pregelatinizado de maíz y papa es mayor que el almidón nativo de maíz y papa (Kankate et al., 2020).

Sin embargo, como punto positivo de la acetilación del almidón, esta contribuye a la reorganización estructural debido al impedimento estérico. Retarda la producción de estructuras ordenadas y retrasa la retrogradación. Los almidones con grupos acetilo son menos propensos a sufrir daños en la textura. Poseen baja temperatura de gelatinización y buena cocción cuando se usan en la preparación de los fideos (Obadi y Xu, 2021). Una pérdida alta por cocción no es deseable ya que representa que el almidón tiene una solubilidad alta, dando como resultado pasta con una sensación pegajosa en la boca. A pesar de que, la combinación de la gelatinización del almidón, y la desnaturalización de las proteínas produce una estructura compacta que aumenta la firmeza de la pasta, existen otros compuestos que pueden afectar

dicha estructura (Gao et al., 2018). Los almidones de papa tienen un contenido alto de fibra y almidón resistente (RS) (Akhila et al., 2022; Kolaric et al. (2019). En estudios de Baah, Duodo y Emambux (2022), presentan una pérdida de sólidos relativamente alta cuando reemplazan parte de su formulación a base de harina de maíz, con harina de camote; la cantidad de fibra puede alterar la matriz compacta entre proteína y almidón causando debilidad en su estructura y mayor grado de solubilización. También, Camelo, Tovar y Bello (2018), encontraron que en la pasta que elaboraron, el maíz azul aumentaba el contenido de fibra dietética de almidón resistente y hacía que la dureza de la pasta decreciera, volviéndola más blanda y resistente. La influencia de la fibra. El aumento en el contenido de fibra incrementa la pérdida por cocción y resulta en pasta libre de gluten más suave que el control, debido a la interferencia de la fibra en matriz de almidón (Scarton y Clerici, 2022).

Bolinwa y Oyesiji (2021), igualmente encontraron en su estudio que, al fortificar la pasta con proteína presente en la harina de soya, la pérdida de sólidos aumentaba significativamente.

3.1.3 Porcentaje de proteína

Se obtuvo el modelo matemático del porcentaje de proteína, el cual se muestra a continuación, en la ecuación 5. Este modelo matemático cuenta con un R^2 original de 0,998 y un R^2 ajustado de 0,997.

$$P = 2,76254 x_1 + 3,37231x_2 + 21,45262x_3 \quad (5)$$

Donde,

$$\begin{aligned} P &= \text{Porcentaje de proteína (\%)} \\ x_1 &= \text{Harina de maíz morado} \\ x_2 &= \text{Almidón de papa pregelatinizado} \\ x_3 &= \text{Proteína de arroz} \end{aligned}$$

La ecuación 5 muestra que ninguna de las interacciones entre las variables tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de proteína que contienen los fideos libres de gluten y

no son tomados en cuenta.

Tabla 8. ANOVA sobre ajuste general del modelo para el porcentaje de proteína

Recurso	SS	df	MS	F	p
Modelo	333,2530	4	83,31325	858,5080	0,000000
Error total	0,6793	7	0,09704		
Falta de ajuste	0,4979	5	0,09958	1,0979	0,540054
Error puro	0,1814	2	0,09070		
Total ajustado	333,9323	11	30,35748		

La Tabla 8 muestra el ajuste general del modelo matemático para el porcentaje de proteína y se identifica que no carece de falta de ajuste, al ser el p mayor a 0,05. Mientras, que el modelo matemático si es significativo, dado que el valor de p es menor al 0,05. A continuación, se puede observar la curva de contorno para el porcentaje de proteína.

