

Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

VICERRECTORADO  
PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
ESTADO BARINAS

SUBPROGRAMA DE ESTUDIOS AVANZADOS  
CIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE HARINAS COMPUESTAS SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE UN  
PONQUÉ COMO ALTERNATIVA DE ALIMENTO FUNCIONAL**

**Autora:** Ing. Dennys Torres  
**Tutora:** MSc. Gyzel Guillent

Barinas, mayo de 2021

Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"



*La Universidad que siembra*

**Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social  
Programa de Estudios Avanzados**

**Subprograma Ciencias del Agro y del Mar  
Maestría Ingeniería Agroindustrial**

**Evaluación del efecto de harinas compuestas sobre las características físicas, químicas y sensoriales de un ponqué como alternativa de alimento funcional**

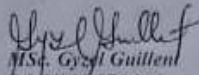
Requisito parcial para optar al grado de Magíster Scientiarum en Ingeniería Agroindustrial

**Autora:** Ing. Dennys R. Torres A.  
**C.I. V.-** 10.557.278  
**Tutora:** MSc. Gyzel Guillent

Barinas, mayo de 2021


### ACTA DE ADMISIÓN

Siendo las 9:00 a.m. del día 13 de mayo del 2021, reunidos en la Sede del Programa Ciencias del Agro y del Mar, del Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social de la UNELLEZ, los profesores: MSc. Gyzel Guillent, (Tutora Coordinadora UNELLEZ), MSc. Wilmer Peña, (Jurado Principal UNELLEZ), MSc. José Toribio Muñoz, (Jurado Principal Externo UPEL), titulares de las cédulas de identidad N° 13.076.166, 5.096.221, y 1.199.341 respectivamente, quienes fueron designados por la Comisión Asesora de Estudios Avanzados del Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social UNELLEZ, según **RESOLUCIÓN N° CAEA/2020/12/23 DE FECHA: 03/12/2020, ACTA N° 10 ORDINARIA, N° 23** como miembros del Jurado para conocer el contenido del Trabajo de Grado titulado "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE HARINAS COMPUESTAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE UN PONQUÉ COMO ALTERNATIVA DE ALIMENTO FUNCIONAL", presentado por la maestrante: **Dennys R. Torres A.** titular de la Cédula de Identidad N° 10.557.278, con el cual aspira obtener el Grado Académico de Magister Scientiarum en Ingeniería Agroindustrial; quienes decidimos por unanimidad y de acuerdo con lo establecido en el Artículo 24 y siguientes de la Normativa para la Elaboración de los Trabajos Técnicos, Trabajos Especiales de Grado, Trabajos de Grado y Tesis Doctorales y 33 del Reglamento de Estudios Avanzados Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" – UNELLEZ 2019, ADMITIR el Trabajo de Grado presentado y fijar la fecha de defensa pública, para el día 13 de mayo de 2021 a las 9:00 a.m. Dando fe y en constancia de lo aquí señalado firman:

  
MSc. Gyzel Guillent

C.I. N° 13.076.166


(Tutora Coordinadora UNELLEZ)

  
MSc. Wilmer Peña

C. I. N° 5.096.221

(Jurado Principal UNELLEZ)



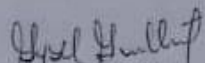
  
MSc. José Toribio Muñoz

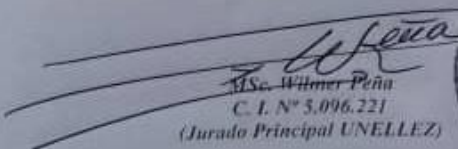
C. I. N° 1.199.341

(Jurado Principal Externo UPEL)

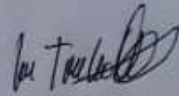
### ACTA DE VEREDICTO

Siendo las 9:00 a.m. del día 13 de mayo del 2021, reunidas en la Sede del Programa Ciencias del Agro y del Mar, del Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social de la UNELLEZ, los profesores: **MSc. Gyzel Guillent**, (Tutora Coordinadora UNELLEZ), **MSc. Wilmer Peña**, (Jurado Principal UNELLEZ), **MSc. José Toribio Muñoz**, (Jurado Principal Externo UPEL), titulares de las cédulas de identidad N° 13.076.166, 5.096.221 y 1.199.341 respectivamente, quienes fueron designadas por la Comisión Asesora de Estudios Avanzados del Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social UNELLEZ, según **RESOLUCIÓN N° CAEA/2020/12/23 DE FECHA: 03/12/2020, ACTA N° 10 ORDINARIA, N° 23** como miembros del Jurado para conocer el contenido del Trabajo de Grado titulado **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE HARINAS COMPUESTAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE UN PONQUÉ COMO ALTERNATIVA DE ALIMENTO FUNCIONAL"**, presentado por la maestrante: **Dennys R. Torres A.**, titular de la Cédula de Identidad N°10.557.278, con el cual aspira obtener el Grado Académico de **Magister Scientiarum en Ingeniería Agroindustrial**, procedemos a dar apertura al acto de defensa y a presenciar la sustentación de dicho trabajo por la maestrante. Con una duración de **Treinta (30) minutos**. Posteriormente, la ponente respondió a las preguntas formuladas por el jurado y defendió sus opiniones. Cumplidas todas las fases de la defensa, el jurado, después de sus deliberaciones, por unanimidad acordó **APROBAR** el Trabajo de Grado aquí mencionado. Dando fe y en constancia de lo aquí expresado firman:

  
**MSc. Gyzel Guillent**  
C. I. N° 13.076.166  
(Tutora Coordinadora UNELLEZ)

  
**MSc. Wilmer Peña**  
C. I. N° 5.096.221  
(Jurado Principal UNELLEZ)



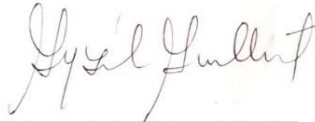
  
**MSc. José Toribio Muñoz**  
C. I. N° 1.199.341  
(Jurado Principal Externo UPEL)

### APROBACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, **Gyzel Guillent**, cédula de identidad N° V.- **13.076.166**, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado, titulado: **Evaluación del efecto de harinas compuestas sobre las características físicas y sensoriales de un ponqué como alternativa de alimento funcional**, presentado por la ciudadana **Dennys Raquel Torres Avendaño**, Titular de Cedula de Identidad N° V.- **10.557.278**, para optar al título de Magister en Ingeniería Agroindustrial. Por medio de la presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas, a los a los 04 días del mes de noviembre 2020.

Nombre y Apellido: Gyzel Guillent



Firma de aprobación del tutor

Fecha de entrega: 13-11-2020

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, por ser mi principal guía, por darme la provisión necesaria para salir adelante y lograr alcanzar esta meta.

A mi padre por su apoyo y comprensión durante todos los días de mi vida.

A la UNELLEZ, por ser nuestra alma mater, y brindar la oportunidad de elevar el nivel académico.

A MSc. Gyzel Guillent, por su dedicación como tutora académica en esta investigación que nos ocupó por un lapso de tiempo, por su apoyo crítico constructivo dirigido a mejorar y culminar el presente estudio.

Al MSc. Enrique Ávila, Ing. Rafael Diaz, Ing. José Landaeta, por sus orientaciones y apoyo en éste estudio.

Al MSc. Wilmer Peña por sus valiosas sugerencias y apoyo pertinentes y propias en ésta investigación.

A los profesores que facilitaron sus conocimientos durante la escolaridad de esta maestría.

Gracias a todos los que de alguna manera brindaron su apoyo para la cristalización de este trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios, nuestro señor todo poderoso por siempre ser mi guía espiritual e iluminarme para así alcanzar otra meta en mi vida.

A mi querido padre, que con su ejemplo y templanza me motivó día a día a superarme como persona y profesional. Seguro que donde te encuentres estarás orgulloso de tú hija. Te amaré por siempre.

A mis hijas, motivo permanente de superación, quienes día a día han sido mi máxima fortaleza, brindándome confianza y apoyo incondicional en los momentos más necesarios.

A mis hermanos, por creer en cada paso que he dado en el transcurrir de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
Acta admisión	iii
Acta veredicto	iv
Aprobación del tutor	v
Agradecimiento	vi
Dedicatoria	vii
Lista de tablas	viii
Anexos	ix
Apéndices	x
Lista de figuras	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA</b>	
1.1.- Planteamiento del Problema	16
1.2.- Formulación del problema	18
1.3.- Objetivos de la investigación	20
1.3.1.- Objetivo general	
1.3.2.- Objetivos específicos	
1.4.- Justificación	21
1.5.- Alcances y limitaciones	23
1.5.1.- Alcances	
1.5.2.- Limitaciones	
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1.- Antecedentes de la Investigación	25
2.2.- Bases Teóricas	
2.2.1.- Harina de yuca	29
2.2.2.- Harina de frijol	31
2.2.3.- Fécula de maíz	33
2.2.4.- Almidón	34
2.2.5.- Harinas compuestas	34
2.2.6.- Harinas precocidas	35
2.2.7.- Alimentos funcionales	37



2.2.8.- Enfermedad celíaca (EC)	39
2.2.9.- Caracterización de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz	41
2.2.9.1.- Composición física, química y funcional	41
2.2.10.- Caracterización de ponqué	44
2.2.11.- Análisis físicos y químicos del ponqué	47
2.2.12.- Evaluación sensorial	49
2.2.13.- Ingredientes a usar en la formulación	50
2.3.- Sistema de hipótesis	54
2.3.1.- Hipótesis de la investigación	54
2.3.2.- Hipótesis operacional	54
2.3.3.- Hipótesis estadística	54
2.4.- Sistema de variables	55
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
3.1.- Nivel de la investigación	56
3.2.- Tipo de investigación	56
3.1.- Diseño de la investigación	56
3.2.- Fases de la investigación	56
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1.- Caracterización física, química y funcional de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz.	69
4.1.1.- Granulometría de las harinas	69
4.1.2.- Caracterización química y funcional de las harinas	70
4.2.- Optimización de las características físicas y funcionales de las harinas compuestas y ponqué	74
4.3.- Modelación de la variabilidad de las respuestas y creación del metamodelo de simulación	77
4.4.- Características físicas, químicas y funcionales de la mezcla óptima	82
4.5.- Valoración de las características físicas, químicas y sensoriales del ponqué como alimento funcional	84
4.4.2.- Pruebas de “degustación” o cata a los ponqués optimizados	86
<b>CONCLUSIONES</b>	89
<b>RECOMENDACIONES</b>	90
<b>REFERENCIAS</b>	91
<b>RESEÑA FOTOGRÁFICA</b>	121

