UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

UTILIZACIÓN DE PROTEÍNA DE ARROZ EN EL PROCESO DE PANIFICACIÓN

POR:

SANTOS ALEMAN RICARDO JOSE

TESIS

CATACAMAS, OLANCHO HONDURAS, C.A

MAYO, 2018

UTILIZACIÓN DE PROTEÍNA DE ARROZ EN EL PROCESO DE PANIFICACIÓN

POR:

SANTOS ALEMAN RICARDO JOSE

EMERSON MARTINEZ, M.Sc.

Asesor Principal

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE

LICENCIADO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

CATACAMAS, OLANCHO HONDURAS, C.A

MAYO,2018

COMISIÓN INTERVENTORA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COORDINACIÓN CARRERA TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE

PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

Reunidos en la biblioteca Vicente Alemán de la Universidad Nacional de Agricultura**: M.Sc. EMERSON JOSUE MARTINEZ JIMENEZ, M.Sc. CARLOS INESTROZA LIZARDO, M.Sc. ALBA JULIA MUÑOZ TORRES,** Miembros del Jurado Examinador de Trabajos de P.P.S.

El estudiante **RICARDO JOSE SANTOS ALEMAN** del IV Año de la Carrera de Tecnología Alimentaria presentó su informe.

"UTILIZACÓN DE LA PROTEÍNA DEL ARROZ PARA EL PROCESO DE PANICIFACIÓN."

El cual, a criterio de los examinadores, Aprobó este requisito para optar al título de Licenciado en Tecnología Alimentaria.

Dado en la ciudad de Catacamas, Olancho, a los diecisiete días del mes de mayo del año dos mil dieciocho.

M.Sc. EMERSON JOSUE MARTINEZ JIMENEZ
Asesor Principal

M.Sc. CARLOS INESTROZA LIZARDO
Asesor Auxiliar

M.Sc. ALBA JULIA MUÑOZ TORRES
Asesor Auxiliar

i

DEDICATORIA

A **Dios** todo poderoso por su fidelidad y bendiciones.

A mi **Madre** Bessy Lizeth Alemán la mejor mamá del mundo, gracias por su apoyo, sacrificio y amor, usted lo es todo para mí y razón fundamental para que pudiera finalizar esta bonita etapa de mi vida.

A mis **Tutores** Dr. Marvin Moncada y Dr. Joan King este es un logro que quiero compartir con ustedes, gracias por su apoyo incondicional.

A mis **Abuelos** Hipólito Alemán y Angela Mejía, por sus oraciones y ser tan importantes en mi vida, gracias por brindarme su ayuda y amor incondicional.

A toda mi familia en general.

AGRADECIMIENTOS

A ti **Dios** porque hiciste realidad esta meta en mi vida, por tus innumerables bendiciones y porque siempre estas allí con tu amor para todas gracias.

Para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis metas y objetivos, por permitirme envolverme en el mundo del "estudio", con todo mi corazón gracias, **"Mi madre" y "Tutores"** en especial, Emerson Martínez, Alba Muñoz y Carlos Inestroza**.**

A mis **hermanas, tías (os), primas (os) abuelos**, gracias a estas personas tan importantes en mi vida, que siempre estuvieron listos para brindarme toda su ayuda. **Mi padre** que, aunque no estuvo cerca en muchas ocasiones, cuando lo conocí siempre estuvo en contacto conmigo y me brindo sus consejos y apoyo.

A todos mis **supervisores** de toda la vida mil gracias, en especial a M.Sc. Katrina Spillane por sus consejos y confianza que me ha brindado, y a mis tres asesores, gracias por su paciencia, tiempo y dedicación.

CONTENIDO

Pág.

ACTA DE SUSTENTACIÓN i

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE TABLAS viii

LISTA DE ANEXOS ix

RESUMEN x

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 3

2.1. General 3

2.2. Específicos 3

III. REVISIÓN DE LITERATURA 4

3.1. El arroz 4

3.1.1. Composición nutricional del arroz 4

3.1.2. Calidad del arroz 5

3.1.3. Usos industriales 6

3.2. Harina de arroz 6

3.3. Proteínas en el arroz 7

3.3.1. Albuminas 7

3.3.2. Globulinas 7
3.3.3. Prolaminas 8
3.3.4. Glutelinas 8
3.4. Las proteínas de arroz 9
3.4.1. Propiedades funcionales y aplicaciones de las proteínas de arroz 10
IV. MATERIALES Y MÉTODO 11
4.1. Ubicación del experimento 11
4.2. Materiales y equipos 12
4.3. Metodología de la investigación 12
4.4. Etapa I. Desarrollo de formulaciones para la elaboración de un pan utilizando harina de arroz fortificada, harina de trigo y harina de arroz 13
4.4.1. Proceso de elaboración del pan 13
4.4.2. Diseño experimental 14
4.5. Etapa II. Evaluación de las características ópticas y texturales mediante análisis instrumental 16
4.6. Etapa III. Evaluación de las características sensoriales mediante evaluación sensorial 17
4.6. Etapa IV. Determinación del Contenido Nutricional de los Panes con Mayor Aceptabilidad 17
4.7. Análisis estadístico 19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 20
5.2. Evaluación de las características ópticas y texturales de los panes mediante análisis instrumental 20
5.2.1. Características texturales del pan 20
5.2.2. Características Ópticas 26
5.3. Características Sensoriales 29

5.4. Determinación del contenido nutricional de los panes con mayor aceptabilidad 33

VI. CONCLUSIONES 37

VII. RECOMENDACIONES 38

ANEXOS 44

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Partes del grano de arroz en relación de contenido proteico.....9
Figura 2. Ubicación de la Universidad Estatal de Luisiana.....11
Figura 3. Diagrama de flujo para proceso de panificación.....14
Figura 4. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre el volumen especifico.....21
Figura 5. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la dureza.....22
Figura 6. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la cohesividad.....23
Figura 7. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la resistencia.....24
Figura 8. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la elasticidad.....25
Figura 9. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el color L* (Luminosidad).....26
Figura 10 Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el color a* (Verde/Rojo).....28
Figura 11. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el color b* (azul/amarillo).....29
Figura 12. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el sabor.....30
Figura 13. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre la apariencia.....31
Figura 14. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el olor.....32

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Composición nutricional de las variables de arroz 5
Tabla 2. Contenido de macronutrientes en la harina de arroz 6
Tabla 3. Descripción de materiales y equipos 12
Tabla 4. Diseño experimental para la elaboración del pan con sustituciones 15
Tabla 5. Composición de macronutrientes de los panes con los tratamientos 36

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Componentes de la harina de arroz fortificada 45

Anexo 2. Planta piloto de la Universidad de Luisiana 45

Anexo 3. Pan elaborado con 100% harina de arroz 46

Anexo 4. Pan elaborado con 100% harina de arroz fortificado 46

Anexo 5. Pan elaborado con 100% harina de arroz fortificado 46

Anexo 6. Muestra de pan 2 elaborado con 100% harina de arroz fortificado 47

Anexo 7. Muestra de pan 2 elaborado con 100% de harina de arroz 47

Anexo 8. Hidrolizados de endospermo, hidrolizados de salvado y salvado de arroz y concentrado de proteína 48

Anexo 9. Análisis de viscosidad de pegado de la harina de arroz fortificada 48

Anexo 10. Análisis de viscosidad de pegado de la harina de arroz 49

Anexo 11. Análisis de viscosidad de pegado de la harina de trigo 49

Anexo 12. Formato de prueba de escala hedónica 50

Anexo 13. Análisis de varianza de la aceptabilidad 51

Anexo 14. Composición proximal de la harina de arroz y harina de arroz fortificada. 52

Anexo 15. Tabla de coeficientes significativos para el modelo cubico 53

Anexo 16. Tabla de codificación de números aleatorios 1 54

Anexo 17. Tabla de codificación de números aleatorios 2 54

Anexo 18. Tabla de tratamientos codificados 55

Santos Alemán, R.J. 2018. Utilización de la proteína arroz en el proceso de panificación. Tesis Lic. T. A. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas Olancho, Honduras, C.A. 64 pág.

RESUMEN

El arroz (Oryza sativa L.) es un ingrediente importante para el desarrollo de productos de panificación. La calidad de estos productos varía dependiendo de los niveles de amilosa del arroz, tamaño de partícula de la harina de arroz, longitud del grano, índice de absorción de agua y la mezcla de harinas utilizadas. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar un pan por el método convencional utilizando harina de arroz fortificada enriquecida con proteínas de arroz en combinación con harina de arroz y harina de trigo a través de diferentes formulaciones utilizando mezclas de harina de arroz, harina de trigo y harina de arroz fortificada, evaluando propiedades texturales (resistencia, elasticidad, cohesividad y dureza), volumen específico, color y atributos sensoriales (apariencia, olor, sabor y aceptabilidad general) del pan. En el desarrollo de las formulaciones de un pan se utilizó un diseño de mezcla con el modelo cubico especial estudiando el efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina arroz fortificada sobre las características evaluadas del pan. La mezcla que presentó la mejor aceptación fue la que se utilizó en su formulación un contenido de harina de arroz fortificada de 50 % y 50% harina de trigo lo que demuestra que la harina de arroz fortificada con proteína de arroz es una alternativa para el desarrollo de pan.

Palabras claves: Diseño de mezclas, harina de trigo, harina de arroz, proteínas de arroz, análisis bromatológico, evaluación sensorial.

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos alimenticios en el mundo, con una producción anual estimada de 471.2 millones de toneladas métricas (USDA, 2017). Este grano está destinado para alimentar alrededor del 50% de la población mundial, sobre todo en los países de Latinoamérica y Asia. El arroz en la dieta básica proporciona entre el 35 y 59% de la energía consumida, debido su alto contenido de carbohidratos; representa entre el 7 y 9% de aporte calórico por su contenido proteico, reconociéndose como un alimento nutricional y saludable para el consumo humano (Shih, 2003).

La Universidad Estatal de Luisiana quiere producir un pan con proteínas de arroz ya que el estado de Luisiana representa el 14% de la producción nacional (USDA, 2017). Según investigaciones efectuadas en la universidad estatal de Luisiana, se han desarrollado nuevas líneas en la aplicación y uso de arroz con aporte entre 10.5 y 14% de contenido proteico, como factor de mezcla para la elaboración de nuevos productos de panificación.

Actualmente, se han desarrollado estudios utilizando harina de arroz para producir productos panificables principalmente pan, pero también muffins y pastel. La calidad de estos productos varía dependiendo de los niveles de amilosa del arroz, tamaño de partícula de la harina de arroz, longitud del grano, índice de absorción de agua y la mezcla de harinas utilizadas (Kadan *et al*. 2001; Han *et al*. 2011; Park *et al*. 2014; Mancebo *et al*. 2015).

Los estudios de Hager *et al*. *(*2012) orientados a las cualidades sensoriales de productos de panadería determinaron que existe una menor puntuación al aroma por el gusto para el pan elaborado con harina de arroz con relación al elaborado con harina de trigo, además determinaron que el pan elaborado a base de arroz era más desmenuzable y duro que el pan

regular de trigo. Como consecuencia, para mejorar las propiedades físicas, químicas y sensoriales de los productos de panadería elaborados con harina de arroz, es necesario la combinación de otros ingredientes (Asimah *et al*. 2016, Jaganathan, 2016; Capriles y Areas, 2014; Gujral *et al*. 2003; Rai *et al*. 2012) por lo que es importante examinar la aplicacion de la harina de arroz fortificada con proteínas de arroz para desarrollar productos de panificación.

El trabajo de investigación se realizó en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Nutrición de la Universidad Estatal de Luisiana (LSU) ubicada en la ciudad de Baton Rouge del Estado de Luisiana, en los Estados Unidos. Con el objetivo de utilizar harina de arroz fortificada con proteínas de arroz en la elaboración de pan.

Contemplando la utilización de la harina de arroz fortificada (enriquecida con hidrolizado de endospermo, hidrolizado de salvado de arroz, concentrado de proteína de arroz y salvado de arroz), harina de arroz y harina de trigo, para la elaboración de un pan. La investigación se desarrolló en cuatro partes: primera parte el desarrollo de formulaciones a partir de harina de trigo, harina de arroz fortificada y harina de arroz, segunda parte la evaluación de propiedades ópticas y texturales mediante análisis instrumental, tercera parte, análisis de características sensoriales y aceptabilidad del pan por medio de la evaluación sensorial y la cuarta parte al determinar el contenido nutricional de los panes que tuvieron un alto grado de aceptabilidad.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Utilizar harina de arroz fortificada con proteínas de arroz en la elaboración de pan.

2.2. Específicos

Desarrollar formulaciones para la elaboración de un pan con el empleo de la harina de arroz fortificada con proteínas de arroz, harina de trigo y harina de arroz.

Evaluar las características ópticas y texturales mediante análisis instrumental.

Analizar el sabor, olor, apariencia y aceptabilidad a partir de evaluación sensorial.

Determinar el contenido nutricional de los productos panes de panificación con alto grado de aceptabilidad.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El arroz

El arroz es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia *Poaceae* (Champagne *et al*. 2004). Además, es un importante cultivo alimenticio que actualmente se cultiva en más de 100 países (Muthayya *et al*. 2014). China y la India son los máximos productores en este rubro con más del 50% de la producción mundial (USDA, 2017). El grano de arroz maduro se cosecha en forma de arroz en bruto (arroz con cáscara) en el que la cariopsis (arroz integral) está encerrada en un casco (cáscara) silíceo duro. Además, debe ser procesado antes de ser consumidos por los seres humanos, ya que sólo la cariopsis es comestible (Champagne *et al*. 2004).

Después de limpiar el arroz bruto de las impurezas, el casco (20% del peso del arroz con cáscara) se rompe y se separa de la cariopsis del arroz. Luego, se elimina el salvado (8% al 10% del peso del arroz con cáscara) que está constituido por pericarpio, nucelo, aleurona, embrión, ciertas regiones del endospermo y casco amiláceos. El salvado se elimina mediante métodos abrasivos, friccionarías o la combinación de los dos para obtener arroz blanco compuesto enteramente de endospermo (Bond, 2004; Orthoefer y Eastman, 2004).