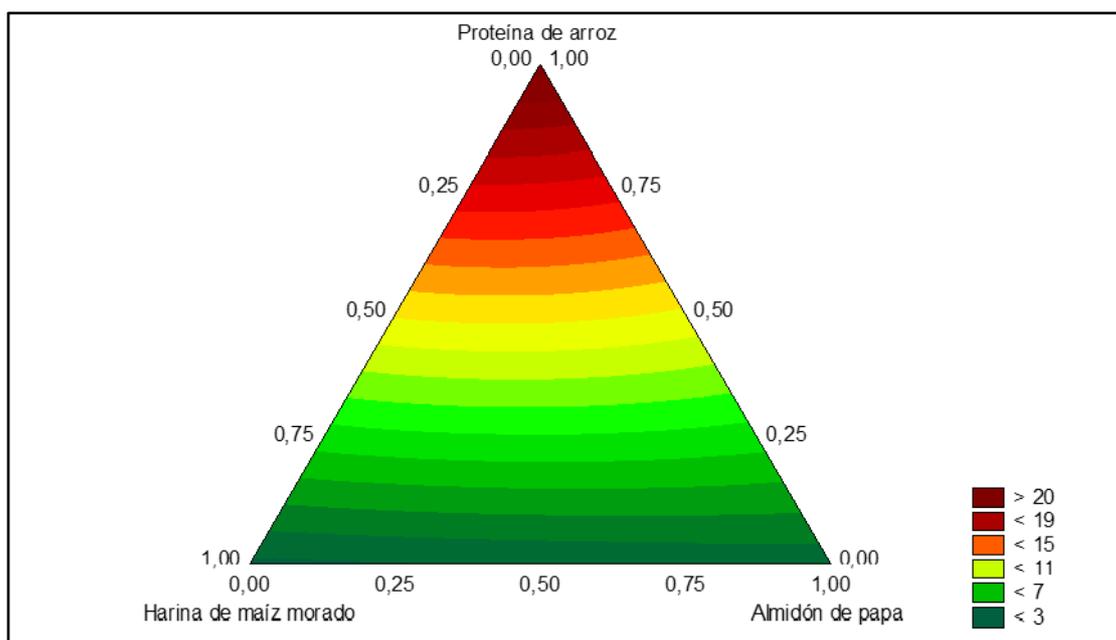


Figura 3. Gráfico de contorno del porcentaje de proteína

En la curva de contorno, de la Figura 3, se puede observar que el porcentaje de proteína en los fideos se incrementa a medida que la cantidad de proteína de arroz aumenta. Cuando se añade proteína de arroz en las formulaciones el incremento de proteína es mayor al 20%. Por

otro lado, cuando la cantidad de almidón de papa pregelatinizado y de harina de maíz morado aumenta, el porcentaje de proteína en el producto disminuye significativamente, siendo menor al 3%. En los estudios de Linares et al. (2019) se presentan resultados similares en donde la calidad nutricional de los fideos mejoró al reemplazar en un 12% con proteína de arroz en la formulación, lo cual terminó aportando con un 9,3% de proteína a la composición final. De igual manera, Detchewa et al. (2022) realizaron reemplazos de hasta el 10% de proteína de arroz en la formulación como valor máximo en fideos instantáneos y encontraron que, a partir de este porcentaje, el valor nutricional de la pasta aumentaba realmente, a diferencia del comportamiento que se observaba con otras cantidades de proteína, como el 5 y 7% en la formulación. En el estudio de Detchewa et al. (2022), el reemplazo de harina de arroz por proteína de arroz con un 15% de contenido de proteína aproximadamente fue al que se le reemplazo el 10% de harina de arroz. En estudios realizados por Bolarinwi y Oyesiji (2021) en pasta de arroz y soya, el contenido de proteína incrementó significativamente con la adición de harina de arroz y soya con valores desde 9,42 hasta 12,11%, siendo la soya la que fortificó a la pasta. El maíz morado tiene un contenido de proteína más alto, entre 7,38% que el maíz amarillo y menor contenido de grasa también (4,5%) (Salvador y Clerici, 2020). En estudios de Guillén-Sánchez et al. (2014), se muestra que el contenido de proteína en el maíz morado es de 11%, no obstante, cuando este sufre procesos en los que se somete a altas temperaturas o condiciones adversas como es el procesamiento para la obtención de harinas, el contenido de proteínas disminuye a partir de los 100°C. En este estudio pudo haber ocurrido con la cocción de la pasta fresca. De igual forma el contenido de proteína aportado por el maíz morado no es relevante.

3.2 Optimización

Para la optimización se utilizó la función de deseabilidad del software Design Expert.