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
1. Composición química en base seca (%) de harina de yuca blanca	31
2. Composición química en base seca (%) de harina de frijol	33
3. Propiedades nutricionales de la fécula de maíz	34
4. Composición de nutrientes por cada 100 gramos de ponqué	45
5. Composición de minerales por cada 100 gramos de ponqué	46
6. Aminoácidos contenidos en el ponqué	46
7. Hidratos de carbono contenidos en el ponqué	48
8. Variables de la investigación	55
9. Metodología para caracterizar las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz	59
10. Factores experimentales	60
11. Metodología para caracterizar las mezclas óptimas generadas como mejor formulación	64
12. Formulación porcentual de la mezcla del ponqué	66
13. Parámetros a controlar en proceso de elaboración del ponqué	66
14. Análisis granulométrico de las harinas compuestas	69
15. Análisis químico y funcional de las harina de yuca, frijol y fécula de maíz	70
16. Arreglo de tratamientos, diseño Space Filling	74
17. Matriz de arreglos experimentales y respuestas de las harinas (yuca, frijol y fécula de maíz) y de los ponqués	75
18. Probabilidad intercepciones de los tratamientos	76
19. Panel de control RNA	79
20. Historial ajuste RNA	79
21. Bondad de ajuste de gráficos real predicción	80
22. Rangos valores objetivos	81
23. Granulometría mezcla óptima	82
24. Análisis químico y funcional de la mezcla óptima	83
25. Características físicas y químicas del ponqué	84
26. Prueba de Kolmogorov-Smirnov	86
27. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	87
28. Resultados Prueba de rangos con signo de Wilcoxon	88

## ANEXOS

	<b>Página</b>
A. Análisis físicos, químicos y funcionales de harina de yuca	102
B. Análisis físicos, químicos y funcionales de harina de frijol	103
C. Análisis físicos, químicos y funcionales de fécula de maíz	104
D. Esquema tecnológico para la elaboración de la harina precocida de yuca	105
E. Esquema tecnológico para la elaboración de la harina precocida de frijol	106
F. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de ponqués	107

## APÉNDICES

1. Análisis físicos, bromatológicos y funcionales con respectivos equipos	108
2. Cuestionario Prueba sensorial	109
3. ANOVA Matriz de arreglos experimentales	110
4. Gráficos real predicción	112
5. Sistema de ecuaciones	114
6. Datos prueba sensorial	119

## LISTA FIGURAS

1. Red Neuronal Artificial	78
2. Deseabilidad global no optimizada	81
3. Deseabilidad global optimizada	82



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS  
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICERRECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA DE ESTUDIOS AVANZADOS  
MAESTRIA EN INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**Evaluación del efecto de harinas compuestas sobre las características físicas, químicas y sensoriales de un ponqué como alternativa de alimento funcional**

**Autora:** Ing. Dennys R. Torres A.

**Tutora:** MSc. Gyzel Guillent

**Año:** 2021

**RESUMEN**

Esta investigación se centró en evaluar el efecto de las harinas compuestas a partir de yuca, frijol y fécula de maíz sobre las características físicas, químicas y sensoriales de un ponqué como alternativa de alimento funcional. Se inició con la caracterización de las materias primas involucradas, para continuar con la aplicación del diseño llenado de espacios, método Hipercubo Latino, seguido se realizó la exploración de un modelo no lineal, con modelación de Redes Neuronales Artificiales (RNA), se obtiene la mezcla óptima que se caracteriza física, química y funcionalmente, luego se valora física, química y sensorialmente el ponqué. El resultado permite sugerir a las harinas compuestas como potenciales en el procesamiento de un ponqué, por otra parte la aplicación de la optimización vía simulación permitió establecer los valores de la mezcla óptima combinada por harina de yuca ( $X_1$ : 68,12 %), fécula de maíz ( $X_2$ : 39,85 %) y harina de frijol ( $X_3$ : 8,75 %) que satisfacen en forma simultánea todas las deseabilidades de las variables respuestas. La caracterización de la mezcla óptima mostró valores similares a los obtenidos en mezclas análogas en el procesamiento de productos de pastelería, sin embargo, los valores funcionales apuntan a deducir sobre la condición de la modificación de los almidones, por cuanto la expansión del ponqué estuvo por debajo de parámetros logrados en estudios afines; no obstante, la valoración sensorial evidencia la aceptación del ponqué como alimento funcional, lo que infiere a señalar la factibilidad de elaborar productos análogos de pastelería.

**Palabras claves:** harinas compuestas, características físicas, químicas y funcionales, alimentos funcionales



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS  
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICERRECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL  
PROGRAMA DE ESTUDIOS AVANZADOS  
MAESTRIA EN INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**Evaluation of the effect of compound flours on the physical, chemical  
and sensory characteristics of a cake as a functional food  
alternative**

**Autora:** Ing. Dennys R. Torres A.

**Tutora:** MSc. Gyzel Guillent

**Año:** 2021

**ABSTRACT**

This research focused on evaluating the effect of flours made from cassava, beans and cornstarch on the physical, chemical and sensory characteristics of a cake as a functional food alternative. It began with the characterization of the raw materials involved, to continue with the application of the space-filling design, the Latin Hypercube method, followed by the exploration of a non-linear model, with Artificial Neural Networks (ANN) modeling, the optimal mixture that is characterized physically, chemically and functionally, then the cake is physically, chemically and sensory valued. The result allows to suggest composite flours as potential in the processing of a cake, on the other hand the application of optimization via simulation allowed to establish the values of the optimal mixture combined by cassava flour (X1: 68.12%), starch corn (X2: 39.85%) and bean flour (X3: 8.75%) that simultaneously satisfy all the desirabilities of the response variables. The characterization of the optimal mixture showed values similar to those obtained in analogous mixtures in the processing of pastry products, however, the functional values point to deduce about the condition of the modification of the starches, since the expansion of the cake was by below parameters achieved in related studies; However, the sensory evaluation shows the acceptance of the cake as a functional food, which infers to indicate the feasibility of elaborating analogous pastry products.

**Keywords:** compound flours, physical, chemical and functional characteristics, functional foods.

## INTRODUCCIÓN

Diversas investigaciones científicas canalizan la ciencia y tecnología, bajo el enfoque de la problemática del hambre, como lo establece la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), específicamente en el caso de los países que no producen trigo, así también, asegurar que las personas de diferentes grupos tengan acceso a alimentos de buena calidad, para combatir la malnutrición y aumentar la protección contra las enfermedades de la humanidad, debido a que constituye una preocupación la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria mundial. Es por ello, la necesaria implementación de estrategias que conlleve a sumar acciones, que contribuyan a mitigar las carencias nutritivas en millones de personas afectadas por la poca disponibilidad de alimentos que proporcionen los nutrientes necesarios que les permita llevar una vida activa y saludable.

En este contexto, se considera relevante a los alimentos funcionales, naturales o modificados. Según el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI Europa, 1999), un alimento puede ser considerado funcional: "si se logra demostrar satisfactoriamente, o bien que posee un efecto beneficioso sobre una o más funciones específicas en el organismo, más allá de los efectos nutricionales habituales, y que mejora el estado de salud y del bienestar o bien que reduce el riesgo de una enfermedad " (Diplock ,1999).

Razón por la cual, el desarrollo de productos alimenticios a partir de materias primas autóctonas de las regiones, permite dar valor agregado a las mismas, y ofrecer alternativas alimenticias con características benéficas para la salud humana, considerando las exigencias sensoriales y nutritivas de cada consumidor, en especial a poblaciones con requerimientos particulares alimentarios, como es el caso de las personas que requieren de dietas específicas.

En este sentido, se busca la implementación de productos innovadores a partir de la sustitución parcial o total con harinas compuestas, bien sea con harinas crudas, gelatinizadas totalmente o parcialmente sus almidones con el fin de lograr un comportamiento similar a la matriz proteica de la harina de trigo (Granito, Torres y Guerra, 2003), generando alimentos con características nutricionales, estructurales y sensoriales, ampliando el anaquel de las personas que por razones de salud no deben ingerir productos alimenticios con la inclusión de la harina de trigo.

En el mismo orden de ideas, es preponderante el auge de estudios científicos en pro de ofrecer nuevas alternativas para satisfacer necesidades dietéticas, en las que se sustituya totalmente el trigo, debido al contenido de prolaminas, fracción proteica de la estructura del gluten, el cual se considera responsable de alteraciones fisiológicas o trastornos específicos en personas con predisposición genética a los alérgenos derivados del gluten (Sciarini, Steffolani y León, 2016). Estas proteínas juegan un rol importante en la calidad estructural y sensorial de los productos de panificación y pastificio, por lo que es un gran desafío para investigadores y tecnólogos.

A efectos de este estudio se consideró el desarrollo de un ponqué a partir de harinas compuestas como alimento funcional, lo que representa una oportunidad a nivel científico y tecnológico indagar sobre el comportamiento de materias primas diferente al trigo con el propósito de beneficiar y al mismo tiempo cubrir una necesidad de productos horneados sin gluten como consecuencia del aumento de casos de personas con intolerancia al gluten como son los celíacos, sensibles al gluten no celíaco, alérgicos relacionados con la ingestión de gluten, intolerantes al gluten y con trastornos del espectro autista; esto acarrea un incremento en el interés por una alimentación saludable, sobre todo por alimentos funcionales.

Los alimentos que contienen cereales, y en particular los productos de panificación, representan una alternativa interesante como productos saludables, a parte de las propiedades nutricionales propias de los cereales y

sus derivados (harinas, salvado, germen o mezclas de ellos), cabe la posibilidad de transformarlos en alimentos funcionales (Lutz y León, 2009).

Por lo antes expuesto, esta investigación plantea, la evaluación del efecto de las harinas compuestas a partir yuca, frijol y fécula de maíz sobre las características físicas y sensoriales de un ponqué como alimento funcional, que responda a las necesidades de los consumidores con regímenes especiales alimentarios, determinadas por condiciones físicas o fisiológicas y/o enfermedades o trastornos específicos que se presentan en estratos especiales de la población.

La presente investigación se estructura en cuatro (V) capítulos:

Capítulo I: presenta el planteamiento y formulación del problema, objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación, alcances y limitaciones de la investigación.

Capítulo II: está conformado por marco teórico que comprende, los antecedentes de la investigación, bases teóricas, formulación de hipótesis, formulación de variables.