3.1.1. Composición nutricional del arroz

El arroz se considera un producto con nivel de proteínas considerable representando entre 7% y el 9% pero con poco contenido de fibra y una cantidad masiva de carbohidratos. Las proporciones se distinguen entre las diferentes variedades La composición nutricional del arroz entre sus variedades se detalla a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional de las variables de arroz

Tipo de arroz	Proteína (g/100g)	Hierro (g/100g)	Zinc (g/100g)	Fibra (g/100g)
Blanco pulido	6.8	1.2	0.5	0.6
Integral	7.9	2.2	0.5	2.8
Rojo	7.0	5.5	3.3	2.0
Pupura	8.3	3.9	2.2	1.4
Negro	8.5	3.5	-	4.9

Fuente: FAO, (2004).

3.1.2. Calidad del arroz

Se han evaluado rutinariamente muchos aspectos de la calidad del grano de arroz tales como el comportamiento de la molienda, la apariencia, las propiedades nutricionales y las cualidades de cocción. El almidón es uno de los componentes principales del grano de arroz y sus parámetros fisicoquímicos como el contenido de amilosa, la temperatura de gelatinización, la consistencia del gel y la viscosidad de pegado se han utilizado como indicadores de calidad (Kong *et al*. 2015). El arroz se consume en gran parte como granos enteros cocidos y, en consecuencia, la textura es un atributo esencial para la palatabilidad (Zhou *et al*. 2002).

La longitud del grano, la expansión del volumen, así como las características de absorción de agua son también características importantes de la calidad del arroz (Ge *et al*. 2005). En términos de contenido nutricional, el contenido de proteínas y lípidos también son factores importantes para definir la calidad del arroz (Zhou *et al*. 2002). Por lo tanto, no hay un índice estándar de la calidad del grano del arroz porque hay muchas características a considerar.

3.1.3. Usos industriales

La mayoría del arroz se consume directamente como granos enteros y cocinados, pero todavía hay un uso significativo del arroz en la fabricación de diversos alimentos procesados. Los alimentos de arroz se hacen generalmente a partir de harina de arroz y se prepara mediante procesos de molienda en húmedo o en seco. La elección del contenido de amilosa del almidón de arroz es esencial para la calidad del producto (Liu *et al*. 2016).

El arroz con alto contenido de amilosa se utiliza para elaborar fideos y arroz ceroso para muchos tipos de tortas. Los fideos de arroz se preparan mediante diversas técnicas incluyendo la extrusión y el uso de un aglutinante pregelatinizado de una parte de la masa total de harina de arroz con el fin de lograr una textura de fideos en ausencia de gluten de trigo. Los productos de arroz soplado también son bastante comunes utilizando arroz con bajo contenido de amilosa (Liu *et al*. 2016).

3.2. Harina de arroz

La harina de arroz se hace principalmente de la molienda del arroz roto pulido. La harina de es hecha de arroz crudo blanco finamente molido y se utiliza para hacer fideos, dulces, alimentos para bebés, productos de panificación y otras aplicaciones. Además de esto, la harina de arroz es ideal para personas que tienen necesidades dietéticas especiales ya que no tiene gluten, grasa ni colesterol (Kadan, 2008).

Tabla 2. Contenido de macronutrientes en la harina de arroz

Macronutrientes	Variedad Basmati	No Basmati	Harina comercial
Lípidos	1.96%	2.60%	2.57%
Proteína	7.09%	6.14%	7.02%
Cenizas	1.16%	1.01%	1.15%
Fibra cruda	1.09%	1.10%	1.02%
Carbohidratos	77.70%	79.16%	77.24%

Fuente: Jan, 2017

3.3. Proteínas en el arroz

Las proteínas del arroz se componen de cuatro fracciones tradicionalmente clasificadas y están basadas en la solubilidad: la albúmina (soluble en agua), la globulina (soluble en sal), la glutelina (soluble en medios alcalinos) y la prolamina (soluble en alcohol). La globulina (alrededor del 12%) y la glutelina (alrededor del 80%) son los principales componentes de la proteína del arroz.

El agua y las soluciones alcalinas son, por lo tanto, los disolventes de elección para el procesamiento de proteínas de arroz. Sin embargo, dependiendo de la fuente de proteína y el efecto del disolvente sobre los productos, hay varios diseños y métodos de procesamiento que están enfocados en el desarrollo de la extracción alcalina tradicional, extracción asistida por enzimas y tratamientos físicos (Shih, 2003).

3.3.1. Albuminas

Las albúminas de arroz son solubles en agua, coaguladas por el calor y poseen una menor cantidad de reticulación de disulfuro y comprenden aproximadamente 2-6% de la proteína de semilla total y 24-37% del salvado de arroz (Hamada, 1997). La albúmina de arroz es fácilmente digerible y absorbible. La fracción de albúmina contiene proteína con un peso molecular en el rango de 10-200 kDa (Fabian y Ju, 2011). La fracción de albúmina del salvado de arroz contiene proteínas de peso molecular inferior a 100 kDa (Hamada, 1997). El punto isoeléctrico de la albúmina es pH 4,1 y 6,4 (Ju y Rath, 2001).

3.3.2. Globulinas

La globulina es soluble en sal y contiene proteínas ricas en cisteína y metionina, pero muy pobre en lisina y constituye aproximadamente 15-36% de proteínas del salvado. La reducción de los enlaces disulfuro en las proteínas de la fracción globular da lugar a

polipéptidos de γ-globulina de 16 kDa y α-globulina de 21 kDa que pueden dar lugar actividad oxidativa. El punto isoeléctrico de la globulina es pH 4.3, 5.85-7.27 y 7.9 (Ju y Rath, 2001).

3.3.3. Prolaminas

Las prolaminas de arroz que son solubles en etanol acuoso (60-70%) son aproximadamente el 4% del salvado. Los polipéptidos de la fracción de prolamina están entre 12 y 17 kDa que son ricos en glutamina / ácido glutámico, alanina, glicina y arginina, pero pobres en lisina (Shyur y Chen, 1994). La fracción de prolamina contiene proteínas en el rango de peso molecular de 10-17 kDa (Kim y Okita, 1988).

Entre todas las fracciones proteicas del grano de arroz, la prolamina contiene la mayor cantidad de glutamina / ácido glutámico (19,9% en moles) e isoleucina (12,3% en moles) y la menor cantidad de treonina (1,3% en moles), cisteína (0,0% en moles) glicina (6,2% en moles), histidina (1,7% en moles), arginina (4,6% en moles), lisina (1,0% en moles) y metionina (0,8% en moles) (Hibino *et al*. 1989). El alto contenido de amidas de ácido y bajo contenido de aminoácidos polares sería una de las razones de la baja solubilidad de prolamina en agua. El punto isoeléctrico de prolamina es pH 6.0-6.5 (Ju y Rath, 2001).

3.3.4. Glutelinas

La mayoría de las proteínas de grano de arroz están en la glutelina. Las proteínas en la fracción de la glutelina están extensamente agregadas, unidas por disulfuro, y glicosiladas y son difíciles de solubilizar (Fabian y Ju, 2011). Las glutelinas de arroz se componen de proteínas de alto peso molecular que van de 45 a 150 kDa. La composición de aminoácidos de la glutelina no es tan distinta de la proteína de arroz total porque es la proteína más abundante. La fracción de la glutelina en endosperma de arroz contiene varios polipéptidos de 57 kDa, 34-37 kDa, 25 k-Da, 21-23 kDa, 16 kDa y 14 kDa. La proteína de 57 kDa consiste en dos subunidades de 34-37 kDa y 21-23 kDa unidas por enlaces disulfuro

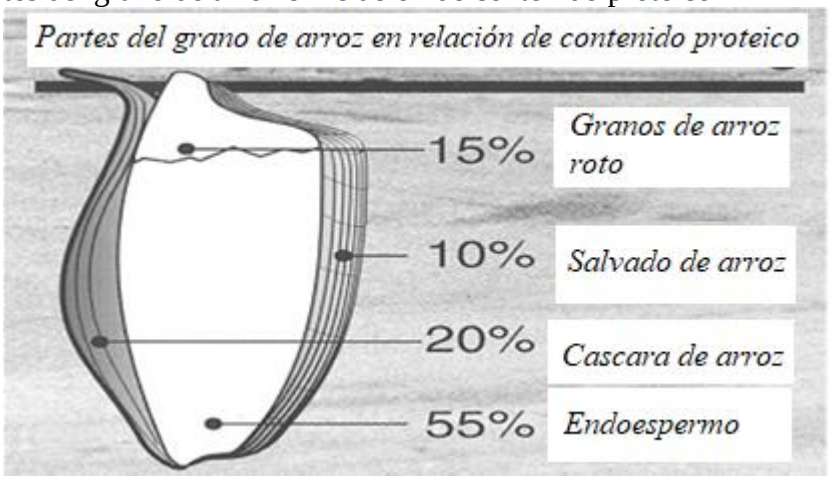
(Krishnan *et al.*, 1992). Las glutelinas de arroz se consideran similares a las leguminas de soja y son de los tipos A y B. La Glutelina tipo B es rico en lisina y considerado un buen recurso genético para aumentar el contenido de lisina en el arroz. El punto isoeléctrico de la glutelina se describe como pH 4.8, 5.7-6,8 y 8.0-8.7 (Ju y Rath, 2001).

3.4. Las proteínas de arroz

Los productos ricos en proteínas a base de arroz (Concentrados de proteínas, aislamientos de proteínas e hidrolizados de proteína de arroz) han estado disponibles especialmente en las regiones geográficas donde el consumo tradicional de arroz es bajo. El arroz no es una semilla rica en proteínas en comparación con la soja u otras las legumbres que se utilizan para la preparación del producto proteico.

Sin embargo, las proteínas de arroz pueden mejorar las formulaciones de muchos productos alimenticios específicamente aquellos productos que son solubles en la proteína del arroz. El salvado de arroz (Rice bran), los granos de arroz rotos (Broken kernels), la cascara de arroz (Hull) y el endospermo (Whole kernel) de arroz son las fuentes para obtener proteína de arroz y son ilustrados en la figura 1 (Shih, 2003).

Figura 1. Partes del grano de arroz en relación de contenido proteico



Fuente: Shih, 2003.

3.4.1. Propiedades funcionales y aplicaciones de las proteínas de arroz

La mayoría de las proteínas encontradas en el arroz tienen propiedades de solubilidad desventajosas debido a un alto contenido de enlaces di-sulfúricos intermoleculares y sus pesos moleculares comparativamente son altos. Particularmente, el salvado de arroz pasa por tratamiento térmico para la estabilización haciendo que las proteínas de salvado sean más insolubles (Shih, 2003). El concentrado proteico liofilizado obtenido a partir de salvado de arroz estabilizado térmicamente y parabolizado mostró una baja capacidad de absorción de agua y una alta capacidad de absorción de grasa.

La solubilidad es la mayor preocupación con la proteína del arroz; sin embargo, dependiendo del proceso en que estén involucrado, puede ocurrir una hidrólisis parcial durante el procesamiento y como consecuencia las proteínas pueden mejorar sus propiedades de solubilidad. Las proteínas de salvado de arroz muestran una capacidad, estabilidad y características espumantes similares a la albúmina de huevo (Wang *et al*. 1999) y propiedades emulsionantes comparables con la caseína (Fabian & Ju, 2011).

El salvado de arroz es un ingrediente funcional aprobado en productos cárnicos procesados en los EE. UU. y etiquetado como "producto de arroz aislado". Los componentes de fibra y proteína en el salvado ayudan a unir e inmovilizar la humedad en el aceite inhibiendo así la purga y la migración de humedad durante la congelación y descongelación. Además, la proteína de arroz proporciona una buena capacidad emulsionante y gelificante en pastas de carne (Hoogenkamp, 2015).

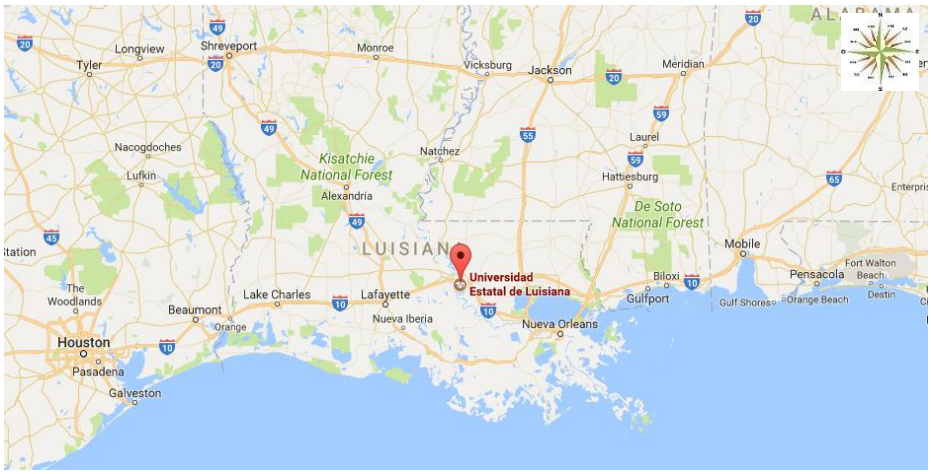
Los hidrolizados de proteína de salvado de arroz se usan en suplementos nutricionales y funcionales de sabor en los alimentos. Las proteínas del arroz se utilizan en confitería, refrescos, jugos, sopas, salsas, salsas, productos cárnicos y otras aplicaciones como la elaboración de productos cosméticos (Fabian & Ju, 2011). En adición, la proteína de arroz es considerada como hipoalergénica y es adecuada para formulaciones de alimentos infantiles.

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Ubicación del experimento

Se realizó en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Nutrición de la Universidad Estatal de Luisiana (LSU) ubicada en la ciudad de Baton Rouge del Estado de Luisiana, en los Estados Unidos de América durante los meses de octubre 2017 a abril 2018.

Figura 2. Ubicación de la Universidad Estatal de Luisiana



Fuente: Google Map, 2018

4.2. Materiales y equipos

La tabla tres muestra los materiales y equipos utilizados para le desarrollo de la investigación.