Los parámetros significativos utilizados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. *Función de deseabilidad utilizada en la formulación optimizada*

Parámetro	Objetivo	Peso
HMM(x_1)	Minimizar	5
APP (x_2)	En rango	3
PA(x_3)	Maximizar	5
Aumento de peso [g]	Maximizar	1
Pérdida de sólidos [g]	Minimizar	4
Porcentaje de proteína [%]	Maximizar	5
Deseabilidad total		0,741

La deseabilidad para la formulación óptima fue de 0,741, como se puede observar en la Tabla 9. Mientras que los valores emitidos por Design Expert 13 para las variables dependientes de la formulación óptima fueron: 112,3% de aumento de peso, 15,8% de pérdida de sólidos y 16,5% de porcentaje de proteína. No obstante, en base al objetivo de cada uno de los parámetros se asignó el porcentaje máximo posible, a cada una de las variables independientes, siendo: harina de maíz morado 11.55%, almidón de papa pregelatinizado 10% y proteína de arroz 20%. El resultado obtenido para la formulación optimizada (897) fue: harina de maíz morado 0%, almidón de papa pregelatinizado 2,5% y proteína de arroz 15,0%. Adicionalmente, se fabricó una pasta sin gluten control con: harina de arroz 11,55% y almidón de maíz 42,8%, siendo estos los ingredientes reemplazados parcialmente por las variables de entrada del diseño experimental aplicado. Se puede observar que la harina de maíz morado no fue utilizada en la formulación óptima; la harina de arroz tiene una alta capacidad de absorción de agua en comparación con la harina de maíz morado, de forma que aumenta más el peso de los fideos, siendo una de las variables de salida que se quiere maximizar (De Arcangelis et al.,

2020).

3.2.1 Caracterización optimización

Tabla 10. Resultados de aumento de peso, tiempo de cocción y pérdida de sólidos totales de la muestra de control y optimizada de los fideos libres de gluten con proteína

Corrida	Aumento de peso [g]	Tiempo de cocción [min]	Pérdida de sólidos [g]
Control	153	9,50	19,5
Optimizada	83,3	12,5	12,4

En la Tabla 10 se encuentran los resultados de la caracterización de la formulación control y óptima, donde se puede observar que el aumento de peso es menor, el tiempo de cocción es mayor y la pérdida de sólidos es menor en la formulación optimizada en comparación a la fórmula control. El aumento de peso es menor en la formulación óptima que en el control, debido a que contiene menos almidón, al ser este reemplazado por la proteína de arroz, siendo esta la variable de entrada que tiene la menor capacidad de absorción de agua y por ende, el menor porcentaje de aumento de peso, como se puede observar en el la figura 1. El tiempo de cocción es mayor en la formulación óptima debido a que la proteína toma mucho más tiempo en cocinarse. La pérdida de sólidos es menor debido a la interacción que existe entre la adición del almidón de papa y proteína de arroz, lo cual se corrobora con la ecuación (4) y figura 2. Los valores en la pérdida de sólidos de Linares et al. (2019) et al. alcanzan hasta el 13,82%, y la formulación optimizada a pesar de que incrementa en comparación al control, tiene menor pérdida de sólidos. Como se ha mencionado, el enriquecimiento con proteína hace que la absorción de agua y el aumento de peso disminuyan como se ha observado en otros estudios (Teterycz et al., 2020).

3.2.2 Análisis proximal optimización

Tabla 11. Composición proximal de la muestra de control y optimizada de pasta libre de gluten.

Corrida	Humedad [%]	Proteína [%]	Grasa [%]	Cenizas [%]	Carbohidratos [%]
Control	42,3	3,41	3,09	1,21	49,9
Optimizada	39,6	17,0	4,63	1,36	37,4

En la Tabla 11 se presentan los resultados del análisis proximal de la muestra optimizada y de control, donde se puede evidenciar una gran diferencia en el porcentaje de proteína (17,0%). Estos cambios se atribuyen a la cantidad de proteína de arroz que se añadió a la formulación optimizada. En base a los resultados estadísticos, la proteína de arroz es el factor más importante en el modelo matemático. La proteína vegetal utilizada en el estudio contiene altos niveles de proteína (83,4 g/100g). Por lo tanto, la adición de la proteína de arroz en los fideos libres de gluten mejora el contenido de proteína y el valor nutricional del producto. Este resultado coincide con los hallazgos de Kawakatsu y Takaiwa (2019). Además, vale recalcar que esta contiene los 9 aminoácidos esenciales entre los que se destaca la presencia de lisina (Pincirolí, 2019). Asimismo, es posible observar una disminución de la humedad (2.7%) entre la formulación optimizada y la de control. Cuando se incorpora proteína de arroz, el contenido de humedad en los fideos disminuye por la interacción que existe entre la proteína y los polisacáridos (Detchewa, et al., 2021). Igualmente, la disminución de humedad en la formulación óptima se debe a la reducción del almidón, el cual se encarga de absorber agua por su estructura desordenada.