Capítulo III: describe la metodología de la investigación, donde se define el diseño, tipo, nivel, modalidad de la investigación, etapas de la investigación que comprende la descripción del objetivo a desarrollar, diseño de la investigación, unidad de estudio, unidad experimental, las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

Capítulo IV: resultados y discusión.

Capítulo V: conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.



## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una alimentación adecuada repercute en la longevidad y calidad de vida de la humanidad, razón para los consumidores a elegir los alimentos que se relacionan con salud y bienestar. En este ámbito, se considera los alimentos funcionales que aportan un efecto beneficioso adicional o reducen el riesgo de desarrollar afecciones en la salud.

En este enfoque se considera los productos de panaderías, pastelerías, pastificio, confiterías y productos procesados que contienen harina de trigo, como ingrediente principal, siendo una limitación alimenticia a la población con afecciones por la ingesta de gluten. Del 60 al 70 % de la harina de trigo es almidón, un hidrato de carbono de alto valor energético, y del 15 al 20 % de gluten, un conjunto proteico que dota a esos productos de características estructurales y sensoriales (Hernández-Lahoz, 2011). Sin embargo, su calidad proteica es baja, dada la deficiencia de lisina en la proteína del trigo, por lo que, se considera como un alimento nutricionalmente no balanceado ya que, su contenido de fibra dietética y vitaminas es escaso.

En este orden de ideas, Codex alimentarius (2008), señala que la mayoría de los países Europeos han aceptado la definición de alimentos libres de gluten establecida por el Codex Alimentarius stan 118 (1979), el cual indica que para considerarse un producto exento de gluten, no debe contener trigo, cebada, centeno o sus variedades híbridas y su contenido de gluten no exceder de 20 mg/Kg.

Atendiendo a esta necesidad, se ha definido el término alimentos para regímenes especiales como dietas en las cuales se requieren alimentos elaborados o preparados especialmente para satisfacer necesidades particulares de alimentación, determinadas por condiciones físicas o

fisiológicas particulares y/o enfermedades o trastornos específicos, que se presentan como tales. La composición de esos alimentos deberá ser fundamentalmente diferente de la composición de los alimentos ordinarios de naturaleza análoga, en caso de que tales alimentos existan según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006).

Actualmente, el mercado de productos derivados de granos y cereales, destinados a personas celíacas, tiene una oferta reducida e inadecuada, debido a que el sector industrial ligado a la fabricación de alimentos sin trigo, avena, cebada y centeno (TACC) se enfrenta a situaciones adversas (Apro *et al.*, 2004), como son el empleo de tecnología no adecuada, la incorporación de aditivos costosos en la búsqueda de características funcionales y sensoriales similar a productos con gluten.

De igual manera, existe un factor que influye en la calidad estructural y sensorial de estos productos libres de gluten, debido a que no se ha logrado las propiedades únicas que confiere el gluten a los alimentos; lo que representa una oportunidad de indagar en este ámbito con el propósito de estudiar la versatilidad de las materias primas autóctonas de cada región, en la búsqueda de una estructura y funcionalidad semejante a la matriz proteica de la harina de trigo por una estructura de almidones modificados a partir de otros granos, cereales, tubérculos, entre otros, de esta manera generar una gama de productos alimenticios para sectores de la población con dificultades de salud o bien por cuidados de la misma.

En este contexto, se ha evidenciado en investigaciones científicas que los productos de panadería y pastificio a base de ingredientes sin gluten generalmente son de poca calidad debido a la falta de la red de gluten (Arendt *et al.*, 2002). En el trigo las gliadinas (prolaminas) son responsables de la cohesión de la masa, mientras que las gluteninas (glutelinas) son aparentemente responsables de la resistencia de la masa a la extensión

(Hoseney, 1994). El procesamiento de estos productos, tiene considerables dificultades tecnológicas porque el gluten es la estructura más importante para su fabricación (Moore *et al.*, 2004).

Este escenario continúa proporcionando inquietud a nivel científico y tecnológico, lo que conlleva a seguir impulsando investigaciones en la línea de productos exentos de gluten, empleando diferentes fuentes de carbohidratos y proteínas para mejorar la calidad estructural y sensorial de estos productos alimenticios, dado que la enfermedad celíaca lleva en algunos casos a la desnutrición, lo que permite el procesamiento de rubros como los tubérculos, raíces, oleaginosas con potencial para la obtención de harinas compuestas libres de gluten.

Esta razón, es de relevancia para desarrollar productos a partir de materias primas libres de gluten, aunado a esto en Venezuela existe variedades de rubros autóctonos susceptibles de transformar, como es el caso del cambur, la auyama, plátano, yuca, arroz, batata, maíz, ñame, frijol, sagú, entre otros, del cual no todos se han industrializado, siendo estas materias primas una oportunidad de proporcionar alimentos exentos de gluten que aporten propiedades funcionales, estructurales, nutricionales y sensoriales que generé alternativas de solución al problema existente.

## **1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Es un reto el empleo de harinas sin contenido de gluten, que formé masas o materiales con características reológicas similares a las masas de alimentos como los productos de panadería. El desafío tecnológico se fundamenta en la búsqueda de una combinación de harinas compuestas a partir de materias primas no convencionales que sustituyan de forma completa las propiedades intrínsecas del gluten, o por lo menos se acerque a las características de los productos comerciales.

Es de resaltar, que los productos como las galletas, los wafers, los pretzels, los pasteles y los bizcochos, son de calidad superior cuando son

hechos con harina de trigos suaves y no utilizando harina de trigos duros, lo que incide en una viscosidad menos densa, pero con una estructura interior más uniforme y mejores características de altura y esparcimiento (Villanueva, 2007), de hecho se ha desarrollado investigaciones que han demostrado un comportamiento aceptable de las harinas compuestas tanto en estructura como en aceptación sensorial en la elaboración de productos de panaderías (Elías, 2014; Cueto y Pérez, 2010; Figueroa *et al.*, 2015).

Las proteínas del trigo y de otros cereales como el centeno, la cebada y la avena son responsables de generar características físicas, químicas, funcionales y sensoriales, las cuales son esenciales para la aceptación de productos de panificación en el mercado. Esta proteína es el gluten, que son las gliadinas y glutaminas que al entrar en contacto con un vehículo acuoso como el agua permite que los gases producidos por agentes leudantes hinchen el gluten, generando características propias al producto terminado.

De tal manera, esta investigación plantea el procesamiento de harinas precocidas ricas en almidón, en la elaboración de un ponqué a partir de yuca, frijol y fécula de maíz, que por su aporte nutricional, funcional y accesibilidad se consideran materias primas potenciales en la formulación y elaboración de alimentos funcionales. El empleo de harinas precocidas con una granulometría determinada se fundamenta en que éstas presentan disposición a la hidratación y solubilidad de los gránulos de almidón como resultado de su modificación en el proceso hidrotérmico de elaboración de las harinas, como factores de relevancia en la expansión del ponqué.

El presente estudio busca demostrar la factibilidad de la sustitución total de la harina de trigo por harinas compuestas, no obstante, se presume inconvenientes físicos y sensoriales, debido a la carencia del gluten en estas harinas. Sin embargo, se indaga la posibilidad de obtener un producto con una textura aceptable por el consumidor, homogeneidad de la miga aceptable, color, sabor y olor aceptable, una expansión adecuada, así

también, valores de pH, acidez y humedad, acorde a lo contemplado en las Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (2010).

Ante lo expuesto, se considera dar respuesta a la siguiente interrogante:

¿Cuál será el efecto de las harinas compuestas a partir de yuca, fécula de maíz y frijol sobre las características físicas, funcionales y sensoriales de un ponqué como alternativa alimenticia funcional?

### **1.3.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1.- Objetivo General:**

Evaluar el efecto de las harinas compuestas a partir de yuca (*Manihot esculenta*), frijol (*Vigna unguiculata*) y fécula de maíz sobre las características físicas, químicas y sensoriales de un ponqué como alternativa de alimento funcional.

#### **1.3.2.- Objetivos Específicos:**

1. Caracterizar física, química y funcionalmente las harinas de yuca, frijol, fécula de maíz como ingredientes potenciales en la elaboración de un ponqué.
2. Optimizar las proporciones de las mezclas en función de las características físicas y funcionales de las harinas compuestas, que ajuste modelos polinomiales y se alcance la mejor formulación de un ponqué.
3. Describir las características físicas, químicas y funcionales de la mezcla óptima generada como mejor formulación.
4. Valorar las características físicas, químicas y sensoriales del ponqué de harinas compuestas como alimento funcional.

#### **1.4.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Las limitaciones que presenta las personas con condición celíaca e intolerantes al gluten y autistas, no sólo en el área de la salud, sino también, a nivel psicológico, económico y social, ha generado respuestas por parte de instituciones, grupos de apoyo, proyecto de ley para la protección de estos pacientes, fundaciones, asociaciones, Organizaciones no gubernamentales, líneas de investigación en universidades como la Universidad del Zulia, Universidad Central de Venezuela, Universidad Simón Bolívar, entre otras, en pro de desarrollar productos funcionales, formulaciones y materias primas secundarias con características adecuadas para la alimentación de este segmento de la población. Así también, empresas como Corpus Sanus, Fitness Market, Kalikai, Santiveri de Venezuela, tienda Azalea Foods y Corporación Biorgánica de Venezuela, que ofrecen diversos alimentos libres de gluten (Celiacos Latinoamericanos, 2014).

En este sentido, la preocupación del estado en lo que respecta a la salud de los venezolanos como un derecho fundamental, establece en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, en su artículo 84, que el sistema público nacional de salud dar prioridad a la promoción de la salud y a la prevención de enfermedades (Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, 1999).

Por su lado, la Fundación Celíaca en Venezuela en función de mejorar la vida de las personas que padecen esta condición, introduce una propuesta de Ley de Protección al Celíaco en la Asamblea Nacional vigente en fecha 03 de marzo del 2013; siendo el 07 de junio del 2016 la aprobación en 1<sup>era</sup> discusión de ésta ley (Fundación Celíaca de Venezuela, 2016). Aunado a ello, tras diversas reuniones y mesas de trabajo se aprobó un método oficial para detectar el gluten en alimentos y medicinas. Por otro lado, se cuenta con la norma COVENIN 2952 - 01 sobre el rotulado de alimentos envasados, contempla la declaración de los ingredientes que pueden causar

hipersensibilidad, tal como, cereales que contienen gluten. Además, hace referencia de los productos que por el proceso tecnológico pudieran contener trazas de algunos de los ingredientes que causen hipersensibilidad, deben incluir en el rótulo una advertencia sobre su posible presencia.