Tabla 3. Descripción de materiales y equipos

Materia prima e ingredientes	Equipo para proceso	Equipo de medición	Equipo y material de laboratorio	Reactivos
Harina de arroz fortificada	Dispensador	Combustionador Dumas	Frascos	Hexano
Harina de arroz	Batidora industrial	Colorímetro	Matraz	
Harina de trigo	Máquina de hacer pan	* Semillas de rape	Beakers	
Azúcar	Balanza de precisión	Texturómetro	Probetas	
Sal (NaCl)	Báscula analítica	Extractor soxhlet-	Pipetas	
Grasa	Termómetro	Horno de Mufla	Pinzas	
Polvo de clara de huevo	Horno			

Fuente: elaboración propia

* Las semillas de rape se consideraron como equipo de medición porque se utilizaron como un estándar de medición junto con un recipiente para realizar la medición del volumen de la muestra por medio del diferencial de las semillas de rape y recipiente.

4.3. Metodología de la investigación

El trabajo de investigación fue de corte cualitativo-cuantitativo a profundidad semi-estructurada, a partir de investigación in situ y de laboratorio. El desarrollo de esta investigación contemplo la utilización de la harina de arroz fortificada que fue enriquecida con hidrolizado de endospermo, hidrolizado de salvado de arroz, concentrado de proteína de arroz y salvado de arroz (Anexo 1) y esta harina fue desarrollada por los centros investigativos del departamento de ciencia de los alimentos de la universidad estatal de Luisiana. Además, se utilizó harina de arroz convencional y harina de trigo comercial en

combinación con la harina de arroz fortificada. La secuencia de actividades para el desarrollo de la investigación fue planificada en cuatro etapas de la siguiente manera:

1. Desarrollo de formulaciones para la elaboración de un pan utilizando harina de arroz fortificada, harina de trigo y harina de arroz
2. Evaluación de las características ópticas y texturales mediante análisis instrumental.
3. Análisis de las características sensoriales a partir de evaluación sensorial.
4. Determinación del contenido nutricional de los panes con alto grado de aceptación.

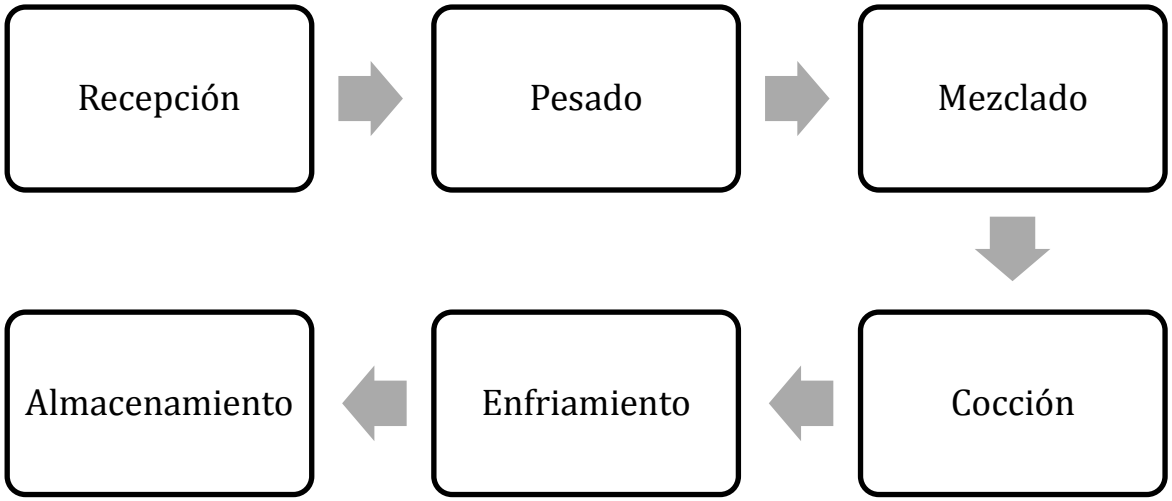
4.4. Etapa I. Desarrollo de formulaciones para la elaboración de un pan utilizando harina de arroz fortificada, harina de trigo y harina de arroz

4.4.1. Proceso de elaboración del pan

A partir de un programa de diseño de mezcla, utilizando la harina de arroz fortificada, harina trigo y harina de arroz como materias primas principales, se desarrollaron formulaciones para la elaboración de pan a escala de laboratorio (Tabla 4). La harina de arroz fortificada fue enriquecida con 5 hidrolizados de proteína de arroz que incluyen 3 hidrolizados de salvado de arroz (RBPHs) y 2 hidrolizados de endospermo (RPHs), salvado de arroz (RB) y concentrado de proteína de arroz (RFC) y harina de arroz (RF) (Anexo 8).

La Figura 3 ilustra el flujo de proceso que se llevó acabo en la planta piloto (Anexo 2) para la elaboración del pan que consistió en el control de masa de los ingredientes que están plasmados en la Tabla 3 con excepción del agua y se introdujeron en un dispensador. Luego, se le añadió agua y se procedió al mezclado de los ingredientes durante 4 horas al finalizar esta operación se dejó reposar la mezcla por 30 minutos. Finalmente, se procedió a hornearlo a 125 °C durante 50 minutos y se dejó reposar el pan por 1 hora para su posterior almacenamiento (25 °C). Se evaluaron las características texturales y ópticas 3 horas después del almacenamiento del producto y se dejaron por un día en almacenamiento para el desarrollo de la evaluación sensorial.

Figura 3. Diagrama de flujo para proceso de panificación



Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Diseño experimental

Se evaluó como variables independientes (proporción de harina de arroz fortificada, proteína de arroz y harina de trigo) sobre las variables dependientes (volumen especifico, color, textura, olor, sabor, apariencia y aceptabilidad) se estableció un diseño de mezcla Simplex-Centroide en el que consistió en 4 niveles como está ilustrado en la Tabla 4. Todos los experimentos se realizaron en triplicados. La respuesta de cada parámetro a investigar se analizó ajustando el modelo cúbico ($Y=\beta_1x_1+\beta_2x_2+\beta_3x_3+\beta_{12}x_1x_2+\beta_{13}x_1x_3+\beta_{23}x_2x_3+\beta_{123}x_1x_2x_3$) con regresión con el fin de identificar efectos significativos de las variaciones en los niveles de cada harina en las variables de respuestas. La significancia del término de error de falta de ajuste (R^2) y la significación del modelo ($P < 0,05$) se utilizó para juzgar la adecuación del ajuste del modelo cubico. Para la optimización, se aplicó un análisis multi-variable y se usó las siguientes respuestas:

- Volumen específico de pan (ml/g)
- Dureza (mN/cm^2)
- Color L* (brillo/oscuridad)

- Color a* (Rojo/Verde)
- Color b* (amarillo/azul)
- Cohesividad ($J/cm^3/J/cm^3$)
- Resistencia (J/cm^3)
- Elasticidad (N/cm)
- Olor (escala hedónica)
- Sabor (escala hedónica)
- Apariencia (escala hedónica)
- Aceptabilidad general (escala hedónica)

Tabla 4. Diseño experimental para la elaboración del pan

Tratamientos	**Harina de trigo (%)**	**Harina de arroz fortificada (%)**	**Harina de arroz (%)**
T1	100% (300 g)	0% (0g)	0% (0g)
T2	0% (0g)	100% (300 g)	0% (0g)
T3	0% (0g)	0% (0g)	100% (300 g)
T4	50% (150g)	50% (150g)	0% (0g)
T5	0% (0g)	50% (150g)	50% (150g)
T6	50% (150g)	0% (0g)	50% (150g)
T7	25% (75g)	25%(75g)	50%(150g)
T8	50%(150g)	25% (75g)	25%(75g)
T9	25% (75g)	50%(150g)	25% (75g)
T10	33.333% (99.999g)	33.334% (99.999g)	33.333% (99.999g)
T11	16.666% (50g)	66.666% (200g)	16.666% (50g)
T12	66.666% (200g)	16.666% (50g)	16.666% (50g)
T13	16.666% (50g)	16.666% (50g)	66.666% (200g)

Fuente: Elaboración propia

4.5. Etapa II. Evaluación de las características ópticas y texturales mediante análisis instrumental

Se contempla como variables evaluadas del pan como producto terminado, parámetros ópticos y texturales. El volumen especifico, textura (elasticidad, cohesividad, resistencia y dureza) y color (L*, a* y b*) se analizaron por triplicado El esquema experimental empleado para la evaluación de estas variables correspondió a la aplicación del método de superficie de respuesta (MSR). El MSR consideró los niveles de la harina de trigo, harina de arroz fortificada y harina de arroz que están ilustrada en la Tabla 4 y acoplada al diseño de mezcla Simplex-Centroide.

A) Volumen específico de pan (ml):

Se realizó el análisis mediante la técnica del método AACC 10-05 el cual consistió en llenar un recipiente completamente con semillas de rape, se medió la cantidad de semillas utilizadas y el total de la medición fue el estándar a utilizar, luego se colocó el pan en el mismo recipiente utilizado, posteriormente se agregó las semillas de rape hasta cubrirlo y se llenó completamente el recipiente, luego se vacío esa cantidad de semillas, y el volumen se determinó por una diferencia de volúmenes entre el volumen estándar y el volumen de la semillas utilizadas para cubrir el pan.

B) Textura:

Se realizó utilizando un texturómetro (Texture Technologies Corporation, T.A. XT plus) en conjunto con un software y siguiendo el método de la AACC 74-09, donde cada muestra se extrajo del centro geométrico del pan, ya que la corteza es más difícil, se utilizó un pequeño cilindro de 15 mm de diámetro y se cortó cada muestra a una distancia de 25 mm de largo, se aplicó una compresión de 25 a 100 mm de velocidad, la carga máxima se determinó en cada muestra. El software determina la elasticidad, resistencia, cohesividad y dureza.

C) Color:

El análisis de color para cada uno de los tratamientos se realizó con el equipo colorímetro evaluado el valor L* (brillo/oscuridad), a* (enrojecimiento/verdor) y b* (amarillo/azulado). La muestra de los panes fue medida en la superficie y para cada pan, se realizaron 3 mediciones.

4.6. Etapa III. Evaluación de las características sensoriales mediante evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó de tipo hedónica de 9 puntos, con 25 jueces semi-entrenados que correspondió a estudiantes de posgrado con especialidad en análisis sensorial voluntarios de la Universidad Estatal de Luisiana. Las muestras se analizaron un día después de hornear el pan tomando como variables control de escala hedónica el olor, sabor, apariencia y aceptabilidad. Todas las muestras fueron codificadas con tres números al azar, a cada panelista se le entrego 25 g de cada muestra servidas y codificadas en forma aleatorizada, así como lo ilustra el Anexo 16, Anexo 17 y Anexo 18 además se le entrego una pauta de evaluación sensorial (Anexo 12), un vaso con agua y un lápiz. La prueba se realizó en un salón amplio con buena ventilación e iluminación ubicada en el laboratorio de análisis sensorial.

El análisis de las variables sabor, olor, apariencia y aceptabilidad se realizaron por medio de la aplicación del método superficie de respuesta acoplados al diseño de mezcla simplex centroide. Para la variable aceptabilidad general, adicionalmente, se aplicó análisis de comparación de medias tukey, con el fin de identificar diferencias significativas de los tratamientos descritos en la Tabla 4.

4.6. Etapa IV. Determinación del Contenido Nutricional de los Panes con Mayor Aceptabilidad

La evaluación proximal es un conjunto de análisis que describen la composición nutritiva de las cenizas, grasas, humedad, carbohidratos, y proteínas. El análisis proximal se realizó

mediante la evaluación de los panes de alta aceptación considerando los tratamientos presentados en la Tabla 4. La aplicación de comparación de medias tukey se llevó acabo con el fin de identificar diferencias significativas entre el contenido de cenizas, grasas, humedad, carbohidratos, y proteínas de los tratamientos que reportaron alta aceptabilidad.

A) Carbohidratos: Los carbohidratos, se determinan por diferencia luego que se han completado los análisis de humedad. Cenizas, fibra cruda, grasa y proteína cruda, así:

$$\% \text{ CHO} = 100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ grasa} + \% \text{ ceniza} + \% \text{ humedad}) \tag{4.1}$$

B) Proteína: Se realizó por el método de combustión de Dumas usando el equipo determinador de Nitrógeno/Proteína, con un factor de conversión de 6.25 de contenido de nitrógeno a contenido de proteína (Emami *et.al*, 2008). Se usó 0.2 g de muestra de pan.

C) Grasa: El contenido de grasa bruta en el cereal fue determinada utilizando el método de extracción Soxhlet con equipo Soxtec usando hexano como solvente a temperatura de 155 a 210 °C, con tres gramos de muestra macerada y con el equipo en el programa # 1 en las siguientes condiciones: ebullición 60 min, enjuague 10 min, recuperación del solvente 10 min, secado 10 min, después de la extracción en el Soxtec y secada en horno a 105 °C por tres horas; la grasa residual fue pesada en una balanza analítica (Fisher scientific, ML-T). Se utilizó la ecuación 4.3 para determinar la cantidad de grasa en cada formulación del pan.

$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{Peso de grasa extraída}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \tag{4.2}$$

D) Humedad (método AACC 44_01.01): La determinación de la humedad, es basada en la merma generada, mediante el calentamiento a 105 ºC durante tres horas, en un horno secador ojo. Tomado en consideración la ecuación 4.1.

$$\%\ \text{Humedad} = \frac{\text{Peso (g)crisol con muestra} - \text{peso(g)de crisol con residuo}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad (4.3)$$

E) Cenizas (método AACC 08_01.01): Las cenizas se refieren al contenido de minerales en la muestra como calcio, fosforo, potasio, magnesio y hierro. La determinación se basa en someter la muestra a una temperatura de 600 ºC, con el fin de eliminar la materia orgánica, la cual se destruye a esta temperatura. Para el análisis del pan se utilizaron 2.5 g de muestra macerada y su cuantificación se obtuvo al aplicar la ecuación 4.2.

$$\%\ \text{de Cenizas} = \frac{\text{Peso del crisol con residuo} - \text{Peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad (4.4)$$

4.7. Análisis estadístico

Los resultados se realizaron con la ayuda del programa Minitab 17 que fue utilizado tanto para el diseño mezcla simplex centroide como para generar las correspondientes superficies de respuesta y los coeficientes del modelo cubico especial para la evaluación de las características de pan (ópticas, texturales y sensoriales). Además, se realizó la comparación de medias tukey con los tratamientos del diseño de mezcla simplex centroide para identificar las diferencias significativas del contenido proximal de los tratamientos con los puntajes más altos de aceptabilidad.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Desarrollo de formulaciones a partir de la utilización de harina de arroz fortificada, harina de trigo y harina de arroz

Las formulaciones se desarrollaron a partir de un programa de diseño de mezcla, utilizando la harina de arroz fortificada, harina trigo y harina de arroz como materias primas principales acoplados al diseño experimental (diseño de mezcla), las formulaciones resultantes están plasmadas en la Tabla 4 en la metodología.