En cuanto a las cenizas, los valores encontrados en este estudio concuerdan con los de Albuja et al. (2019), los cuales elaboraron pasta fresca libre de gluten con harina de arroz y lupino y su porcentaje de cenizas resultó en 1,1%. Igualmente, Bolarinwa y Oyesiji (2021),

encontraron valores cercanos al 2,2% para su pasta a base de soya y arroz.

El lupino posee alrededor de 80 g/100g de ácidos grasos insaturados, por lo cual esto podría ser una razón para el contenido de grasa reportado. En los estudios de Albuja et al. (2019), su pasta a base de esta leguminosa, de arroz y huevo poseía niveles de grasa de hasta el 7%.

Con respecto a la humedad, las pastas ricas en proteína necesitan de un tiempo de cocción más largo lo cual contribuye a un aumento en la humedad del producto y suele causar descenso de la firmeza y dureza de la pasta. Esto se ha observado en pasta enriquecida con harina de soya y de lenteja roja (Teterycz et al., 2020).

3.3 Etiqueta

A continuación, se presenta la etiqueta nutricional de la formulación óptima de la pasta libre de gluten y la formulación control, en la figura 4 y 5, respectivamente.

Información nutricional	
Tamaño por porción: 80 g (1 taza)	
Porciones por envase: 1	
Cantidad por porción	
Energía (calorías)	877 kJ (207 Kcal)
Energía (calorías de la grasa)	137 kJ (33 Kcal)
	% Valor diario*
Grasa total 4g	6%
Sodio 266mg	11%
Carbohidratos totales 30g	10%
Proteínas 14g	27%
*Porcentaje de valores diarios basados en una dieta de 2000kcal (8380kJ).	

Figura 4. Tabla nutricional de la formulación óptima de pasta libre de gluten.

Información nutricional	
Tamaño por porción: 80 g (1 taza)	
Porciones por envase: 1	
Cantidad por porción	
Energía (calorías)	817 kJ (193 Kcal)
Energía (calorías de la grasa)	91 kJ (22 Kcal)
	% Valor diario*
Grasa total 2g	4%
Sodio 276mg	11%
Carbohidratos totales 40g	13%
Proteínas 3g	5%
*Porcentaje de valores diarios basados en una dieta de 2000kcal (8380kJ).	

Figura 5. Tabla nutricional de la formulación control de pasta libre de gluten.

Una vez obtenidas las etiquetas nutricionales se puede realizar el semáforo de la formulación óptima y control, siendo este un requisito del rotulado de los alimentos dentro de la normativa ecuatoriana (Vance, 2013). A continuación, se los puede observar en las figuras y, en el orden mencionado.



Figura 6. Semáforo de la formulación óptima de pasta libre de gluten.



Figura 7. Semáforo de la formulación control de pasta libre de gluten

3.4 Evaluación sensorial

Tabla 12. Resultados de la evaluación sensorial

Atributo	Muestra 431	Muestra 897
Textura	5,05 ± 1,33 ^a	4,53 ± 1,48 ^b
Color	4,92 ± 1,31 ^b	5,48 ± 1,27 ^a
Sabor	5,10 ± 1,39 ^a	4,98 ± 1,30 ^a
Olor	5,17 ± 1,14 ^a	5,33 ± 1,11 ^a
Aceptación Global	5,15 ± 1,01 ^a	4,98 ± 1,21 ^a

*Letras distintas indican para cada atributo diferencia significativa ($P \leq 0,05$)

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial se presentan en la tabla 12. En relación con la formulación control (431), la formulación optimizada (897) presentó diferencia significativa solo en los atributos de color y textura. En la escala hedónica de 7 puntos el rango de calificación media de la pasta optimizada para todos los atributos fue de 4.98. Según los comentarios de los panelistas el color de la fórmula control era demasiada blanco y poco llamativo, por lo que se puede establecer que la proteína añadida oscureció la pasta y mejoró su aceptación. Existen estudios que concluyen que el aumento de la proteína de arroz proporciona tonos amarillos-café que generan un color deseable por el consumidor (Detchewa

et al., 2022). Por otra parte, los panelistas también manifestaron que la formulación optimizada tenía una textura suave y arenosa. Es importante mencionar que, en estudios similares, cuando se sustituye o añade proteína de arroz a la pasta puede perder resistencia (Bolarinwa y Oyesiji, 2021). No obstante, algunos comentarios manifestados por los jueces consumidores mencionan que les pareció agradable que la pasta se mostrará más dura refiriéndose a la muestra optimizada.