Esta investigación se inserta en el Plan General de Investigación de la UNELLEZ 2008 - 2012, en el área “Ciencias del Agro y Ambientales” en la línea de investigación “Seguridad agroalimentaria”. Por otra parte, se enmarca en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2005-2030, específicamente en el apartado “Desarrollo endógeno, sustentable y humano”. Así también, se contempla en el quinto objetivo del Plan de la Patria, que indica la necesidad de “Preservar la vida en el planeta y salvar a la especie humana. Del mismo modo, en la Ley Orgánica de Seguridad y Soberanía Agroalimentaria, en el título II, del acceso oportuno a los alimentos y en el título V, de la investigación y educación en materia orgánica.

Es de resaltar, que la sustitución de la harina de trigo por harinas compuestas sin gluten empleadas para procesar productos alimenticios, conduce a un desafío en el ámbito funcional, químico, físico y sensorial. Por lo que, se pretende ensayar las mezclas de harina de yuca, harina de frijol y fécula de maíz con el fin de lograr un ponqué con características físicas, químicas y sensoriales similares a los elaborados a partir de harinas compuestas.

De resultar viable el empleo de esta harina compuesta, puede acarrear el impulso de la producción agrícola de los rubros antes señalados. Como también, la tendencia a disminuir el aporte de divisas por importación de materias primas, como el trigo; de igual modo se genera el incentivo en el sector primario de la economía.

En tal sentido, se justifica el uso de materias primas autóctonas de cada región, con el propósito de sustituir parcial o totalmente la sémola por otras harinas en productos alimenticios exentos de gluten, mejorando la

calidad de la proteína o sencillamente generar alimentos funcionales, tal es el caso de los productos de panadería a base de cereales, leguminosas, tubérculos y concentrados proteicos de origen animal y vegetal (Hernández *et al.*,2016; Cueto, Pérez, Borneo y Ribotta, 2011; Cueto, Pérez y Dufour, 2011; Granito, Valero y Zambrano, 2010).

Es de resaltar, que la crisis económica y las limitaciones de importaciones en Venezuela han creado una severa escasez y la industria solo cubre el 54% de la demanda interna, lo que acarrea la escasez de pan sea cada vez más frecuente y el consumo de harina de trigo se proyecta en 1,1 millones de toneladas en el periodo 2017/18, esto es bastante menos que los 1,650 millones de toneladas del período 2015/16 y los 1,520 millones de toneladas del año pasado (El Interés, 2017). Esta situación se puede revertir con la sustitución total de la harina de trigo por harinas compuestas. La implementación de harinas compuestas provenientes de rubros no tradicionales, como son, yuca, sagú, frijol, auyama, cambur, quinchoncho, ñame, plátano, entre otros, trae consigo el incentivo a productores en este ramo vegetal.

Ante esta realidad, el crecimiento de la demanda y búsqueda de alimentos que se puedan incorporar a la dieta exenta de gluten, es una oportunidad para los investigadores y la industria de alimentos de invertir esfuerzos en líneas de investigación que arrojen posibles opciones para personas con régimen de alimentación especial, lo que implica la mejora de la calidad de vida; en este sentido, los productos a partir de harinas compuestas libres de gluten, como alimento funcional, constituyen una propuesta alimenticia, en beneficio de las personas sensibles al gluten.



## **1.5.- ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.5.1.- Alcances**

El alcance de esta investigación es explicativo (Hernández, Fernández & Baptista, 2014), intenta establecer el efecto de harinas compuestas no convencionales como harina de yuca, fécula de maíz y harina de frijol, que se han seleccionado por su valor nutritivo de origen autóctono, en las características físicas, químicas y sensoriales, como son: pH, acidez, humedad, expansión, color, sabor, olor, textura, apariencia global, homogeneidad de la miga del ponqué, lo que haría posible su utilización como producto funcional y alimento novedoso.

### **1.5.2.- Limitaciones**

La posible limitación de este estudio radica en que la mezcla óptima generada como mejor formulación no forme un ponqué que permita valorar el efecto de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz sobre las características físicas y sensoriales del ponqué como alternativa de alimento funcional.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la investigación que se presenta es necesario considerar estudios pertinentes, que estén directamente o indirectamente relacionadas con el tema de este estudio.

Al respecto, Umaña, Álvarez, Lopera y Gallardo (2013), realizaron estudio de las harinas alternativas como fuente innovadora para formular alimentos. El objetivo del estudio fue caracterizar harinas alternativas vegetales libres de gluten como: lenteja (*Lens culinaris*), frijol (*Vigna unguiculata*), garbanzo (*Cicer arietinum*), chachafruto (*Erythrina edulis*), plátano (*Musa paradisiaca*), corteza de piña (*Ananas comosus*), pimentón (*Capsicum annum*), ahuyama (*Cucúrbita maxima*), brócoli (*Brassica olerasia*) y champiñón (*Agaricus bisposius*).

Los métodos aplicados fueron: análisis bromatológicos según los oficiales internacionales de análisis (AOAC, 1997), evaluación morfológica de gránulos de almidón por microscopía óptica de contraste, análisis térmico con barrido diferencial calorimétrico (DSC), pruebas funcionales: índice de solubilidad y absorción, capacidad de retención e hinchamiento, prueba de extensibilidad con método Plataforma KiefferTexturómetro AXT2. Los datos por triplicado, fueron tratados con análisis varianza ANOVA y test de rango múltiple con paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI. El estudio dio como resultado que las harinas alternativas analizadas poseen potencial en procesos de panificación en el marco de factores nutricionales bajo los parámetros de contenido de proteína y fuente de energía con altas cantidades de carbohidratos.

Con relación al estudio de Figueroa *et al.*, (2015), proceso una barrita y un panqué a base de harina de frijol y evaluó los atributos nutricionales y

nutracéuticos comparados con alimentos comerciales similares. Se elaboraron harinas compuestas de frijol Negro Frijozac/trigo: 80:20 para el panqué, y frijol Bayo Zacatecas/avena/frutos secos: 60:30:10 peso/peso para las barritas. Se evaluó el contenido nutricional y el potencial nutracéutico de los productos elaborados y fueron comparados con alimentos existentes en el mercado y de mayor consumo por la población. El panqué de frijol presentó alto contenido de taninos y cinco veces más fibra, que el panqué comercial, mientras que la barrita presentó excelente contenido de proteína, fenoles totales y taninos. La elaboración de nuevos productos a base de esta leguminosa es importante por su alto potencial nutracéutico y rico contenido en fibra dietaria y proteína. Asimismo, permite ampliar el canal de comercialización de este tipo de grano.

De igual modo, Liendo y Silva (2015), evaluaron tres formulaciones de un producto tipo galleta (PTG) dulce, elaborado con mezcla de harina de granos de quinchoncho fermentados y precocidas y almidón de maíz (F1: 136 g harina de quinchoncho (HQ)/32 g almidón de maíz (AM); F2: 128 g HQ/32 g AM y F3: 120 g HQ/32 g AM). Se analizó la composición proximal de la HQ y del PTG, las propiedades físico-químicas (color, perfil de textura, aw y pH) y la aceptabilidad sensorial (color, sabor y dureza). Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres formulaciones y cuatro repeticiones por tratamiento y los resultados se analizaron mediante ANOVA utilizando Duncan para las diferencias. La caracterización de la HQ como materia prima para elaborar el PTG fue: humedad 6,65%; proteínas 21,75%; cenizas 2,81%; grasa 1,61%; fibra 9,09% y carbohidratos totales 58,09%. La composición proximal de las formulaciones del PTG arrojó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) sólo en carbohidratos totales. Las tres formulaciones presentaron diferencias significativas en color  $a^*$  y  $b^*$  y aw, relacionado con la variación en la concentración de la harina de quinchoncho en las formulaciones, mientras que la coordenada  $L^*$ , el perfil de textura

instrumental (dureza 1, dureza 2, masticabilidad y fracturabilidad) y el pH no se vieron afectados. Los parámetros sensoriales no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, la formulación F3 fue la más aceptada por los panelistas mostrando tendencia a “me gusta moderadamente”. El PTG elaborado con mezclas de HQ y AM podría considerarse una alternativa alimentaria para personas celíacas.

Por otro lado, Álvarez *et al.* (2016), en su estudio de harina de frijol blanco (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad Güira 50, caracterizaron la harina de frijol y la de trigo con respecto a la granulación y composición centesimal. Para determinar el nivel máximo de sustitución de harina de trigo en la elaboración de panes de corteza suave y dura, se aplicó un diseño de mezcla sustituyendo entre 0 y 30 % de harina de trigo. Con los niveles del diseño se determinaron las características farinográficas de las mezclas de harinas. A los panes se les determinaron volumen específico, altura y diámetro; los atributos sensoriales de desarrollo, uniformidad del color de la corteza, poros, humedad, olor y sabor diferente y se determinó la calidad global. Con el aumento del contenido de la harina de frijol en las masas se aumentó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) la absorción farinográfica, el tiempo de desarrollo y el debilitamiento y se disminuyó la estabilidad de las masas. Se logró obtener un pan de calidad aceptable con un máximo de sustitución del 9 % de harina de trigo por la de frijol en el pan de corteza suave y hasta 9,6 % en el de corteza dura.

Así también, Colina (2017), realizó estudio con el fin de obtener y evaluar la calidad física y química y, la aceptación sensorial de una harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) secada al sol, para ser utilizada como sustituto de la harina de trigo en la elaboración de galletas dulces. Para la evaluación sensorial se usó un panel no entrenado de 30 adultos entre 26 y 40 años de edad. La harina se logró mediante la técnica del secado al sol, con un rendimiento de 40,24%. Más del 90% de la harina pasó un tamiz de

0,60 mm (tamaño de "harina fina"). El rango obtenido para algunos componentes de la harina de yuca fue: humedad 7,52-7,81%; materia seca (MS) 92,20-92,48% y cenizas 2,03-2,17%, no encontrándose alguna tendencia en las variables evaluadas durante el almacenamiento. Las galletas dulces fueron elaboradas con harina de yuca, sin mezclarla con harina de trigo comercial, incluyendo: azúcar, huevos, vainilla y margarina, en su preparación. Las galletas dulces de este estudio, resultaron con: humedad 3,96%; MS 96,04%; pH 7,65 y ceniza 0,74%. Las galletas obtenidas presentaron patrones de aceptabilidad "Bueno" para los ítems sabor, color, olor, consistencia y apariencia, mientras que el ítem textura presentó como patrón de aceptabilidad "Muy bueno", lo que sugiere la viabilidad de sustitución total de la harina de trigo por harina de yuca en galletas dulces principalmente en países de clima tropical, no productores de trigo.