5.2. Evaluación de las características ópticas y texturales de los panes mediante análisis instrumental

5.2.1. Características texturales del pan

A. Volumen especifico

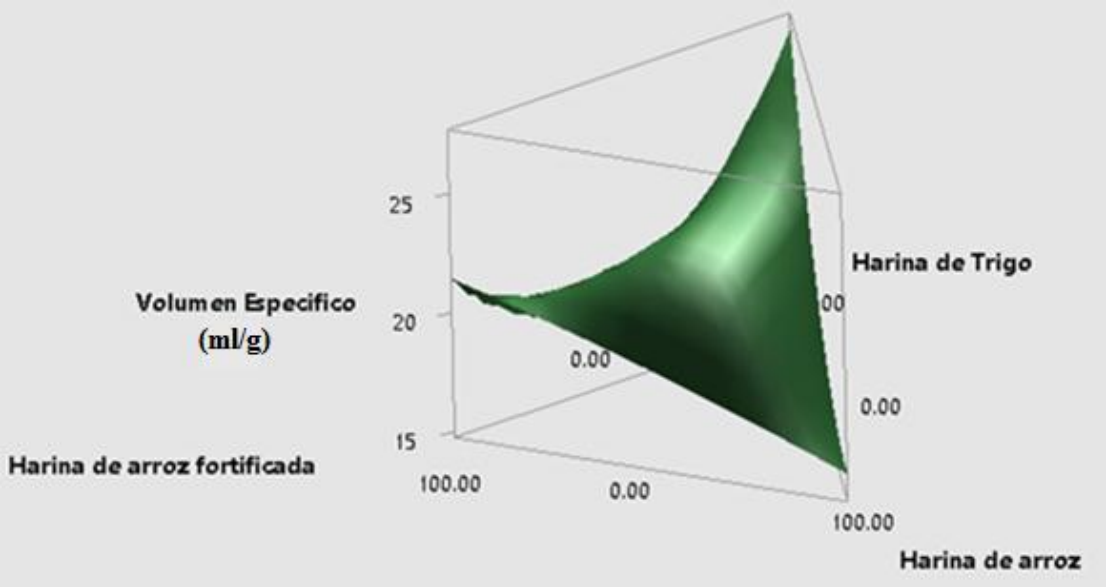
La Figura 4 ilustra el efecto de la harina de arroz, harina de trigo y harina de arroz fortificada sobre el volumen específico de los panes y se puede observar que el puntaje más alto corresponde a los panes elaborados con la harina de trigo, seguido por la harina de arroz fortificada, siendo el valor más bajo la harina de arroz.

Adicionalmente, la Figura 4 demuestra que la región entre la harina de arroz fortificada y harina de trigo obtuvieron puntajes mayores que la región entre la harina de arroz y harina de trigo. En otras palabras, los tratamientos en el que se utilizaron harina de arroz

fortificada con harina de trigo obtuvieron mejores resultados que los tratamientos con harina de arroz y harina de trigo.

Estos resultados no son paralelos al contenido de almidones totales de la harina de arroz y harina de arroz fortificada (Anexo 14) ya que los panes elaborados con harina de arroz fortificada contienen menor contenido de almidón que los productos de panificación preparados con la harina de arroz. Estos reportes no concuerdan con Faubion y Hoseney (1989) que reportan que el contenido de almidón mejora las propiedades visco-elástica de los productos de panadería y así mismo el volumen especifico.

Figura 4. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre el volumen especifico



Fuente: Elaboración propia

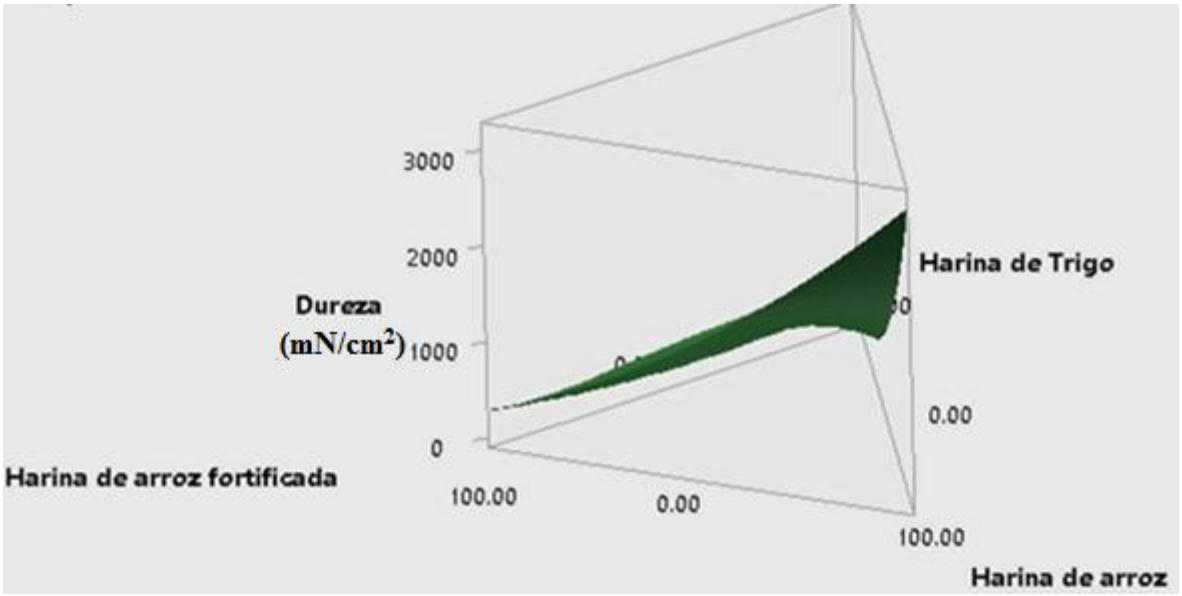
Por otra parte, el contenido proteico se concentró con mayor proporción en los panes formulados con harina de arroz fortificada en comparación con los panes elaborados con la harina de arroz. Este dato ya se ha informado en otros estudios (Amagliani *et al.*, 2016) y se ha atribuido a la presencia de hidrolizados de proteínas de salvado y endospermo en la harina de arroz fortificada que contienen un alto contenido de materia soluble en agua. Como consecuencia, estos ingredientes proteicos pueden mejorar el volumen específico de los productos de panadería influyendo en las propiedades de viscosidad de pegado de la

harina de arroz fortificada (Anexo 9) que asimila el comportamiento de viscosidad de pegado de la harina de trigo (Anexo 11) y se comporta de manera diferente a la viscosidad de pegado de la harina de arroz (Anexo 10).

B. Dureza

La dureza (Figura 5) de los panes estuvo con el puntaje más alto en la zona de la harina de arroz y el puntaje más bajo por la región de harina de trigo con mínima diferencia hacia los panes elaborados con harina de arroz. Este resultado coincide con los estudios de (Gallagher *et al.* 2003; Sabanis *et al.* 2009) que describen que el volumen específico es inversamente proporcional a la dureza., es decir, que los productos de panificación con volúmenes específicos altos carecen de dureza y son esponjosos.

Figura 5. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la dureza



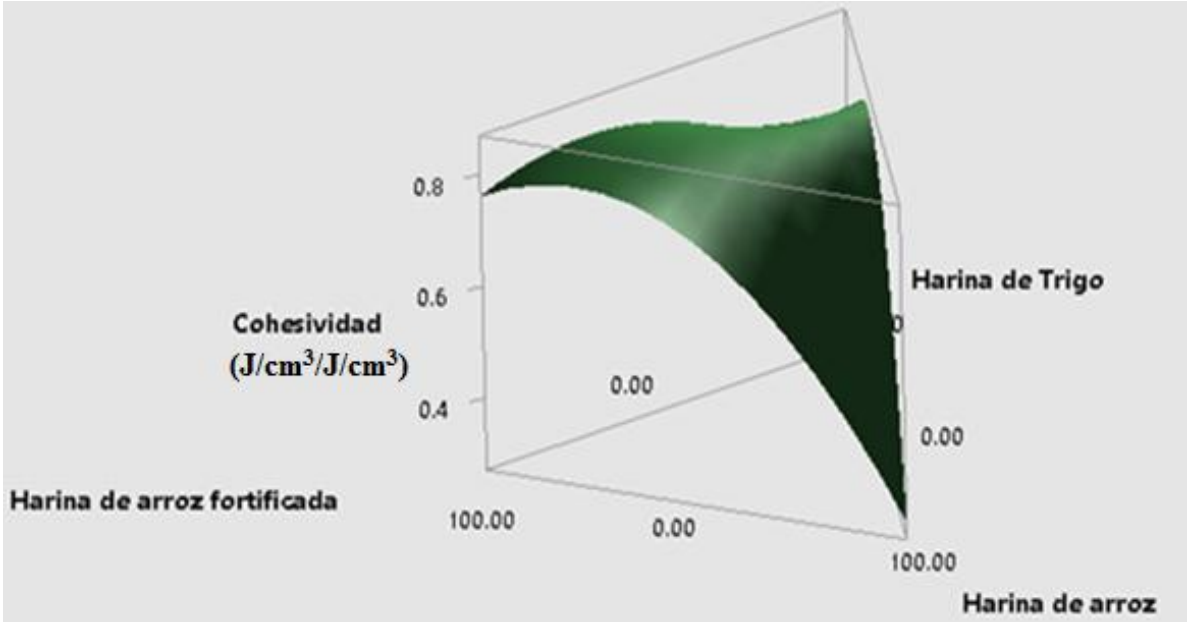
Fuente: Elaboración propia

C. Cohesividad

Respecto a la cohesividad la Figura 6 presenta el puntaje más bajo en los panes preparados con la harina de arroz y el puntaje más alto en los panes elaborados con la harina de trigo

con mínima diferencia hacia los panes producidos con harina de arroz fortificada. En adición, esta ilustración (Figura 6) nos reportan que en la zona entre la harina de trigo y harina de arroz fortificada se producen productos de panadería más cohesivos que en el área entre la harina de arroz y harina de trigo. Los tratamientos en el que se utilizaron harina de arroz fortificada con harina de trigo producen productos más cohesivos que los tratamientos con harina de arroz y harina de trigo. Como puede observarse, el efecto ejercido por la harina de arroz sobre la cohesividad es negativo ya que en un producto de panadería de esta naturaleza se espera un producto cohesivo. Por otro lado, el efecto de la harina de arroz fortificada sobre la cohesividad es positivo.

Figura 6. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la cohesividad



Fuente: Elaboración propia

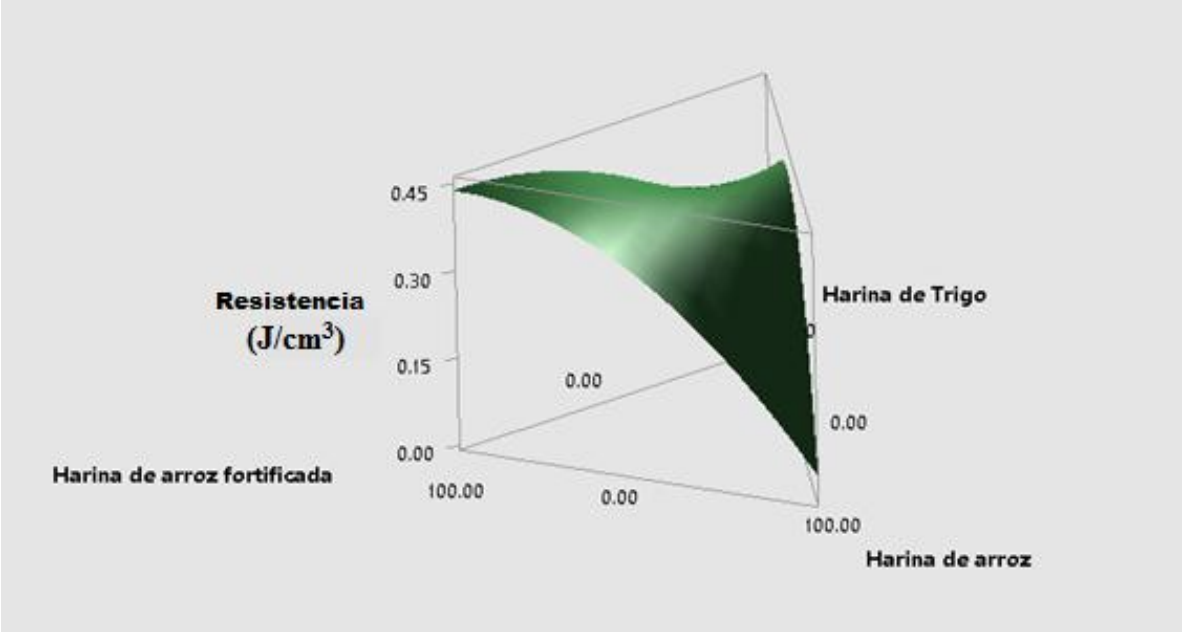
D. Resistencia

La Figura 7 detalla el grafico de superficie de respuesta para la resistencia y reporta el puntaje más bajo en los panes preparados con la harina de arroz y el puntaje más alto en los panes elaborados con la harina de trigo con mínima diferencia hacia los panes producidos con harina de arroz fortificada. La región entre la harina de trigo y harina de arroz

fortificada tiene puntajes más altos que en la zona entre la harina de arroz y harina de trigo. Los panes con mezcla de harina de arroz fortificada con harina de trigo tienen más resistencia que los panes formulados con mezcla de harina de arroz y harina de trigo.