CONCLUSIONES

La adición de proteína de arroz en la pasta fresca sin gluten tuvo un efecto positivo porque aumentó la cantidad de proteína en 8.60% en comparación a la formulación control. No obstante, también influyó en la disminución de aumento de peso y en el aumento de pérdida de sólidos. En cambio, la sustitución de almidón de papa pregelatinizado por almidón de maíz tuvo un efecto positivo principalmente en la pérdida de sólidos provocando pérdidas menores a los 11g. Además, este almidón actúa como un agente ligante y permite que la pasta sin gluten mejore su textura. Asimismo, es importante mencionar que, la sustitución de harina de maíz morado por harina de arroz no tuvo un efecto significativo en ninguno de los parámetros evaluados. La optimización por medio de la función de deseabilidad toma en cuenta todas las variables independientes para encontrar la mezcla que cumpla con los objetivos planteados. En el análisis proximal de la formulación óptima se determinó cambios considerables principalmente en la cantidad de proteína, que aumentó, en humedad y carbohidratos, que disminuyeron. Sin embargo, en la evaluación sensorial se identificó diferencias significativas en atributos de color y textura. Aunque la calificación no fue mala es importante recalcar que son aspectos que deben tomarse en cuenta para futuros estudios y buscar que esos aspectos puedan ser más agradables para el consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC International. (2000). Approved methods of the AACC (10th ed.). St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists International.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis (17th ed.). Gaithersburg, Md: Association of Official Analytical Chemists.
- Albuja-Vaca, D., Yepez, C., VERNAZA, M. G., & Navarrete, D. (2019). Gluten-free pasta: development of a new formulation based on rice and lupine bean flour (*Lupinus Mutabilis*) using a mixture-process design. *Food Science and Technology*, *40*, 408-414.
- Akhila, P. P., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Yadav, D. N., ... & George, J. (2022). Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. *Applied Food Research*, *2*(2), 100193.
- Bolarinwa, I. F., & Oyesiji, O. O. (2021). Gluten free rice-soy pasta: proximate composition, textural properties and sensory attributes. *Heliyon*, *7*(1), e06052.
- Baah, R. O., Duodu, K. G., & Emmambux, M. N. (2022). Cooking quality, nutritional and antioxidant properties of gluten-free maize–Orange-fleshed sweet potato pasta produced by extrusion. *LWT*, *162*, 113415.
- Camelo-Méndez, G. A., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. A. (2018). Influence of blue maize flour on gluten-free pasta quality and antioxidant retention characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(7), 2739-2748. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-018-3196-9>. PMID:30042590.
- Carvajal-Larenas, F. (2019). Nutritional, rheological and sensory evaluation of *Lupinus mutabilis* food products—a Review. *Czech Journal of Food Sciences*, *37*(5), 301-311.
- De Arcangelis, E., Cuomo, F., Trivisonno, M. C., Marconi, E., & Messia, M. C. (2020). Gelatinization and pasta making conditions for buckwheat gluten-free pasta. *Journal of Cereal Science*, *95*, 103073.
- Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). *Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. Trends in Food Science & Technology.*
doi:10.1016/j.tifs.2019.01.001
- Detchewa, P., Prasajak, P., Phungamngoen, C., Sriwichai, W., Naivikul, O., & Moongngarm, A. (2022). Substitution of rice flour with rice protein improved quality of gluten-free rice spaghetti processed using single screw extrusion. *LWT*, *153*, 112512. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112512