En este orden de ideas, Choque, 2019, evaluó las propiedades físicas, ópticas y aceptabilidad y el efecto de parámetros de procesamiento en cupcakes de Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Para evaluar el efecto se utilizó el Diseño Central Compuesto - Centrado en la Cara, las variables independientes fueron: tiempo (min) y velocidad (rpm) de batido (5:190, 5:400, 10:190, 10:400, 5:295, 10:295, 7.5:190, 7.5:400, 7.5:295 y 7.5:295), para evaluar las variables de respuesta (altura, volumen, volumen específico, porosidad y color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ). Se realizó una evaluación sensorial de los mejores tratamientos por el método CATA y análisis fisicoquímico. Los resultados de las propiedades físicas y ópticas de los cupcakes mostraron diferencias significativas menor a 0,05.

## **2.2.- BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1.- Harina de yuca**

La yuca (*Manihot esculenta*) es un arbusto originario de América Latina y el Caribe (ALC), donde se ha cultivado desde épocas prehistóricas, es conocida también bajo los nombres de manioc, manihot, yuca, mandioca, tapioca plant y aipim. Su adaptación a diversos ecosistemas, su potencial de producción y la versatilidad de su mercado y de su uso final la han convertido en la base de la alimentación de la población y en una alternativa de comercialización (Cartay, 2004). Su producción está dedicada principalmente al consumo en estado fresco debido a la cultura alimenticia de las personas; por otra parte una característica de las raíces de yuca es que sufren un rápido deterioro luego de ser cosechadas, por lo que, deben ser procesadas pocos días después de la cosecha.

Una forma de preservar la yuca fresca es picarla, secarla y molerla para ser incorporada en los alimentos concentrados para aves, camarones, cerdo y ganado lechero; así también, puede utilizarse en la industria de alimentos (Alnicolsa, 2014). La yuca puede convertirse en una harina de alta calidad para utilizarse como sustituto de harina de trigo, maíz y arroz, entre otros, en formulaciones de alimentos tales como productos de panadería, pastificio; como espesante, aglutinante, estabilizante y como mejorador de textura, entre otros usos. La forma más generalizada y tradicional de su consumo es como una galleta seca, circular y delgada, conocida como casabe o cazabe. Asimismo, de la harina o del casabe, se elabora cerveza y bebidas alcohólicas muy populares en algunas regiones de los bosques húmedos tropicales de América y de África.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), al menos tres países caribeños (Barbados, Granada y Trinidad y Tobago) están vendiendo pan hecho en parte con harina de yuca

en lugar de harina de trigo, y otros cinco países recibieron capacitación para aumentar el uso de la yuca. Un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) advierte que la yuca es “un sustituto viable para la importación de trigo y maíz, productos que constituyen en gran medida la factura de importación de alimentos del Caribe” (Marco Trade News, 2016). Por lo que se considera la yuca y sus derivados como potencial sustituto de la harina de trigo tanto para alimentación humana como animal.

A nivel nutricional cobra importancia debido a que es rica en hidratos de carbono complejos, fuente de vitaminas del grupo B (B2, B6), vitamina C, magnesio, potasio, calcio y hierro, contiene altas cantidad de hidratos de carbono, en torno al 88 % y aporta muy pocas proteínas y grasas (Techeira, Sívoli, Perdomo, Ramírez y Sosa, (2014 ).

Para apreciar el potencial del uso industrial y alimentario de la yuca es fundamental comprender las propiedades funcionales del almidón. Las características funcionales de los almidones son: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificar (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Las características del almidón de yuca están en función de la proporción entre amilosa y amilopectina. Cada una de ellas tiene una importancia fundamental en la funcionalidad del almidón y sus derivados: la viscosidad, la resistencia al corte, la gelatinización, las texturas, la solubilidad; la pegajosidad, la estabilidad del gel, la hinchabilidad por frío y la retrogradación.

Las harinas pre-gelatinizadas de yuca modifican las características físicas, químicas y reológicas mediante métodos térmicos de modificación de los almidones, los principales cambios ocurren en la granulometría, color y

especialmente en las características funcionales. Estas características específicas de las harinas modificadas por el calor pueden simplificar su incorporación en cierta formulación de productos por ejemplo, repostería, panadería y pastificio (Pérez, Lares, González, Tovar, 2007).

Los valores para la composición química en base seca, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1  
Composición química en base seca (%) de harina de yuca blanca

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Humedad	5,65±0,04
Cenizas	2,03±0,02
Proteína cruda	1,86±0,15
Grasa cruda	0,34±0,05
Fibra dietética	10,61±0,05
Almidón	77,49±2,69
Amilosa	31,28±0,00
Amilopéctica	63,00±3,00
Azúcares totales	8,03±0,30

Fuente: Techeira *et al.*, 2014.

### **2.2.2.- Harina de frijol**

El frijol (*Vigna unguiculata*), es una especie anual nativa de América perteneciente a la familia fabaceae, sus distintas variedades se cultivan en todo el mundo. El frijol, al igual que otras leguminosas, es una excelente fuente de proteínas (20 – 40 %), carbohidratos (50 – 60 %) y otros nutrientes como tiamina, niacina, hierro y calcio. Así mismo, sus proteínas son ricas en ácidos glutámico y aspártico, y lisina. La metionina es el principal aminoácido limitante en las proteínas del frijol (Champ, 2001).

El frijol es un alimento básico dentro de la dieta, pero su preparación laboriosa requiere energía y un tiempo de cocción considerado, las mujeres que tradicionalmente se han dedicado a las labores hogareñas están optando cada vez más por laborar fuera de casa, lo que exige la disponibilidad de alimentos de fácil preparación final y que brinden la ingesta necesaria de proteínas, actualmente existe en mercado alternativas al consumidor pero su alto costo no permite que este producto sea del



consumo regular en algunos hogares (Espinoza, 2016). Esta situación induce a la industria alimentaria a diversificar su presentación, ya sea, en harina instantánea, sustituto parcial de algunos cereales, enriquecer nutricionalmente otros alimentos, elaboración tecnológica de productos horneados, cárnicos, salsas, confites y alimentos fortificados.

El contenido de proteínas no es solo importante por el valor nutricional que le imparte al alimento sino como constituyente, las proteínas le confieren propiedades funcionales que van a determinar el uso de dicho alimento en una formulación (Sgarbieri, 1998). Es precisamente, el tratamiento térmico impartido en el grano al ser transformado en harina precocida, lo que le otorga la mejora en los valores nutricionales para aumentar la digestibilidad de varios nutrientes, incluyendo carbohidratos y proteínas (Marquardt, 1984).

Al igual que los cereales, las leguminosas requieren ser tratadas antes de su consumo; con el proceso disminuye o es eliminada la mayor parte de los compuestos anti nutritivos naturalmente presentes en las leguminosas y se mejoran la textura y palatabilidad de los granos. Sin embargo, el procesamiento también altera las propiedades funcionales de las leguminosas, condicionando en consecuencia su incorporación en el desarrollo de productos.

Respecto a las propiedades funcionales, Granito, Guinand, Pérez y Pérez (2009), demuestran en estudios que la cocción incrementa la capacidad de absorción de agua y disminuye la capacidad de absorción de grasa y la capacidad espumante de distintas variedades de *Vigna unguiculata*, parámetros relevantes a considerar en los procesos de elaboración de alimentos.

El consumo per cápita de frijol ha disminuido en los últimos años de 25 a 10 Kg por persona por año, mientras que el número de enfermedades crónico degenerativas sigue en aumento. Sin embargo, los estudios

referentes al frijol están involucrados en la disminución de enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y cáncer (Figueroa *et al.*, 2015).

En el campo de los alimentos nutracéutico, cada vez se reconoce más el efecto benéfico de algunos de los fotoquímicos de la soya y en los últimos años, del frijol común, inclusive, compuestos presentes en estas leguminosas que históricamente se reconocen como factores anti nutricionales, están relacionados con la prevención o tratamiento de ciertas enfermedades (Guzmán, Acosta, Álvarez, García y Loarca, 2002).

La composición química de la harina de frijol se visualiza en la tabla 2.

Tabla 2  
Composición química en base seca (%) de harina de frijol

<b>Parámetro</b>	<b>Resultados</b>
Cenizas	1,88
Proteína cruda	23,67
Grasa cruda	2,88
Fibra dietética	15,77
Carbohidratos	47,41
Kcal/100g	349,94

Fuente: Granitos, Torres, Guerra (2003).

### **2.2.3.- Fécula de maíz**

El almidón de maíz es un polisacárido obtenido a través de la molienda húmeda del maíz y cabe señalar que es una sustancia que no es exclusiva del maíz, sino que está presente en una gran variedad de plantas y granos como por ejemplo la papa, trigo, arroz, yuca, entre otros. De manera general el almidón está constituido por la amilosa y amilopectina, en las plantas y granos sirve para almacenar la glucosa, no es soluble en agua y tiene forma de pequeños granos, también se le conoce como “fécula de maíz” o “maicena”.

Los usos principales del almidón sin modificar son en repostería, panadería y preparación de otros productos alimenticios; el almidón modificado tiene una gran variedad de usos como pueden ser adhesivos, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas,

conservador de alimentos, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y estabilizante entre otros. A continuación se muestra una tabla con el resumen de los principales nutrientes de la fécula de maíz.

Tabla 3  
Propiedades nutricionales de la fécula de maíz

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (gr.)</b>	<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (gr.)</b>
Grasa	0,08	Proteínas	0,41
Sodio	3	Hierro	0,50
Carbohidratos	88	Calcio	1
Fibra	0,60	Vitamina B3	0,03
Calorías	356 kcal.		

Fuente: Alimentos. org. es. S/F

#### **2.2.4.- Almidón**

La importancia nutricional de los almidones se constituye en la hidrólisis digestiva de la glucosa, la principal fuente de calorías de la alimentación humana. Estos tienen un papel significativo en la tecnología alimenticia, debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Se utilizan como agentes espesantes y también para aumentar la viscosidad de las salsas y potajes, agentes estabilizantes de geles o emulsiones, así como elementos ligantes y agentes de relleno (Cheftel, J. 1989).