La resistencia de los panes fue influenciada de manera negativa por la harina de arroz ya que en estos productos de panadería se tiene la expectativa a observar productos resistentes. En el otro caso, el efecto de la harina de arroz fortificada fue beneficioso ya que la mezcla de harina de arroz fortificada con harina de trigo presento resultados similares al patrón (100% harina de trigo).

Figura 7. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la resistencia



Fuente: Elaboración propia

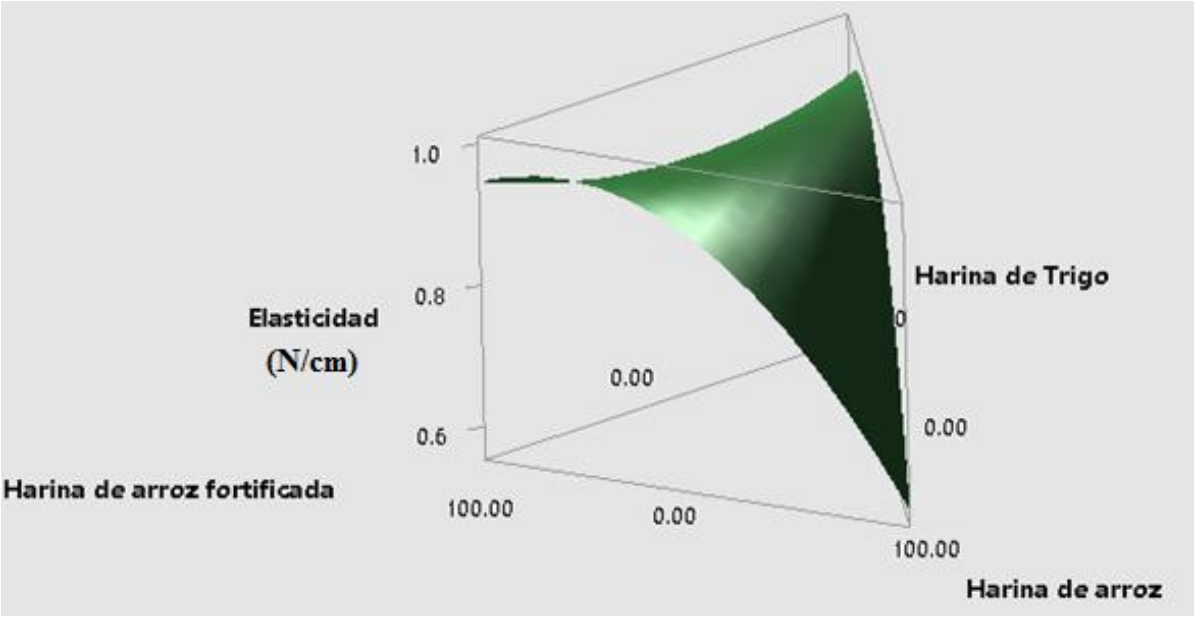
E. Elasticidad

En la Figura 8 se muestra el grafico de superficie de respuesta para la elasticidad en función de los porcentajes de la harina de trigo, harina de arroz fortificada y harina de arroz y se puede observar que el puntaje más alto corresponde a los panes formulados con harina de

trigo y con mínima diferencia hacia los panes elaborados con harina de arroz fortificada. El puntaje más bajo se reportó para los panes elaborados con harina de arroz.

La Figura 8 muestra que la elasticidad de los panes tiene puntajes bajos entre el área de la harina de arroz y con la harina de trigo que la zona entre la harina de trigo y harina de arroz fortificada. Es decir, los tratamientos en el que se utilizó la combinación de harina de trigo y harina de arroz fortificada obtuvieron mejores puntajes con respecto a la elasticidad que los tratamientos con los panes elaborados con harina de arroz y harina de trigo. Los puntajes altos de elasticidad generados por los panes preparados con harina de trigo se producen por la presencia de gluten. El gluten se estructura como una red tridimensional que permite tener propiedades viscoelásticas de alta calidad (Faubion y Hoseney, 1989).

Figura 8. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz y harina de arroz fortificada sobre la elasticidad



Fuente: Elaboración propia

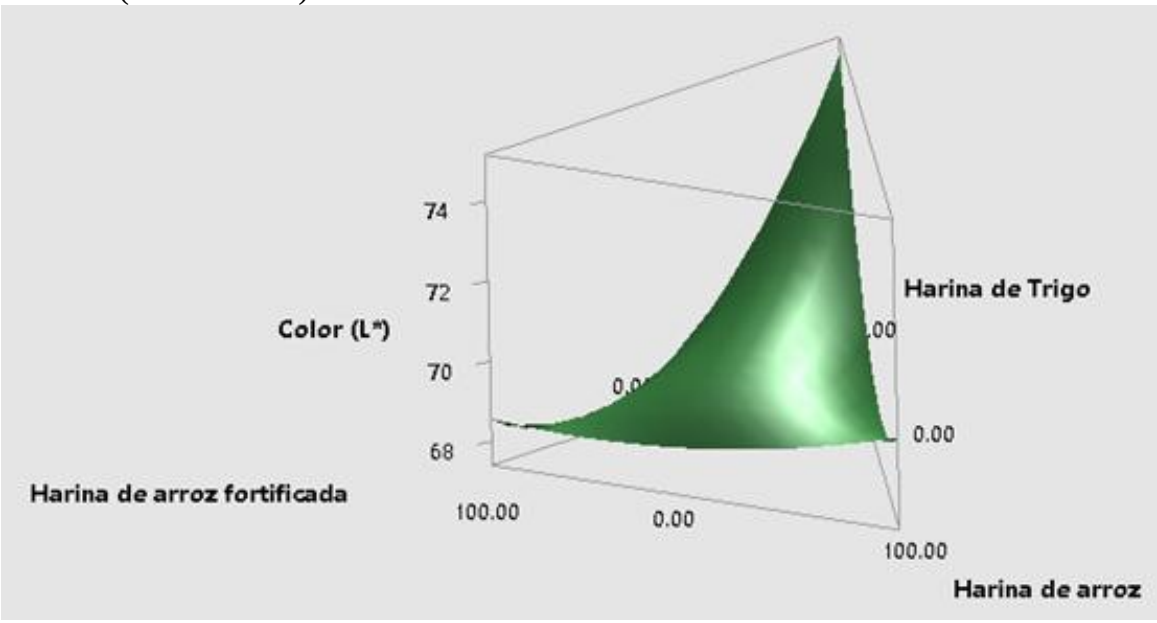
5.2.2. Características Ópticas

A. Color L*

En la Figura 9 se muestra el grafico para el color L* en función de las concentraciones de la harina de trigo, harina de arroz fortificada y harina de arroz y se puede observar que el puntaje mayor de L* se obtiene empleando el mayor porcentaje de harina de trigo seguida de la harina de arroz fortificada y harina de arroz.

La Figura 9 detalla que el grado de luminosidad es más bajo entre el área de la harina de arroz y la harina de arroz fortificada que la región de la harina de trigo. La luminosidad (L*) de la corteza del pan fue de color más claro o brilloso en el caso de los panes producidos con harina de arroz y harina de arroz fortificada y más oscuro para los panes elaborados con harina de trigo.

Figura 9. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el color L* (Luminosidad)



Fuente: Elaboración propia

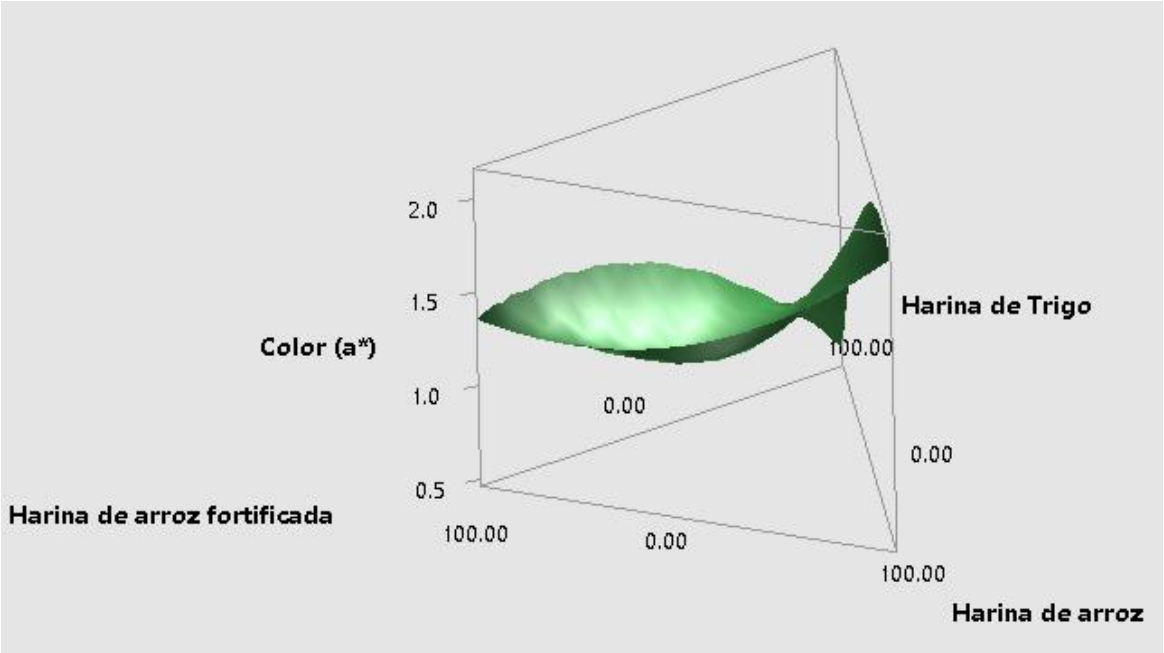
Los resultados concuerdan con los reportados por Miñarro *et al.* (2010) que observaron que los panes fabricados con harina de arroz tenían puntajes de L* más altos y por lo tanto, eran más luminosos que los panes hechos con harina de trigo. El valor de L* de las harinas ejercen un efecto sobre la luminosidad de los panes ya que el valor de L* de la harina de arroz y harina de arroz fortificada tienen un valor de L* menor que el de la harina de trigo.

B. Color a*

Para el valor a* (rojo/verde), la Figura 10 muestra niveles similares entre las distintas regiones por lo que no hay cambios significativos para las diferentes mezclas de las harinas. El color a* manifiesta la intensidad más alta con los panes preparados con la harina de trigo y la intensidad del color a* más baja con panes formulados con la harina de arroz con mínima diferencia para los productos de panadería producidos con la harina de arroz fortificada.

La región entre la harina de trigo y harina de arroz fortificada tiene el puntaje más alto respecto al color (rojo/verde) que la zona entre la harina de arroz y harina de trigo y el área entre la harina de arroz fortificada y harina de arroz. Los panes elaborados con mezcla de harina de arroz fortificada con harina de trigo tienen puntajes más altos con respecto al color a* que los panes elaborados con los tratamientos que utilizaron las combinaciones de harina de arroz con harina de trigo y harina de arroz con harina de arroz fortificada.

Figura 10 Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el color a* (Verde/Rojo)



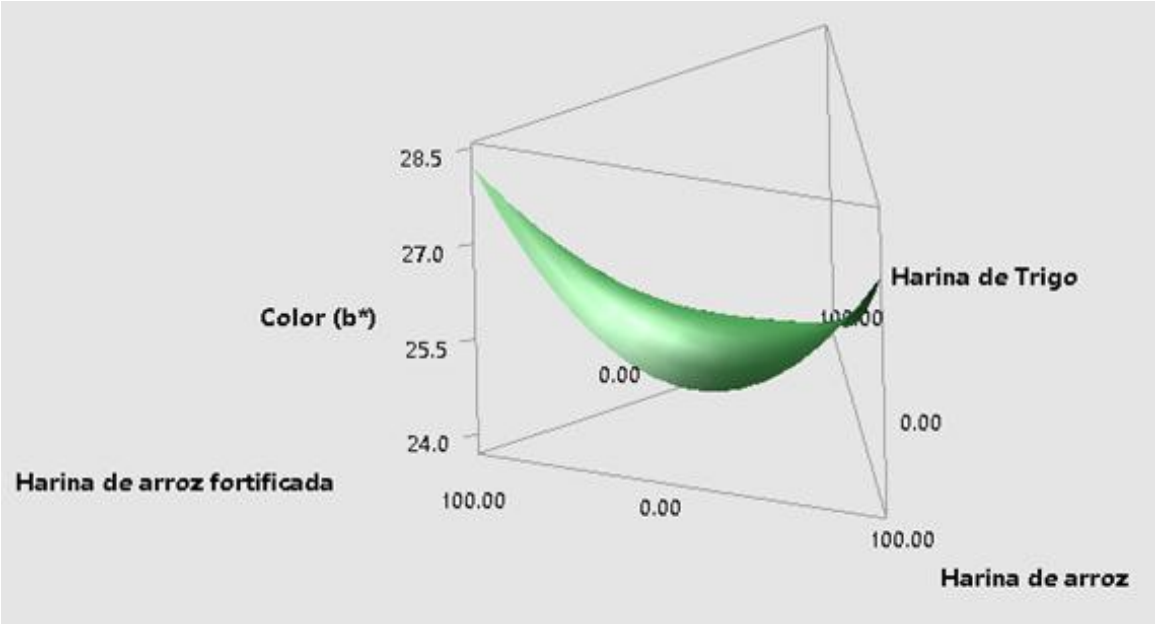
Fuente: Elaboración propia

C. Color b*

Por último, el color b* (azul/amarillo) presento mínimas diferencias entre las diferentes harinas y el color b* logró ser más intenso para los panes producidos con harina de arroz seguido por los panes formulados con harina de trigo y el puntaje más bajo los reporto los panes preparados con harina de arroz fortificada. Mancebo *et al*. (2015) también presento que la harina de arroz ejerce un efecto significativo sobre el color b* de los panes elaborados con harina de arroz.

La zona entre la harina de trigo y harina de arroz tiene el puntaje más alto respecto al color (b*) que la zona entre la harina de arroz fortificada y harina de trigo y el área entre la harina de arroz y harina de arroz fortificada. Los panes producidos con la combinación de harina de arroz con harina de trigo tienen puntajes más altos con respecto al color b* que los panes preparados con los tratamientos que utilizaron las mezclas de harina de arroz fortificada con harina de trigo y harina de arroz con harina de arroz fortificada.