- Espinal, K., Peña, A., & Serrano-Vela, J. (2022). Empoderamiento y calidad de vida en adultos con enfermedad celíaca. Estudio de corte transversal. *Acta Gastroenterológica Latinoamericana*, 52(1), 86-95. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/1993/199371057013/html/>
- Erazo Hidalgo, H. M. (2021). Formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (*Zea mays* L.) para el embalaje de alimentos.
- FAO (2020). EL HAMBRE EN EL MUNDO: CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES PARA ERRADICAR EL HAMBRE. <https://www.manosunidas.org/observatorio/hambre-mundo>
- Gao, Y., Janes, M. E., Chaiya, B., Brennan, M. A., Brennan, C. S., & Prinyawiwatkul, W. (2018). Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 19-32.
- Guillén-Sánchez, Jhoseline, Mori-Arismendi, Sigry, y Paucar-Menacho, Luz María. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigrovioláceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>
- Guo, J., Lian, X., Kang, H., Gao, K., & Li, L. (2016). Effects of glutenin in wheat gluten on retrogradation of wheat starch. *European Food Research and Technology*, 242, 1485–1494. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2649-5>
- Hedayati, S., Shahidi, F., Koocheki, A., Farahnaky, A., & Majzoobi, M. (2020). Influence of pregelatinized and granular cold water swelling maize starches on stability and physicochemical properties of low fat oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 102, 105620.
- INEN. (2011). ROTULADO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS PARA CONSUMO HUMANO. PARTE 2. ROTULADO NUTRICIONAL REQUISITOS. NTE INEN 1334-2. <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/NTE-INEN-1334-2-Rotulado-de-Productos-Alimenticios-para-consumo-Humano-parte-2.pdf>
- Kankate, D., Panpalia, S. G., Kumar, K. J., & Kennedy, J. F. (2020). Studies to predict the effect of pregelatinization on excipient property of maize and potato starch blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 1206-1214.
- Kim, Y., Kee, J. I., Lee, S., & Yoo, S.-H. (2014). Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase. *Food Chemistry*, 145, 409–416. doi:10.1016/j.foodchem.2013.08.07
- Kolarič, L., Minarovičová, L., Lauková, M., Karovičová, J., & Kohajdová, Z. (2020). Pasta noodles enriched with sweet potato starch: Impact on quality parameters and resistant starch content. *Journal of texture studies*, 51(3), 464-474.
- Linares-García, L., Repo-Carrasco-Valencia, R., Glorio Paulet, P., & Schoenlechner, R. (2019). Development of gluten-free and egg-free pasta based on quinoa (*Chenopodium*

- quinoa Willd) with addition of lupine flour, vegetable proteins and the oxidizing enzyme POx. *European Food Research and Technology*, 245(10), 2147-2156.
- López-Mejía, N., Andrade-Mahecha, M. M., & Martínez-Correa, H. (2019). Modelamiento matemático de la cinética de secado de espagueti enriquecido con pulpa de zapallo deshidratada (Cucurbita moschata). *Revista Udca Actualidad & Divulgacion Científica*, 22(1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1151>
- Marti, A., & Pagani, M. A. (2013). What can play the role of gluten in gluten free pasta? *Trends in Food Science & Technology*, 31(1), 63–71. doi:10.1016/j.tifs.2013.03.001
- Mejía, N. & Morales, N. (2020). Optimización de la formulación de tallarines libres de gluten enriquecidos con pulpa de zapallo deshidratada empleando el método de diseño de mezclas. *Food Technol.* 23. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.29918>
- Milde, L. B., Chigal, P. S., Olivera, J. E., & González, K. G. (2020). *Incorporation of xanthan gum to gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes.* *LWT*, 109674. doi:10.1016/j.lwt.2020.109674
- Noboa, A. (19 Mayo de 2022) Las cifras detrás del plan del Gobierno para bajar la desnutrición infantil. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desnutricion-infantil-cifras-plan-presidente-lasso/>
- Obadi, M., & Xu, B. (2021). Review on the physicochemical properties, modifications, and applications of starches and its common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocolloids*, 112, 106286.
- Phongthai, S., D'Amico, S., Schoenlechner, R., Homthawornchoo, W., & Rawdkuen, S. (2017). Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta. *LWT*, 80, 378-385.
- Quilca Iles, P. L. (2020). *Elaboración de harina de chocho para enriquecer harina de trigo* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Romano, A., Ferranti, P., Gallo, V., & Masi, P. (2021). New ingredients and alternatives to durum wheat semolina for a high quality dried pasta. *Current Opinion in Food Science*, 41, 249-259.
- Salvador-Reyes, R., & Clerici, M. T. P. S. (2020). Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. *Food Research International*, 130, 108934.
- Scarton, M., & Clerici, M. T. P. S. (2022). Gluten-free pastas: ingredients and processing for technological and nutritional quality improvement. *Food Science and Technology*, 42.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., & Kaur, A. (2016). *Wheat starch production, structure, functionality and applications-a review.* *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 38–58. doi:10.1111/ijfs.13266
- Teterycz, D., Sobota, A., Zarzycki, P., & Latoch, A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of food science and technology*, 57(1), 301-309.