#### **2.2.5.- Harinas compuestas**

El término de harinas compuestas fue creado en 1964 por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), cuando se reconoció la necesidad de buscar una solución para los países que no producen trigo (Elías, 1996), en respuesta a las necesidades de la población mundial, se concibió nuevas mezclas de harinas donde el trigo se sustituye total o parcialmente por otras harinas de origen vegetal (Instituto Nacional de Nutrición, 2014). Por lo que, Elías (1996), plantea dos clases de harinas compuestas, la de trigo diluida es una mezcla de harina de trigo con otras harinas (hasta en 40 %), pudiéndose agregar otros componentes. La segunda clase de harinas compuestas no contienen trigo y se preparan

mezclando cuatro partes de harina de tubérculos y una parte de harina de soya u otra proteína suplementaria. Estos productos difieren en sus características reológicas de los que se preparan a base de trigo exclusivamente.

En 1975, el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAI) propuso extender el concepto de harinas compuestas para incluir a otras harinas no necesariamente elaboradas a partir de cereales y tubérculos y que no se usaran únicamente para preparar productos de panadería. Tal es el caso de las harinas compuestas que se elaboran con leguminosas y oleaginosas y otros productos, y que se usan para preparar alimentos de alto valor nutritivo. Así, dentro del rubro de harinas compuestas se incluyeron dos grupos adicionales: harinas de cereales suplementadas con proteína, y harinas a base de cereales, plantas oleaginosas u otros productos (Elías, 1996).

Entre las ventajas que genera el uso de harinas compuestas se puede mencionar la optimización del valor nutritivo de los alimentos libres de gluten, así como, la reducción en la importación de trigo y harina de trigo, logrando incentivar la producción agrícola de diferentes cereales, tubérculos y leguminosas.

Ante eminente necesidad se han planteado diversas investigaciones en esta línea de acción, como es la presente propuesta que toma en consideración dar valor agregado a los rubros de la yuca, frijol y la fécula de maíz, siendo transformados en harinas precocidas libres de gluten como materia prima de productos de panadería.

### **2.2.6.- Harinas precocidas**

Una harina precocida de origen amiláceo contiene almidones que han modificado su estructura por un tratamiento hidrotérmico. La principal característica de una harina precocida es la facilidad de hidratación, solubilización y desarrollo de una textura viscoelástica como resultado de los

almidones modificados que contiene. Las variaciones en la textura de una harina precocida reconstituida por hidratación están íntimamente ligadas al estado de transformación del almidón como consecuencia de las condiciones de proceso.

El almidón existe en entidades discretas, semicristalinas, las cuales reciben el nombre de gránulos. El tamaño, la forma y la estructura de los gránulos difieren substancialmente entre fuentes botánicas. El almidón está compuesto por dos biopolímeros: la amilosa y la amilopectina. La estructura de la amilosa consta de unidades de D-glucosa unidas linealmente por enlaces glucosídicos  $\alpha(1\rightarrow4)$ ; la amilopectina es la molécula predominante del almidón, y es un polisacárido ramificado compuesto por segmentos lineales de D-glucosa unidos por enlaces  $\alpha(1\rightarrow4)$  conectados por ramificaciones de enlaces  $\alpha(1\rightarrow6)$  Bernal y Martínez (2006). Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 2006).

Un producto gelatinizado se obtiene cuando los gránulos de almidón se encuentran en exceso de agua y se aplica calor. El sistema gelatinizado bajo ciertas condiciones puede experimentar cambios como la reorganización de las moléculas de almidón y convertirse en una estructura de gel; esta secuencia de eventos se conoce como retrogradación. La gelatinización de los gránulos de almidón se ha definido como la transición de fase de un estado ordenado a un estado desordenado, el cual se lleva a cabo durante el calentamiento en exceso de agua. Esta transición siempre implica pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hidratación del almidón y pérdida de orden anisotrópico o birrefringencia, la cual es una medida del ordenamiento del gránulo de almidón.

Las harinas y hojuelas secas precocidas obtenidas a partir de materias primas amiláceas generalmente se deben rehidratar para su utilización, por

lo cual se requiere que estén constituidas de estructuras porosas y que conserven la habilidad de absorción e hinchamiento al contacto con agua (Chan y Toledo, 1976).

### **2.2.7.- Alimentos funcionales**

Este término fue introducido por primera vez en Japón a mediados de 1980 y se refiere a los alimentos procesados que contienen ingredientes que ayudan en funciones específicas del organismo, además que son nutritivos (Golberg, 1994).

El Instituto de Alimentación Médica y el Consejo de Nutrición (IOM/NAS, 1994) definieron a los alimentos funcionales como “cualquier alimento o ingrediente que puede proveer un beneficio a la salud más allá de los elementos nutricionales que pueda contener”. Otra definición dada por Golberg (1994) es que son cualquier alimento o ingrediente alimenticio que tiene un impacto positivo en la salud, bienestar físico o estado mental de un individuo además de su valor nutritivo.

En Europa se acepta que un alimento es funcional si contiene un componente alimenticio (sea nutriente o no) con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismos, cuyos efectos positivos justifican que se pueda reivindicarse que es funcional (fisiológicos) o incluso saludable.

Otros términos utilizados para referirse a los alimentos funcionales incluyen farmacoalimentos, alimentos terapéuticos, alimentos inteligentes, fitoalimentos, fitonutrientes, alimentos hipernutritivos, nutracéuticos, entre otros. Sin embargo, el término funcional es el que ha permanecido debido a lo simple de su significado. Funcional significa que existe un propósito además de un valor nutritivo.

En cuanto al mercado de esta nueva rama de alimentos se estima que más del 70 % son bebidas y que la distribución de ingredientes en los alimentos funcionales es de 40 % fibra dietética, 20 % calcio, 20 %

oligosacáridos, 10 % bacterias ácido lácticas y 10 % otros (PA Consulting Group, 1990).

Se está probando y estudiando el rol de varios ingredientes en la prevención de enfermedades crónicas y su beneficio a largo plazo, por ejemplo: aceite de pescado y antioxidantes para reducir los daños causados por la arterosclerosis, beta caroteno para disminuir los riesgos del cáncer, calcio para disminuir la osteoporosis y ayudar a la mujer a combatir síntomas del estrés y ansiedad del síndrome premenstrual, fibra para reducir el riesgo de enfermedades coronarias y cáncer, colina para bajar la presión sanguínea, niacina para tratar hiperlipidemia, zinc para disminuir la susceptibilidad a enfermedades contagiosas y mejorar la respuesta inmune y otros más (Golberg, 1994).

La legislación alimentaria japonesa reconoce doce (12) ingredientes que pueden ser considerados para mejorar la salud: fibra dietética, oligosacáridos, polifenoles, pépticos y proteínas, glucósidos, alcoholes, isoprenoides y vitaminas, colina (vitamina de yema de huevo), bacterias ácido lácticas, minerales (calcio, magnesio, hierro y zinc), ácidos grasos poliinsaturados, ácidos ascórbico.

El desarrollo de alimentos funcionales también ha sido dirigido a niños y adolescentes que contribuyan a reducir los factores de riesgo en enfermedades asociados con la dieta, así como de deficiencias nutricionales, ya que se ha reportado que en Estados Unidos el 80 % no reciben las cantidades recomendadas de calcio, zinc, hierro, y vitaminas del grupo B. Actualmente ya se comercializan en Estados Unidos, caramelos y gomas de mascar fortificadas con calcio y vitaminas (A, C y E) (Sloan, 1999).

Otro mercado consumidor de alimentos funcionales es el sector femenino, tal es el caso de cereales enriquecidos con calcio, hierro, ácido fólico y vitamina B<sub>12</sub> y algunos productos de soya enriquecidos con isoflavonas, para mejorar los síntomas de la menopausia (Sloan, 1999). Uno

de los sectores de mayor crecimiento de alimentos funcionales son los que incorporan microorganismos benéficos como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, los cuales ejercen numerosos beneficios para la salud del huésped que lo contenga, porque incluye mejoras en el sistema inmunológico, control competitivo de microorganismos patógenos en el intestino, disminución del riesgo de cáncer en el colon, y mejoras en la biodisponibilidad de nutrientes, principalmente calcio (Sánchez *et al.*, 2015). Los alimentos funcionales pueden contener más de un componente fisiológicamente activo, los cuales pueden actuar sinérgicamente entre sí cuando se combinan de una manera adecuada. Por lo tanto, la formulación de productos en los cuales se incluyen varios nutrientes provee de mayores beneficios para la salud. Tal es el caso de un mejor aprovechamiento del calcio cuando se incorpora conjuntamente con vitaminas D y K (Sánchez, *et al.*, 2015).

La elaboración de estos alimentos no sólo deben contemplar su calidad nutricional, sensorial y tecnológica, sino que también aportar fitoquímicos u otros agentes bioactivos que contribuyan al bienestar del consumidor, por ende a mantener una condición de salud y/o reducir un riesgo de enfermedad, especialmente del tipo de enfermedades crónicas no transmisibles (Lutz y León, 2009).

### **2.2.8.- Enfermedad celíaca (EC)**

La EC con frecuencia se denomina enteropatía por sensibilidad al gluten, esprue celíaco o esprue no tropical, se caracteriza por la intolerancia permanente al gluten, produce una lesión grave a la mucosa del intestino delgado proximal, presenta linfocitos intraepiteliales, desarrollo de criptas hiperplásicas y atrofia vellositaria, que ocasiona una inadecuada absorción de los nutrientes (principios inmediatos, sales y vitaminas), su repercusión clínica y funcional va a estar en dependencia de la edad y la situación fisiopatológica del paciente y provoca síntomas como retraso del crecimiento,



diarreas, vómitos, entre otros (Rocandio, 2000; Martín y Polanco, 2001; Mitre, 2004; Da Silva, 2006; Borda *et al.*,2006).

La celiaquía es la intolerancia alimentaria permanente a un conjunto de proteínas denominadas prolaminas entre la que existe un grupo, representado por la gliadinas, que posee homología estructural y antigénica y que son tóxicas para el enfermo celíaco. Estas prolaminas provenientes del trigo, avena, cebada y centeno deben ser excluidas de los alimentos que se destinan a consumo de celíacos. En dichos alimentos deben controlarse periódicamente la ausencia de estas prolaminas para evitar posibles contaminaciones o adulteraciones que pudieran llevar al enfermo a transgresiones involuntarias. Los estudios a realizarse en alimentos para EC deben ser lo suficientemente sensibles como para asegurar que no se supera el límite permitido de contenido de gluten, de acuerdo a las recomendaciones de la FAO, esto es 20 mg/Kg (Milde *et al.*, 1999).