Figura 11. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el color b* (azul/amarillo)



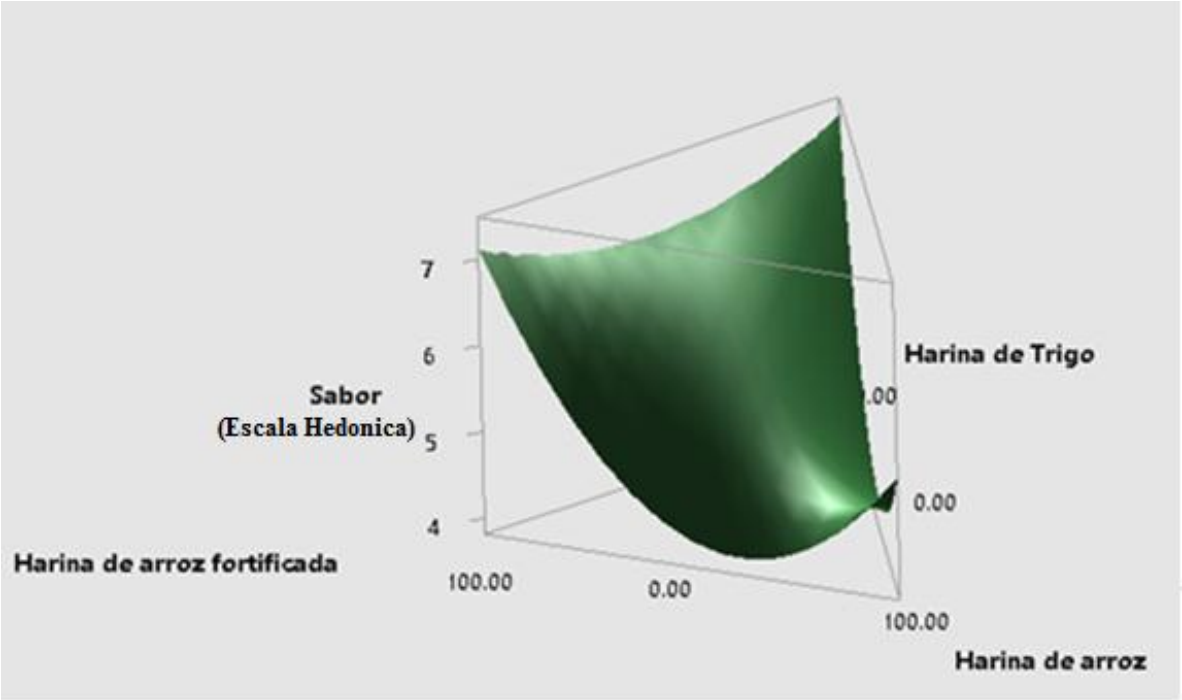
Fuente: Elaboración propia

5.3. Características Sensoriales

A. Sabor

Las superficies de respuesta para el sabor (Figura 12) ilustra las calificaciones más bajas para los panes formulados con de harina de arroz (Anexo 3) y la calificación más alta para los panes elaborados con harina de trigo con mínima diferencia hacia los panes elaborados con harina de arroz fortificada. Este grafico (Figura 12) reporta que la calificación respecto al sabor es más baja entre el área de la harina de arroz y harina de trigo que la zona de la harina de trigo y harina de arroz fortificada. El sabor de los panes fue mejor calificado en el caso de los panes producidos con harina de arroz y harina de arroz fortificada que para los panes elaborados con harina de trigo y harina de arroz. Además, los panes de harina de arroz se clasificaron de muy mal gusto por el hecho de que el sabor de los panes formulados con harina de arroz no era asociado al pan convencional de harina de trigo.

Figura 12. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el sabor

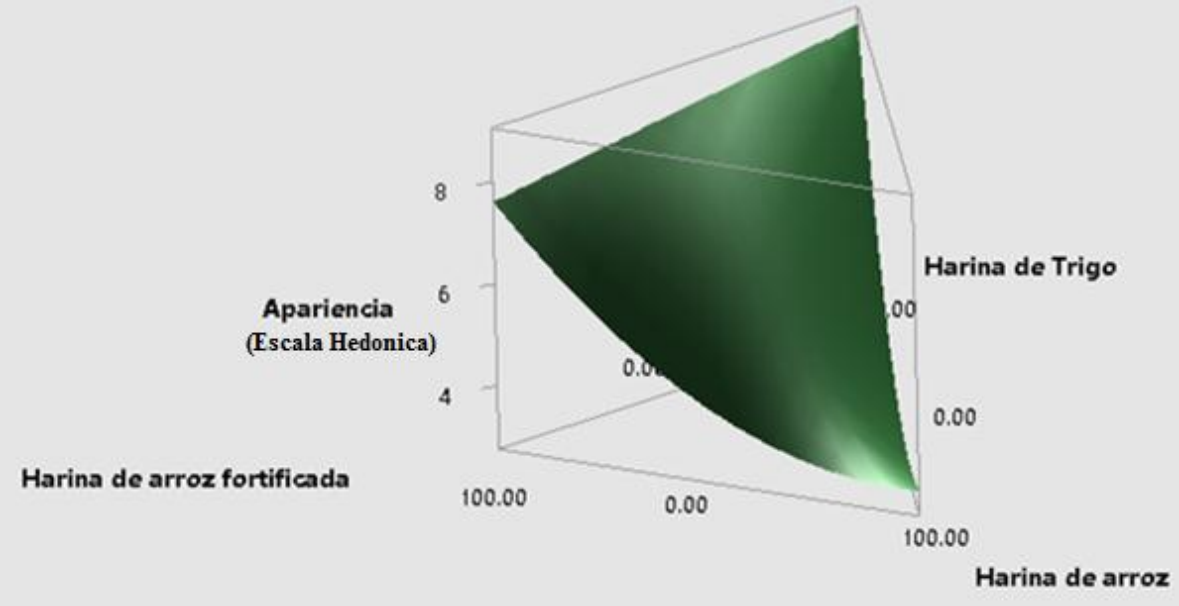


Fuente: Elaboración propia

B. Apariencia

El gráfico con respecto a la apariencia (Figura 13) ilustra las calificaciones más altas para los panes elaborados con harina de trigo (Anexo 5) con mínima diferencia hacia los panes formulados con la combinación de harina de arroz fortificada y harina de trigo y la calificación más baja para los panes producidos con la mezcla de harina de arroz y harina de trigo (Anexo 3). La Figura 13 nos ilustra que la calificación respecto a la apariencia es más alta entre el área de la harina de arroz fortificada y harina de trigo que la zona de la harina de trigo y harina de arroz. Los tratamientos con la mezcla de harina de arroz fortificada y harina de trigo tienen mejores calificaciones que en el caso de los panes producidos con la combinación de harina de arroz y harina de trigo.

Figura 13. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre la apariencia



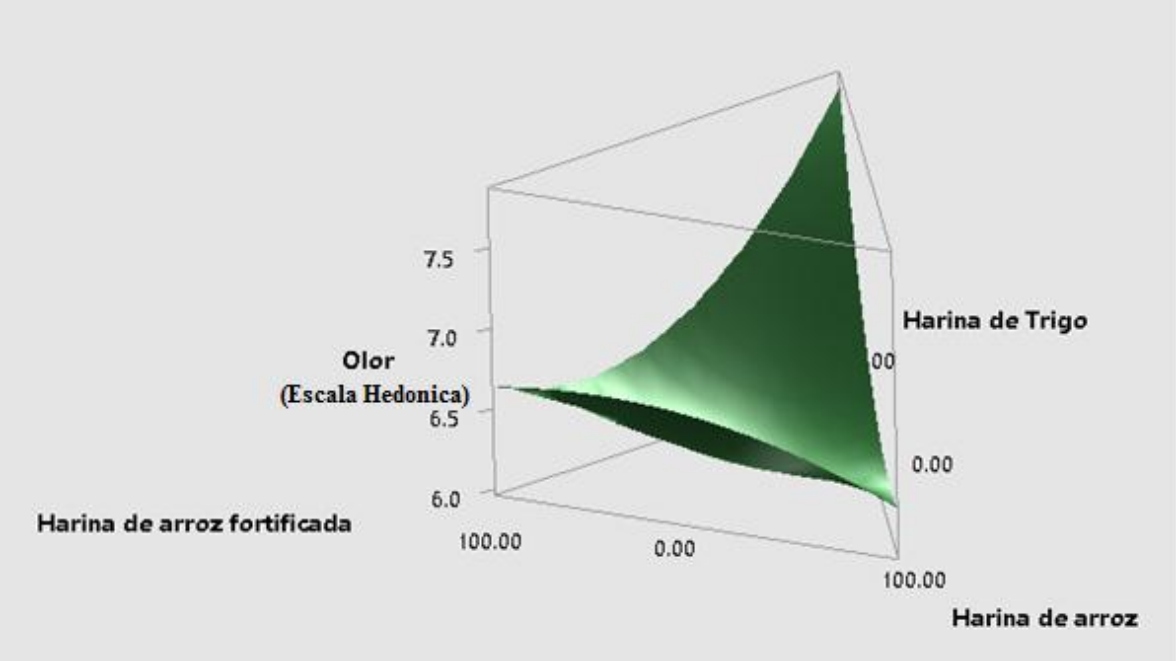
Fuente: Elaboración propia

C. Olor

En la Figura 14 se muestra el grafico de superficie de respuesta para el olor en función de las proporciones de la harina de trigo, harina de arroz fortificada y harina de arroz y se puede observar que el valor más alto corresponde al mayor contenido de harina de trigo seguida de la harina de arroz fortificada y harina de arroz.

La Figura 14 muestra que el olor es valorizado en puntajes bajos entre la zona de la harina de arroz y la harina de arroz fortificada que en el área de la harina de trigo. Es decir, los tratamientos en el que se utilizaron en su mayoría harina de trigo obtuvieron mejores clasificaciones con respecto al olor que los tratamientos con los panes elaborados con harina de arroz y harina de arroz fortificada. Estos puntajes concuerdan con los estudios de Hager *et al*. *(*2012) que reporto que las cualidades sensoriales de los productos de panificación con menor puntaje al aroma por el gusto están orientadas a los panes elaborados con harina de arroz mientras los panes formulados con harina de trigo alcanzaron las calificaciones más altas.

Figura 14. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre el olor



Fuente: Elaboración propia

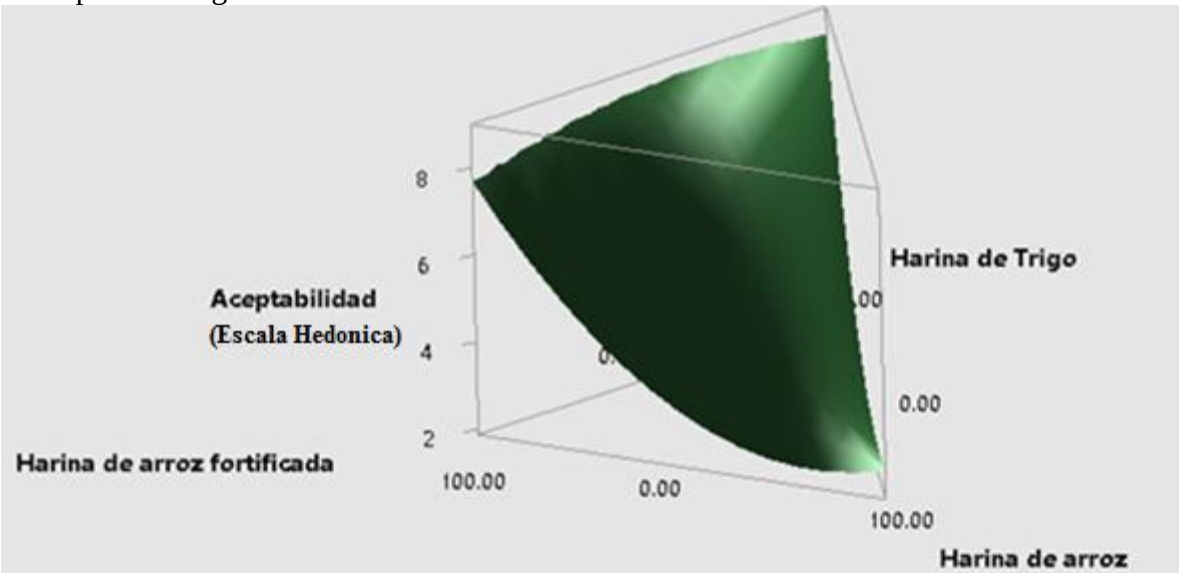
D. Aceptabilidad General

Respecto a la aceptabilidad general, el pan con el puntaje más bajo fue el pan de harina de arroz (Anexo 7) y el puntaje más alto fue para el pan con harina de trigo y harina de arroz fortificado (Anexo 6). Estos resultados confirmaron los reportados por Hager *et al.* (2012) que indicó que el pan de harina de trigo generalmente se clasifica mejor con respecto a la aceptabilidad general que el pan de harina de arroz.

Los resultados para la aceptabilidad general mostraron (Anexo 13) que existen diferencias significativas ($P<0.05$); resultando el T1, T2, T4, T8, T9, T10, T11 y T12 de los mejores evaluados. Estos resultados se pueden atribuir a que estas formulaciones contienen harina de trigo y harina de arroz fortificada en su mayoría en contenido, siendo el T4 (50% harina de arroz fortificada y 50% harina de trigo) la formulación más recomendable en términos de maximizar el uso de la harina de arroz fortificada y competir con él T1 (100% harina de trigo). Además, en el Anexo 13 se puede observar que aquellos tratamientos con un alto

contenido de harina de arroz fortificada obtuvieron buena aceptabilidad indicando que la harina de arroz fortificada produce productos de panadería con alto grado de aceptabilidad.

Figura 15. Efecto de la harina de trigo, harina de arroz fortificado y harina de arroz sobre la aceptabilidad general



Fuente: Elaboración Propia

5.4. Determinación del contenido nutricional de los panes con mayor aceptabilidad

En la tercera etapa se evaluaron las variables de composición nutricional del pan elaborado teniendo como resultado los tratamientos T1, T2, T4, T8, T9, T10, T11 y T12 con alto grado de aceptación (Anexo 13.) y se les realizaron los respectivos análisis proximales (carbohidratos, proteínas, grasa, cenizas y humedad).