- Truitt, G. (2019). Monocultivos: la amenaza de los "desiertos verdes" de hoy para la producción alimentaria de mañana. The Nature Conservancy. Obtenido de: <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/monocultivos-amenaza-desiertos-verdes-produccion-alimentaria/>
- UNICEF (2022). Desnutrición. <https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n>
- Vance, C. (2013). REGLAMENTO SANITARIO DE ETIQUETADO DE ALIEMNTOS PROCESADOS PARA EL CONSUMO HUMANO(Acuerdo No. 00004522). Ministerio de salud publica ecuatoriana. Ediciones legales. Recuperado de <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/REGLAMENTO-SANITARIO-DE-ETIQUETADO-DE-ALIMENTOS-PROCESADOS-PARA-EL-CONSUMO-HUMANO-junio-2014.pdf>
- Yanez G., C., Zambrano Mendoza, J.L., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza Caiza, C.A., Villacrés, E., Racines Jaramillo, M.R., y Caballero, D. (2019). Ficha técnica de la variedad de Maíz Negro INIAP-199 "Racimo de Uva". Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz.
- Yang, S., Dhital, S., Zhang, M. N., Wang, J., & Chen, Z. G. (2022). Structural, gelatinization, and rheological properties of heat-moisture treated potato starch with added salt and its application in potato starch noodles. *Food Hydrocolloids*, 107802.

ANEXO A: CUESTIONARIO EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre: _____

Edad: _____

Fecha: 02.12.2022

Sexo: M / F

Frente a usted se presentan 2 muestras de espagueti libre de gluten. Por favor, prueba las muestras de izquierda a derecha y evalúe cada uno de los atributos indicados y su percepción global. Entre las evaluaciones de las muestras tome un poco de agua y espere 30 segundos antes de probar la siguiente muestra. Escriba el número de la escala establecida de acuerdo con su criterio en el casillero correspondiente, al código de cada muestra según el atributo evaluado. En caso de tener algún comentario, se dispone en la parte inferior un espacio para esta información.

7	Me gusta extremadamente
6	Me gusta mucho
5	Me gusta moderadamente
4	No me gusta ni me disgusta
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta extremadamente

Textura	
431	897

Color	
431	897

Sabor	
431	897

Olor	
431	897

Global	
431	897

Comentarios:

¡Gracias por tu participación!

ANEXO B: CONSENTIMIENTO INFORMADO**Consentimiento informado**

Yo, _____ con C.I. _____, declaro que he sido invitado/a a participar en una evaluación sensorial en la Universidad San Francisco de Quito, siendo un proyecto que pretende evaluar la preferencia de un producto alimenticio a través una prueba de comparación de pares.

Entiendo que este estudio busca conocer mi preferencia entre dos formulaciones de pasta libre de gluten y veganas, por lo que sé que se llevará a cabo en el aula de evaluación sensorial de dicha institución en el horario de 13:00 a 17:00 pm. Esta prueba consiste en responder una encuesta que tomará alrededor de 5-10 minutos. Además, se me ha explicado que la información brindada será confidencial.

Estoy en conocimiento de que las muestras presentadas contienen goma xanthan, chocho, maíz, arroz, papa, aceite de girasol y sal. Asimismo, sé qué puedo negar mi participación o retirarme en cualquier etapa de la prueba, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.

Sí, acepto de manera voluntaria participar en este estudio y he recibido una copia del presente documento.

Firma del participante

Fecha:

ANEXO C: TABLAS DE ANOVA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL

Textura:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Muestra	1	9,633	9,6333	11,06	0,002
Jueces	59	144,200	2,4441	2,81	0,000
Error	59	51,367	0,8706		
Total	119	205,200			

Color:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Muestra	1	9,633	9,6333	11,06	0,002
Jueces	59	144,200	2,4441	2,81	0,000
Error	59	51,367	0,8706		
Total	119	205,200			

Sabor:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Muestra	1	0,408	0,4083	0,25	0,622
Jueces	59	114,292	1,9371	1,17	0,280
Error	59	98,092	1,6626		
Total	119	212,792			

Olor:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Muestra	1	0,833	0,8333	1,02	0,316
Jueces	59	101,500	1,7203	2,11	0,002
Error	59	48,167	0,8164		
Total	119	150,500			

Aceptación Global:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Muestra	1	0,833	0,8333	0,94	0,336
Jueces	59	94,467	1,6011	1,81	0,012
Error	59	52,167	0,8842		
Total	119	147,467			