Esta intolerancia es de carácter permanente, se mantiene a lo largo de toda la vida y se presenta en sujetos genéticamente predispuestos a padecerla. Parece que la ausencia de lactancia materna, la ingestión de dosis elevadas de gluten, así como la introducción temprana de estos cereales en la dieta de personas susceptibles, son factores de riesgo para su desarrollo. Un régimen estricto sin gluten conduce a la desaparición de los síntomas clínicos y de la alteración funcional, así como a la normalización de la mucosa intestinal.

Actualmente se reconoce la estrecha relación que existe entre la salud y la alimentación, razón relevante para el desarrollo de productos y alimentos con modificaciones en su composición por disminución, eliminación o adición de nutrientes con la finalidad de contribuir a evitar deficiencias y prevenir excesos perjudiciales para la salud (Diplock, 1999). Incluso se ha definido el término alimentos para regímenes especiales como dietas en las cuales, se requieren alimentos elaborados o preparados especialmente para satisfacer

necesidades particulares de alimentación, determinadas por condiciones físicas o fisiológicas particulares y/o enfermedades o trastornos específicos, que se presentan como tales (Pérez, 2010).

### **2.2.9.- Caracterización de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz**

La caracterización de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz busca identificar los principales parámetros físicos, funcionales y químicos que las definen como materia prima potencial en este estudio.

#### **2.2.9.1.- Composición física, química y funcional**

La granulometría en las harinas determina el uso de destino. Generalmente la harina de yuca presenta un tamaño de partícula bastante fino, el cual dependerá del grado de finura establecido durante la molienda.

Las partículas de materias primas pasan por muchos cambios a través del proceso de la molienda. El factor principal que afecta el tamaño de las partículas es la forma en que se muele el grano. Los diferentes tipos de ingredientes tienen comportamientos diferentes cuando se muelen, por ejemplo, el trigo produce un tamaño de partícula diferente al maíz pasando por el mismo molino. Los molinos de martillos y de rodillos son dos de los equipos más comunes que se utilizan para moler las materias primas alimenticias.

La absorción de agua es importante para todo el proceso de panificación, pero particularmente para las propiedades mecánicas, el rendimiento de la masa y la calidad del producto final (Hamer & Hosene, 1998).

Se determina la cantidad de agua necesaria para lograr un estado de saturación de la proteína (cantidad máxima de agua retenida, medida por centrifugación). En este método se mide tanto el agua ligada (agua de hidratación, no congelable) como el agua capilar, retenida físicamente entre

las moléculas proteicas. La concentración proteica, el pH, la temperatura, el tiempo, la fuerza iónica y la presencia de otros componentes afectan a las fuerzas que toman parte en las interacciones proteína-proteína y proteína-agua.

La capacidad de absorción de agua e índice de solubilidad son afectados por el tamaño del granulo como del grado de gelatinización de almidones, parámetros a considerar en el procesamiento de productos de panadería. La capacidad de absorción de agua (IAA) está directamente relacionada con el tamaño de partícula, el grado de gelatinización y el porcentaje de almidón dañado. Algunos investigadores han indicado que la estructura responsable de la capacidad de absorción de agua son los gránulos de almidón y la presencia del pericarpio.

El índice de solubilidad en agua (ISA), parámetro indicativo de la cantidad de sólidos que son disueltos por el agua, indicando también el grado de cocimiento del producto. Un mal secado de la masa ocasiona gelatinización parcial, retrogradación y reducción en la cristalinidad del almidón, de tal manera que la funcionalidad del almidón se modifica, afectando las características de rehidratación de las harinas, disminuyendo la cohesividad, la plasticidad y la vida de anaquel de los productos e incrementa la retrogradación (Jiménez y Vázquez, 2016). Este índice está muy asociado a la suavidad, dureza o sequedad del producto terminado.

El índice de solubilidad es una medida del grado de modificación o alteración de los gránulos de almidón durante un procesamiento determinado (Colonna, Doublier, Melcion y Mercier, 1984). Según Araujo, Rincón y Padilla (2004), el índice de solubilidad aumenta como consecuencia del hinchamiento del gránulo del almidón y el incremento de la temperatura e indica el grado de asociación existente (enlaces intragranular) entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina).

La determinación del contenido de humedad es uno de los ensayos más importantes y usados en el procesamiento y análisis de los alimentos. Dado que, la cantidad de materia seca en un alimento se relaciona inversamente con la cantidad de humedad que contiene, el porcentaje de humedad tiene importancia económica directa tanto para el industrial como para el consumidor. De gran significado es el efecto de la humedad, tanto en la estabilidad como en la calidad de los alimentos, ya que condiciona el tiempo de vida útil de un producto en el almacén, el tipo de empaque a utilizar y el tipo de procesamiento que se le puede aplicar.

El contenido total de proteínas en los alimentos está conformado por una mezcla compleja de proteínas. Estas existen en una combinación con carbohidratos o lípidos, que puede ser física o química. En 1883 el investigador danés Johann Kjeldahl desarrolló el método más usado en la actualidad para el análisis de proteínas (método Kjeldahl) mediante la determinación del nitrógeno orgánico. El resultado del análisis es una buena aproximación del contenido de proteína cruda del alimento ya que el nitrógeno también proviene de componentes no proteicos (Santiago, 2011).

La determinación de grasa cruda en los alimentos se basa en su propiedad de ser solubles en solventes orgánicos. Entre los métodos clásicos están la extracción con disolventes o Soxhlet en los que la muestra es sometida a una digestión con ácido clorhídrico antes de la extracción. Hoy en día, las extracciones Soxhlet están en gran parte automatizadas permitiendo procesar varias muestras simultáneamente. Estos sistemas ofrecen al laboratorio muchas ventajas, tales como uso fácil, recuperación de disolventes, funciones de seguridad y requerimiento de poco espacio en la mesa de trabajo.

Las grasas están presentes en las raíces de yuca, constituidas principalmente por galactosil, diglicéridos y ácidos grasos saturados, se encuentran en mayor proporción en la corteza que en la pulpa (CIAT, 2001).

En las harinas, la presencia de grasa, puede generar una serie de transformaciones químicas como la rancidez, que además de reducir su valor nutritivo, producen compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables (Cueto, 2011).

Las cenizas de los alimentos están formadas por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica se ha calcinado a no más de 550°C, estas cumplen en el organismo funciones plásticas y reguladoras. En las harinas las cenizas son buenos indicadores del grado de purificación durante la molienda y del índice de finura de las mismas. Las cenizas obtenidas no tienen necesariamente la misma composición que la materia mineral presente en el alimento original, ya que pueden existir pérdidas volatilización o alguna interacción entre los componentes del alimento.

La cantidad o valor obtenido de las cenizas en un alimento puede considerarse como una medida general de calidad, por ejemplo en las harinas se puede determinar qué tan refinada es ya que entre más refinada sea, menor será la cantidad de cenizas presentes en la harina. La determinación de cenizas también es útil para identificar el tipo de alimento, así como para detectar alteraciones y contaminaciones.

#### **2.2.10.- Caracterización de ponqué**

Los ponqués son productos horneados dulces, ricos en calorías, muy apreciados por los consumidores debido a su buen sabor y textura suave. El producto final se caracteriza por una estructura porosa típica y de alto volumen específico, lo que le confiere una textura esponjosa. Estos presentan una base cilíndrica y una superficie más ancha, con forma de hongo. La parte de abajo suele estar envuelta con papel especial de repostería o aluminio, y aunque su tamaño puede variar presentan un diámetro inferior al de la palma de la mano de una persona adulta.

Como la mayoría de los productos de panificación, los cupcakes o ponqués están hechos de harina de trigo floja, harina que no es muy alta en proteínas.

Los ponqués o cupcakes son mundialmente conocidos y están intrínsecamente conectados a la cultura de cada país, siendo comúnmente consumidos en el desayuno o como postre o merienda. Los consumidores aprecian y consideran los ponqués como productos deliciosos con determinadas y particulares características organolépticas (Matsakidou, *et al.*, 2010). Se muestra en la tabla 4 un resumen de los principales componentes del producto tipo ponqué.

Tabla 4  
Composición de nutrientes por cada 100 gramos de ponqué

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (gr.)</b>	<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (gr.)</b>
Grasas saturadas	8	Grasas poliinsaturadas	6,50
Agua	15,50	Proteínas	6,05
Grasa	9,6	Carbohidratos	61,2
Colesterol	0,067	Grasas mono insaturadas	10,50

Fuente: Dietas. NET, 2018.

La cantidad de calorías del ponqué, es de 377 kilo calorías por cada 100 gramos, el aporte energético es aproximadamente un 17 % de la cantidad diaria recomendada de calorías que necesita un adulto de mediana edad y de estatura media que realice una actividad física moderada, proporcionando la energía requerida para realizar las actividades diarias.

A continuación, se muestra el porcentaje de la cantidad diaria recomendada de vitaminas que aportan 100 gramos de este alimento a nuestra dieta: vitamina A: 39 %, vitamina B<sub>1</sub>: 8 %, vitamina B<sub>12</sub>: 40 %, vitamina B<sub>2</sub>: 9 %, vitamina B<sub>3</sub>: 13 %, vitamina B<sub>6</sub>: 4 %, vitamina B<sub>9</sub>: 17 %, vitamina E: 24 %, Vitamina K: 3 %. La cantidad diaria recomendada se especifica de acuerdo a la legislación española (Real Decreto 1487/2009).

Por otro lado, con relación al contenido de minerales del producto, se presenta dicho valores en la siguiente tabla.

Tabla 5  
Composición de minerales por cada 100 gramos de ponqué

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (mg)</b>	<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (mg)</b>
Calcio	92	Fósforo	150
Zinc	0,70	Hierro	2,6
Cloro	410	Yodo	25
Cobre	0,10	Magnesio	14
Potasio	141	Manganeso	0,20
Selenio	0,005	Sodio	350

Fuente: Dietas. NET, 2018.

Las proteínas de este alimento están formadas por aminoácidos como ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, arginina, cistina, fenilalanina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, prolina, serina, tirosina, treonina, triptófano y valina. Estos aminoácidos se combinan para formar las proteínas del ponqué.

Nuestro cuerpo usa las proteínas del ponqué para construir los tejidos que forman nuestros músculos, también intervienen en funciones fisiológicas sin las cuales, nuestro organismo no podría subsistir. Las proteínas del ponqué se descomponen en aminoácidos en nuestro organismo para su asimilación. A continuación, se muestran la cantidad de aminoácidos del ponqué.

Tabla 6  
Aminoácidos contenidos en el ponqué

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (mg)</b>	<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (mg)</b>
Ácido aspártico	495	Leucina	485
Ácido glutámico	1177	Lisina	345
Alanina	287	Metionina	157
Arginina	333	Prolina	385
Cistina	133	Serina	410
Fenilalanina	307	Tirosina	228
Glicina	206	Treonina	253
Hidroxiprolina	0	Triptófano	90
Histidina	141	Valina	325

Fuente: Dietas. NET, 2018.