A) Carbohidratos: Los carbohidratos en los diferentes tratamientos presentaron variaciones resultando en 4 grupos de tratamientos que se les identificaron diferencias significativas componiéndose de grupo 1 (T2), grupo 2 (T11), grupo 3 (T1, T4, T10 y T12) y grupo 4 (T8 y T9). El contenido de carbohidratos que obtuvo el porcentaje mínimo de 36.7% fue el T2 y los tratamientos T8 y T9 que oscilan entre 48-48.2% alcanzaron el porcentaje máximo. Estos resultados coinciden con el contenido de harina de arroz fortificada en conjunto con la harina de arroz ya que que los tratamientos T8 y T9 están

compuestos en su mayoría de harina de arroz y harina de arroz fortificada recordando que la harina de arroz en su proporción mayoritaria está compuesta de carbohidratos. (Tabla 5).

B) Proteínas: La composición proteica de los panes con mayor aceptabilidad se muestra en la Tabla 5. El pan elaborado con 100% harina de arroz fortificada que representa el contenido máximo mostró un contenido de proteína (14.6%) dos veces mayor la proporción de contenido proteico al pan elaborado con 100% harina de trigo (7.5%) que representa el porcentaje mínimo junto con el T12 en términos de contenido proteico. Los tratamientos T4, T8 y T9 son significativamente similares junto con los tratamientos T10 y T11 y tratamientos T1 y T2. Estos resultados están en línea con la composición proteica de la harina de arroz fortificada (Anexo 14) que reporta 15.7% de proteína en composición nutricional y representa la harina más enriquecida por contenido proteico entre las 3 harinas.

C) Grasa: el contenido de grasa (Tabla 5) no varía para los tratamientos y todos son estadísticamente iguales con excepción al tratamiento 8 que presenta el contenido más alto de grasa con un 5.6%. T8 es estadísticamente igual los tratamientos T2, T4, T9 y T11 con una mínima diferencia hacia el resto de los tratamientos (T1, T10 y T12).

D) Cenizas: El contenido de ceniza para los tratamientos T2 y T11 que son idénticos estuvieron dentro del rango de 9.05% - 9.65%. Estos tratamientos en su mayoría contienen harina de arroz fortificada y estas formulaciones muestran el contenido de ceniza más altos mientras los panes elaborados con 100% harina de trigo mostró el más bajo (1.5%). El resto de los tratamientos, el contenido de ceniza varió entre 3.7% (T9) a 8.5% (T4). Estos datos están relacionados con el contenido de cenizas de la harina de arroz fortificada ya que los tratamientos T2 y T22 están compuestos en su mayoría de harina de arroz fortificada representado el contenido más alto entre las 3 harinas en términos de contenido de cenizas (Tabla 5).

E) Humedad: La humedad (Tabla 5) no fue afectada por las diferentes fórmulas ya que no hay diferencia significativa entre los tratamientos T4, T8, T9 y T11. El pan elaborado con 100% harina de trigo (T1) (Anexo 4) reporta una humedad de 39.8% representado el porcentaje más alto y los tratamientos T4, T8, T9 y T11 siendo los porcentajes más bajos en contenido de humedad. Con respecto al resto de los tratamientos, el contenido total de humedad varió de 34.4% (T10) a 36.5% (T12) (Tabla 6). Los porcentaje de humedad más altos se dieron en los panes elaborados en su mayoría por harina de trigo (T1 y T12) y este efecto se dio por la presencia del gluten y sus propiedades visco-elásticas que no dejo escapar la humedad lo que le permite retener más agua sin dejar que la temperatura externa evapore la humedad.

Tabla 5. Composición proximal de los panes con los tratamientos de alto grado de aceptabilidad

	T1	T2	T4	T8	T9	T10	T11	T12
Carbohidratos	46.52 ± 0.04^{c}	36.72 ± 1.24^{a}	43.8± 0.84^{c}	48 ± 0.46^{d}	48.21 ± 0.1^{d}	46.27 ± 0.62^{c}	39.75 ± 0.26^{b}	44.97 ± 0.4^{c}
Proteínas	7.49 ± 0.17^{a}	14.65 ± 0.07^{d}	9.33± 0.007^{b}	8.73 ± 0.18^{b}	9.39± 0.03^{b}	10.43± 0.56^{c}	11.70± .029^{c}	7.55 ± 0.04^{a}
Grasa	4.73 ± 1.04^{a}	5.06 ± 1.01^{ab}	4.86 ± 1.40^{ab}	5.58 ± 1.27^{b}	5.45 ± 1.27^{ab}	4.3 ± 01.06^{a}	5.34 ± 1.03^{ab}	4.51 ± 1.27^{a}
Cenizas	1.47 ± 0.08^{a}	9.05 ± 0.31^{ef}	8.55 ± 0.34^{e}	5.15 ± 0.41^{c}	3.72 ± 0.12^{b}	4.6 ± 0.15^{bc}	9.65± 0.22^{f}	6.5 ± 0.20^{d}
Humedad	39.79 ± 0.24^{e}	34.52 ± 0.31^{c}	33.46 ± 0.2^{ab}	32.54± 0.16^{a}	33.23 ± 0.12^{ab}	34.4± 0.17^{c}	33.56± 0.09^{ab}	36.47 ± 0.05^{d}

T1; 100% Harina de trigo, T2; 100% harina de arroz fortificada, T4, 50% Harina de trigo con 50% harina de arroz fortificada, T8, 50% harina de trigo con 25% Harina de arroz fortificada y con 25% Harina de arroz, T9, 50% Harina de arroz fortificada con 25% Harina de trigo y Harina de arroz, T10, 33.3% Harina de trigo con 33.4% Harina de arroz fortificada y 33.3% Harina de arroz; T11, 66.7% Harina de arroz fortificada con 16.65% Harina de trigo y 16.65% Harina de arroz, T12, 66.7% Harina de trigo con 16.65% Harina de arroz fortificado y 16.65% Harina de arroz *Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) con prueba Tukey. Los valores son medias ± desviaciones estándar de los datos del análisis por triplicado.

VI. CONCLUSIONES

En el desarrollo de formulaciones se desarrollaron 13 formulaciones las cuales los T1, T2, T4, T8, T9, T10, T11 y T12 resultaron de los mejores evaluados, siendo el T4 (50% harina de arroz fortificada y 50% harina de trigo) la formulación más recomendable en términos de maximizar el uso de la harina de arroz fortificada y competir con él T1 (100% harina de trigo) indicado que el uso de la harina de arroz fortificada permite el uso de una mayor cantidad de harina de arroz, en la elaboración de pan.

Para las variables evaluadas instrumentalmente (elasticidad, cohesividad, resistencia, volumen especifico y color L*) los panes elaborados con la mezcla de harina de arroz fortificada y harina de trigo obtuvieron resultados similares a los panes elaborados con un 100% de harina de trigo, mientras que los panes elaborados con la combinación de harina de trigo con harina de arroz, obtuvieron resultados no deseados en comparación a los panes elaborados con 100% harina de trigo.

Las características sensoriales para la apariencia, olor, y aceptabilidad mostraron mejores calificaciones para los panes elaborados con harina de trigo y harina de arroz fortificada con mínima diferencia hacia los panes elaborados con 100% de harina de trigo, los panes elaborados con la combinación de harina de arroz y harina de trigo obtuvieron las calificaciones más bajas.

De los panes que obtuvieron mayor aceptabilidad el pan T4 (50% harina de trigo y 50% harina de arroz fortificada) mostro un contenido nutricional más alto que el patrón (100% harina de trigo), mostrando que es posible mejorar el contenido nutricional de los panes sin alterar la aceptabilidad de este.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar análisis de viscosidad de pegado en la harina de arroz, harina de arroz fortificada y harina de trigo antes de ser utilizada en el proceso, para conocer la calidad de la materia prima.

Tener información completa de los manuales antes de utilizar los equipos (colorímetro y texturómetro) para realizar la medición de las muestras de pan.

Capacitar los panelistas encargado para lograr una correcta aplicación del proceso de evaluación sensorial.

VIII. BIBLIOGRAFIAS

AACC, International Approved Methods. (2014). Guidelines for Measurement, 11th Edition. 390-444 pp.

Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A.L., O'Mahony, J.A., (2016). Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients. J. Food Compos. (59): 18-26 p.

Asimah V.K., Kpodo F.M., Adzinyo O.A, Dzah C.S. (2016). Utilization of Brown Rice Flour and Peanut Paste in Cake Production. American Journal of Food Science and Technology. (4): 129-134 p.

Bond, N. (2004). Rice milling In E. T. Champagne (Ed.), Rice: Chemistry and Technology, St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 3rd Edition, 283-300 p.

Capriles, V.; Arêas, J. (2014). Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. (13):871-890 p.

Champagne, T., Wood, F., Juliano, O., & Bechtel, B. (2004). The rice grain and its gross composition. In E. T. Champagne (Ed.), Rice: Chemistry and Technology, St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 3rd Edition, 77-107 p.

Gallagher E., Gormley R., y Arendt K., (2003) Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. J Food Eng, (56): 153–161 p.

Ge, J., Xing, Z., Xu, G., He, Q. (2005). QTL analysis of rice grain elongation, volume expansion and water absorption using are combinant inbred population. Plant Breed. (124): 121-126 p.

Fabian, C., & Ju, Y.-H. (2011). A review on rice bran protein: Its properties and extraction methods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. (9): 816-827 pp.

Faubion J., M., Carl Hoseney R. (1989). The Viscoelastic Properties of Wheat Flour Doughs, Dough Rheology and Baked Product Texture, New York, NY, Van Nostrand Reinhold International Company Limited, 1st edition, 29-66 p.

Gujral, H. and Rosell, C. (2003). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. Food Research International. (37): 75-81 p.

Hager, A., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E. and Arendt, E. (2012). Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. Journal of Cereal Science. (56): 239-247 p.

Hamada, J. S. (1997). Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. Cereal Chemistry. (5): 662-668 p.

Han, H., Cho, J., Kang, H. and Koh, B. (2011). Rice varieties in relation to rice bread quality. Journal of the Science of Food and Agriculture. (92): 1462-1467 p.

Hibino, T., Kidzu, K., Masumura, T., Ohtsuki, K., Tanaka, K., & Kawabata, M. (1989). Amino acid composition of rice prolamin polypeptides. Agricultural and Biological Chemistry. (53): 513-518 p.

Hoogenkamp, H. (2015). Plant protein vision. Chapter 6. Rice bran: The complete super food. E-Book, CreativeSpace, San Bernadino, CA. 91-130 pp.

Jaganathan, A. (2016). Production of Rice Flour and Peanut Paste in Yellow Cake. International Journal of Science & Research. (5) 1410-1413 p.

Jan, S., Ghoroi, Chinmay S., Dharmesh C. (2017). Characterization of bulk and shear properties of basmati and non-basmati rice flour. Journal of the Science of Food and Agriculture. Doi: 10.1002/jsfa.8512.

Ju, Z. Y., Hettiarachchy, N. S., & Rath, N. (2001). Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins. Journal of Food Science, (66): 229-232 p.

Kadan, R., R. Bryant, Miller J. (2008). Effects of Milling on Functional Properties of Rice Flour. Journal of Food Science. (73) 151-154 p.

Kadan, R., Robinson, M., Thibodeaux, D. and Pepperman, A. (2001). Texture and other Physicochemical Properties of Whole Rice Bread. Journal of Food Science. (66) 940-944 p.

Kim, W. T., & Okita, T. W. (1988). Structure, expression, and heterogeneity of the rice seed prolamins. Plant Physiology, 88(3), 649-655 p.

Krishnan, H. B., White, J. A., & Pueppke, S. G. (1992). Characterization and localization of rice (Oryza sativa L.) seed globulins. Plant Science. (1): 1-11 p.

Kong, X., Zhu, P., Sui, Z., Bao, J., (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. Food Chem. (172) 433-440 p.

Liu, X., T. Mu, H. Sun, M. Zhang, and J. Chen. (2016). Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread. Journal of Integrative Agriculture. (15): 2666-2676 p.

Mancebo, C., Merino, C., Martínez, M. and Gómez, M. (2015). Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. Journal of Food Science and Technology. (52): 6323-6333 p.

Muthayya, S., Sugimoto, J. D., Montgomery, S., y Maberly, F. (2014). An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. Annals of the New York Academy of Sciences. (1324): 7-14 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2004). Consultado 5 de septiembre 2017 Disponible: http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf.

Orthoefer, T., & Eastman, J. (2004). Rice bran and oil. In E. T. Champagne (Ed.), Rice: Chemistry and Technology, St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 3rd Edition, 569-593 p.

Park, I., Kim, S., Chung, I., Kim, I., Shoemaker, C. and Seo, Y. (2014). Comparison of a dynamic test to analyze the texture of cooked rice with a classic compression-extension test. Starch – Stärke. (66): 998-1004 p.

Rai, S., Kaur, A., Singh, B. and Minhas, K. (2012). Quality characteristics of bread produced from wheat, rice and maize flours. Journal of Food Science and Technology, (49): 786-789 p.

Sabanis D., Lebesi D., and Tzia C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. LWT-Food Sci Technology, (42): 1380–1389 p.

Shih, F. (2003). An update on the processing of high-protein rice products. Nahrung/Food. (47): 420-424 p.

Shyur, L. F., & Chen, C. S. (1994). Purification and characterization of rice prolamins. Botanical Studies (35)65-71 p.

United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, USDA (2017).. World. Agriculture Production. Consultado 3 de septiembre 2017. Disponible en: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf.

Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., & Siebenmorgen, T. (1999). Preparation and functional properties of rice bran protein isolate.Journal of Agricultural and Food Chemistry. (47): 411-416 p.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C., (2002). Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. J. Cereal Sci. (35): 65-78

ANEXOS

Anexo 1. Componentes de la harina de arroz fortificada

Ingredientes proteicos	Fuente (Arroz)	Método de extracción
Hidrolizado de salvado de arroz 1 (RBPH 1)	Oryza Sativa	Alcalino-Enzimático
Hidrolizado de salvado de arroz 2 (RBPH 2)	Oryza Sativa	Térmico-Enzimático
Hidrolizado de salvado de arroz 3 (RBPH 3)	Oryza Sativa	Enzimático
Hidrolizado de endospermo 1 (RPH 1)	Oryza Sativa	Enzimático
Hidrolizado de endospermo 2 (RPH 2)	Oryza Sativa	Enzimático
Concentrado de proteína (RFC)	Oryza Sativa	Liofilización
Salvado de arroz (RB)	Oryza Sativa	No aplica
Harina de arroz (RF)	Oryza Sativa	No aplica

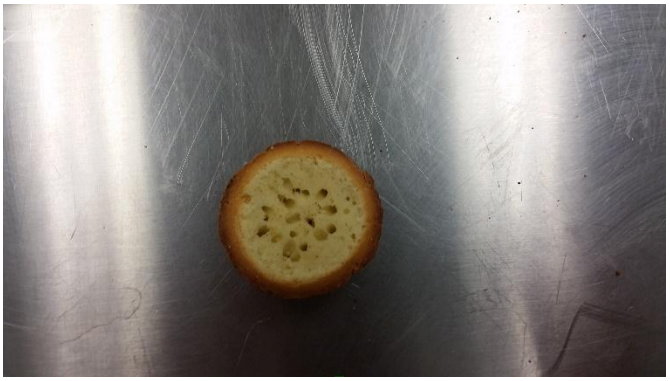
Fuente: Universidad estatal de Louisiana, 2018

Anexo 2. Planta piloto de la Universidad de Luisiana



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Pan elaborado con 100% harina de arroz



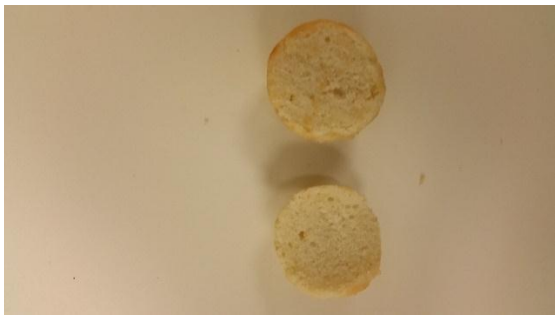
Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Pan elaborado con 100% harina de arroz fortificado



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Pan elaborado con 100% harina de arroz fortificado



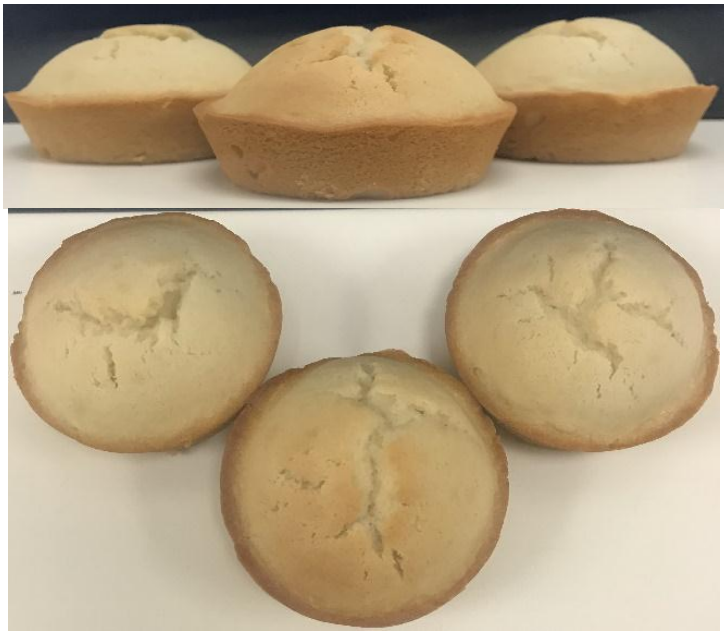
Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Muestra de pan 2 elaborado con 100% harina de arroz fortificado



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Muestra de pan 2 elaborado con 100% de harina de arroz



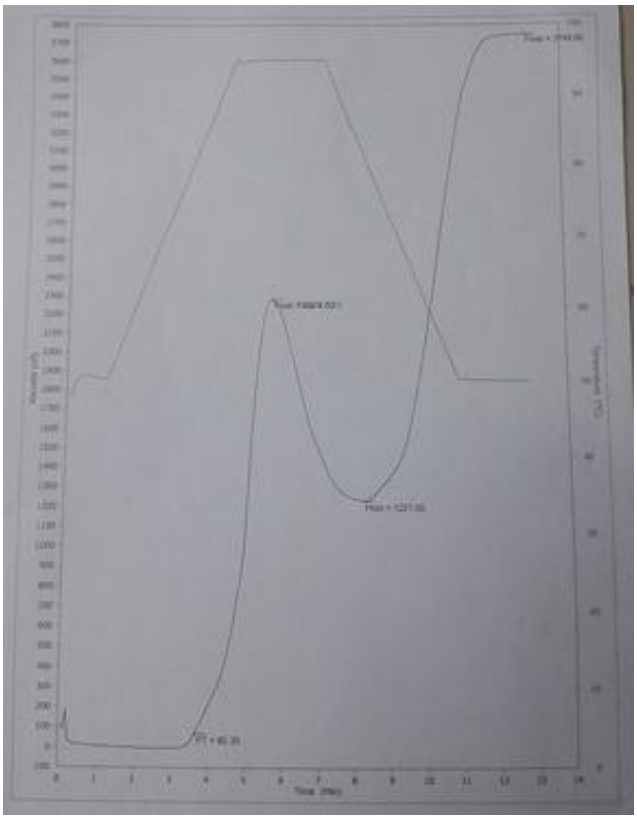
Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Hidrolizados de endospermo, hidrolizados de salvado y salvado de arroz y concentrado de proteína



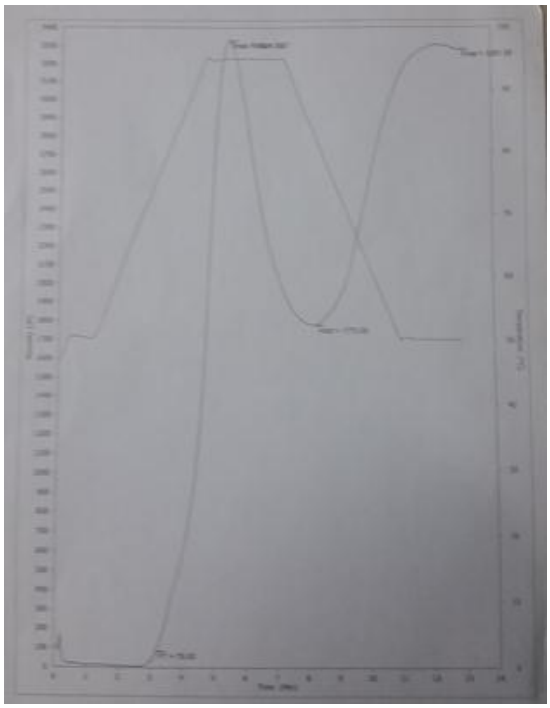
Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Análisis de viscosidad de pegado de la harina de arroz fortificada



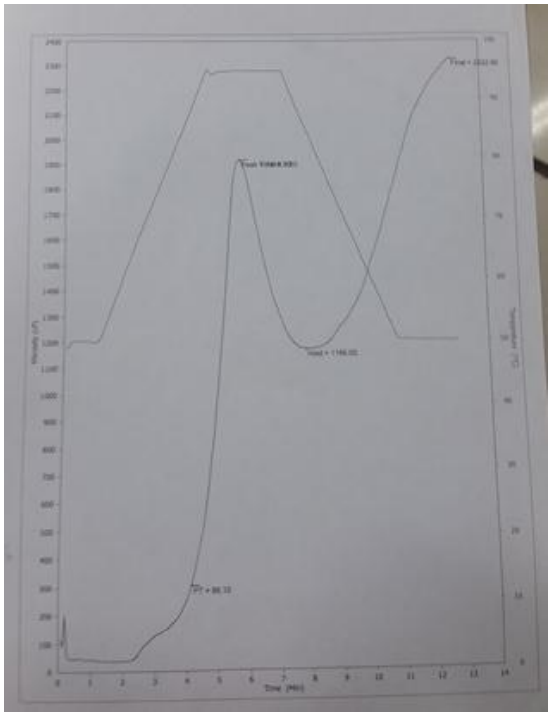
Fuente: Universidad estatal de Louisiana, 2018

Anexo 10. Análisis de viscosidad de pegado de la harina de arroz



Fuente: Universidad estatal de Louisiana, 2018

Anexo 11. Análisis de viscosidad de pegado de la harina de trigo



Fuente: Universidad estatal de Louisiana, 2018

Anexo 12. Formato de prueba de escala hedónica

Prueba de escala hedónica.

CARRERA DE TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

Nombre_____Fecha_____

Producto: Pan sin gluten

Instrucciones:

- Limpie su paladar con galleta y agua antes y después de cada muestra.
- Haga su evaluación de izquierda a derecha.
- Encierre el número según su evaluación de las muestras de acuerdo con los atributos de: apariencia, olor, sabor y aceptabilidad general.
- Antes de probar cada muestra, evalúe primero color.
- En la Escala: 1. Me disgusta muchísimo, 2. Me disgusta mucho, 3. Me disgusta moderadamente, 4. Me disgusta ligeramente, 5. Ni me gusta Ni me disgusta, 6. Me gusta ligeramente. 7. Me gusta moderadamente 8. Me gusta mucho 9. Me gusta muchísimo.

Muestra

Olor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Apariencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sabor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aceptabilidad general	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Muchas gracias por su colaboración

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Análisis de varianza de la aceptabilidad

Tratamientos	**Aceptabilidad**
T1	8.2 ± 2.83^{a}
T2	7.6 ± 2.54^{a}
T3	2.8 ± 1.63^{b}
T4	8.2 ± 2.78^{a}
T5	3.4 ± 1.48^{b}
T6	3.8 ± 2.62^{b}
T7	4 ± 2.82^{b}
T8	8 ± 1.95^{a}
T9	7.2 ± 2.23^{a}
T10	7 ± 2.27^{b}
T11	7.2 ± 1.40^{a}
T12	7.4 ± 2.92^{a}
T13	3.4 ± 2.24^{b}

Fuente: Elaboración propia

*Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) con prueba Tukey. Los valores son medias ± desviaciones estándar de los datos del análisis por triplicado

Anexo 14. Composición proximal de la harina de arroz y harina de arroz fortificada.

	RF	**HAF**
Proteínas	7.49 ± 0.17^{a}	15.65 ± 0.84^{b}
Carbohidratos	80.53 ± 0.04^{b}	69.31 ± 1.24^{b}
Almidón Total	74.46 ± 1.44^{b}	55.48 ± 1.15^{a}
Almidón Dañado	9.3 ± 0.49^{a}	2.88 ± 0.93^{b}
Fibra	0.54 ± 0.04^{a}	3.51 ± 0.21^{b}
Grasa	0.73 ± 0.04^{a}	1.05 ± 1.91^{a}
Cenizas	1.47 ± 0.08^{a}	1.25 ± 0.54^{a}
Humedad	9.79 ± 0.24^{a}	12.74 ± 0.27^{b}

Fuente: Universidad estatal de Luisiana, 2018

* RF; Harina de arroz, HAF; Harina de arroz fortificada *Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) con prueba Tukey. Los valores son medias ± desviaciones estándar de los datos del análisis por triplicado

Anexo 15. Tabla de coeficientes significativos para el modelo cubico

Variable	a	b	c	ab	ac	bc	abc	R^2
Volumen Especifico (ml)	26.88	21.54	16.14	-19.64	-8.50	22.54		85.12%
Dureza (mN/cm^2)	180	288	3103		-3346		11951	90.99%
Elasticidad	0.91	0.94	0.57		0.81	0.60		85.76%
Cohesividad	0.55	0.76	0.30		1.59	0.84	-1.92	90.42%*
Resistencia	0.18	0.43	0.04	0.27	1.21	0.40	-1.68	86.04%
Color (L*)	75.18	68.37	69.48					85.38%
Color (a*)	0.39	1.32	2.19					90.80%
Color (b*)	23.99	28.55	27.50	-8.38	-8.24		23.84	89.48%
Apariencia	8.71	7.61	3.25		-7.64	-4.89	23.36	98.31%
Sabor	7.28	7.11	5.22		-7.79	-8.23	25.98	93.29%
Olor	7.77	6.63	6.28	-2.31	-1.96		-9.83	94.75%
Aceptabilidad	8.67	7.48	3.34		-8.38	-5.04	24.59	90.76%

(Intervalo de confianza del 95%) de las variables independientes del modelo cúbico ajustado para las características del pan (variables analíticas dependientes) Modelo cúbico ajustado = a * Harina de trigo + b * Harina de arroz Fortificada + c * Harina de arroz + ab * Harina de trigo * Harina de arroz fortificada + ac * Harina de trigo *Harina de arroz + bc * Harina de arroz Fortificada * Harina de arroz + abc * Harina de trigo * Harina de arroz * Harina de arroz fortificada.

Anexo 16. Tabla de codificación de números aleatorios 1

Panelistas	Orden de servido		
1	244	467	801
2	433	134	812
3	351	619	649
4	341	152	486
5	273	613	656
6	918	967	564
7	269	924	502
8	867	551	447
9	148	248	492
10	142	514	261
11	558	395	539
12	835	578	102
13	383	448	851
14	737	977	469
15	541	143	654

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17. Tabla de codificación de números aleatorios 2

Panelista	Orden de servido	
16	705	396
17	219	888
18	922	849
19	590	463
20	512	685
21	582	591
22	355	457
23	629	676
24	504	266
25	281	277

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18. Tabla de tratamientos codificados

Tratamientos	Muestra Codificada				
T1	835	801	924	922	591
T2	629	396	654	558	134
T3	244	152	918	261	512
T4	277	685	888	248	564
T5	705	977	578	341	649
T6	355	849	447	269	486
T7	457	541	851	613	433
T8	463	143	867	351	281
T9	504	395	737	492	467
T10	266	219	676	148	539
T11	619	142	469	656	551
T12	812	514	383	582	590
T13	502	448	102	967	273

Fuente: Elaboración propia