El almidón, es un hidrato de carbono, en forma de polisacárido, que desempeña el papel de aportador de energía dentro de la función alimenticia de los productos de panadería; además de la capacidad de absorber cerca del 40% de su peso en agua.

Una lista de la cantidad de hidratos de carbono simples del ponqué se plasma a continuación:

Tabla 7  
Hidratos de carbono contenidos en el ponqué

<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (gr.)</b>	<b>Nutrientes</b>	<b>Cantidad (gr.)</b>
Azúcar	30,10	Maltosa	1,66
Glucosa	0,08	Sacarosa	28,35

Fuente: Dietas. NET, 2018.

Las proporciones de los nutrientes del ponqué pueden variar según el tipo y la cantidad de harina empleada, así como los demás insumos suministrados en la formulación, además de otros factores que puedan intervenir en la modificación de sus nutrientes; según la preparación del ponqué, pueden variar sus propiedades y características nutricionales.

La mayoría de los ingredientes para productos horneados, como la harina, huevos, leche, sal, azúcar, margarina y/o aceite, son idénticos o difieren sólo en proporción de los ingredientes empleados en la elaboración de productos leudados como el pan (Pylar, 1988).

### **2.2.11.- Análisis físicos y químicos del ponqué**

El análisis de los alimentos es primordial en la tecnología de alimentos. La composición química de los alimentos y las propiedades físicas de sus componentes son usadas para determinar el valor nutritivo, características funcionales, la aceptabilidad, calidad y seguridad de los productos alimenticios.

Tanto el pH y la acidez en los alimentos juegan un papel importante en el estudio, análisis bioquímico de los alimentos. El valor de pH es una



medida de la acidez o alcalinidad de una muestra y es un indicador de fermentación o uso de algunos aditivos tales como dióxido de azufre durante el proceso de elaboración de productos alimenticios, ya que éste influye en la conservación y almacenamiento de los mismos, como efecto inhibidor sobre el desarrollo de microorganismos y la actividad de las enzimas (González, 1993). La determinación de la acidez es un índice de calidad importante que permite determinar si un producto ha sufrido o no algún tipo de deterioro.

La determinación de humedad es un paso obligado en el análisis de alimentos. El contenido de humedad del alimento, es clave desde el punto de vista económico y de preservación de la calidad e inocuidad. Sin embargo, mucha humedad libre y desprotegida, nos lleva rápidamente al desarrollo indeseable de hongos y levaduras.

El método más utilizado es la desecación en estufa de aire caliente, el cual consiste en evaporar toda el agua presente, debemos tener un peso inicial del alimento y un peso final, y por diferencias de pesos obtenemos el resultado.

Los tamaños varían desde 6 hasta 2 centímetros, estos últimos son los llamados mini ponqués. Los medianos tienen un tamaño de 4 centímetros y un peso de 50 gramos.

La expansión de los ponqués se determina por la altura que alcanza en el proceso de horneado, expresándose en milímetros. Esta medida se realizará al producto en el centro, donde el aumento es mayor, se puede visualizar la subida de la masa durante la cocción, la cual posteriormente se convierte en datos numéricos evaluables.

En esta fase ocurre la formación característica de la masa en conjunto con las burbujas de CO<sub>2</sub> que van expandiendo con el calor. Por último, ocurre un cese del aumento del área, en el que encontramos una fluctuación en el área del ponqué, esto es debido a la liberación de los gases formados. En esta fase ocurre la cocción completa de la masa.

En las harinas libres de gluten un componente importante para el crecimiento de la masa es el almidón y sus polisacáridos que lo componen, amilosa y amilopectina. El almidón tiene una estructura granular, la cual bajo el sometimiento de la acción del calor se descompone, quedándose en forma gelatinosa y tiene función estructural ya que permite la retención de agua en su estructura.

### **2.2.12.- Evaluación sensorial**

La información sobre los gustos y aversiones, preferencias y requisitos de aceptabilidad, se obtiene empleando métodos de análisis adaptados a las necesidades del consumidor y evaluaciones sensoriales con panelistas no entrenados. La evaluación sensorial resulta un factor esencial en cualquier estudio sobre el desarrollo de nuevos productos alimenticios, reformulación de productos ya existentes, identificación de cambios causados por los métodos de procesamiento, almacenamiento y uso de nuevos ingredientes así como, para el mantenimiento de normas de control de calidad (Watts, *et al.*, 1992).

#### **2.2.12.1.- Características sensoriales**

Las características sensoriales contribuyen muy perceptiblemente con la aceptación de los productos por parte del consumidor, de allí la importancia de su determinación.

Desde el punto de vista de la calidad de los alimentos, la inocuidad es fundamental, pero también deben cumplir atributos de calidad organoléptica que condicionan la aceptabilidad de acuerdo a su capacidad de actuar sobre los sentidos, que determinan la aceptación o rechazo, y la calidad nutricional o el aporte de nutrientes y energía acorde a las necesidades del consumidor.

Las pruebas orientadas al consumidor incluyen las pruebas de preferencia, pruebas de aceptabilidad y pruebas hedónicas (grado en que gusta un producto). Estas pruebas se llevan a cabo con paneles de

consumidores no entrenados. Aunque a los panelistas se les puede pedir que indiquen directamente su satisfacción, preferencia o aceptación de un producto, a menudo se emplean pruebas hedónicas para medir indirectamente el grado de preferencia o aceptabilidad (Watts, Ylimaki, Jeffery y Elías, 1992).

### **2.2.13.- Ingredientes a usar en la formulación:**

#### **Harinas**

En general las harinas para ponqué, son obtenidas de variedades de trigo suave rojo de invierno, las cuales presentan un bajo contenido de proteína y ceniza. Para dar un rendimiento satisfactorio, la harina debe tener bajo contenido de gluten, el cual no desarrolle un grado significativo de dureza durante el mezclado. Se necesitan masas extensibles y fáciles de trabajar (menos tenaces), es decir, las que se obtienen con harinas flojas o de trigo blando (Lezcano, 2011).

La harina ayuda a retener las burbujas de gas y hacen rígida al ponqué horneado, pero todavía compresible, ya que ofrece un material estructural que es una pequeña cantidad de proteína coagulada por calor.

Sin embargo, el principal componente es el almidón que cuando se hace pasta durante el horneado, es indispensable para formar la miga. En la miga, el material que una vez rodeó a las células de gas en el batido está formado en parte por los granos de almidón gelatinizados (Charley, 2005).

A efectos de esta investigación se utilizará harinas compuestas de yuca, frijol y fécula de maíz, la cual se ha definido en este apartado.

#### **Azúcar**

La función primordial del azúcar es endulzar la mezcla. En los productos horneados se emplea también como ablandador y además tiene la propiedad de retener humedad. Imparte a la corteza un color dorado característico (Mosqueda, 1998; Zacarías, 1995). El azúcar también eleva la

temperatura a la cual las proteínas del huevo se coagulan durante el horneado, retrasa el empastado de los granos de almidón y contribuye con un mayor volumen de la masa, influyendo sobre la textura y el color del producto final (Ronda *et al.*, 2005; Torley y Van der Molen, 2005). La sacarosa, fructosa, glucosa, maltosa y las dextrinas contribuyen además a las distintas clases de oscurecimiento que se encuentran en los productos horneados. El azúcar, sola o en combinación con algún edulcorante de los citados anteriormente, además de ser fuente energética, contribuye a mejorar el sabor, color, suavidad y vida útil en anaquel de los productos horneados (Esteller *et al.*, 2004).

Por otra parte, Kocer *et al.*, (2007) señalan que el azúcar juega un rol importante en la mezcla, aumentando la viscosidad y la estabilidad de la espuma en el batido y proporcionando altura a las tortas. Asimismo, el azúcar promueve la agregación de cristales de grasa que aumentan la retención del aire y la estabilización de las burbujas de aire durante el horneado (Beesley, 1995).

### **Grasa**

En general, la grasa usada en la elaboración de ponqué tiene tres funciones básicas, atrapar el aire durante el proceso de cremado que resulta en una aireación apropiada o el levantamiento del batido. Lubricación de la proteína y las partículas de almidón rompiendo la continuidad del gluten y la estructura del almidón que comprime la miga y por lo tanto la suaviza (ablanda). La emulsificación y mantenimiento de cantidades considerables de líquidos y por tanto el incremento y prolongación de la suavidad en los ponqués (Potter, 1978; Pylar, 1988). En resumen, la materia grasa proporciona más suavidad, mayor volumen, mejor miga y en consecuencia un producto final con mejores características (Henaó, 2004).

## **Huevos**

Los huevos, dependiendo de la mezcla, se emplean enteros o separando las claras y las yemas; sin embargo, indiferentemente de la parte que se utilice, lo primordial es un buen batido. Las proteínas de las claras de huevo juegan un papel importante en la formación de espuma en los ponqués. Grandes volúmenes de aire son dispersados fácilmente en la mezcla de batido antes de hornear. El calentamiento de la espuma del huevo expande las burbujas de aire incorporados en el batido de ponqués y el volumen se incrementa inmediatamente después de la coagulación de las proteínas del huevo durante la cocción (Çelik *et al.*, 2007).

Pylar (1988), señala que la característica de la proteína del huevo para formar espuma mediante el batido, proporciona una estructura aireada relativamente estable que es capaz de soportar otros ingredientes; esto es debido a que las proteínas del huevo son extendidas en una red compleja durante el batido de la mezcla en asociación con el gluten de la harina, actuando como estructura de soporte.

Sin embargo, su principal función no es solo formadora de estructura sino de estabilización. En el calentamiento durante el proceso de horneado, la red de proteínas del huevo en el batido coagula, contribuye a la rigidez de la miga del ponqué y asiste en el mantenimiento del volumen obtenido (Finnie *et al.*, 2006).

## **Leche**

La leche también aporta valor nutritivo a nuestras masas. La grasa que contiene la leche, al igual que la mantequilla, le da elasticidad, por lo que la masa adquiere más volumen.

La caramelización de la lactosa es lo que le da color a la corteza de los ponqués y panes. La leche, además, contiene grasas que ayudan a la conservación de las masas. Otros de sus componentes también ayudan a dar esponjosidad a las masas, como la caseína, sensible al ácido, y la

albúmina, sensible al calor. Además, sus sales minerales fortifican el gluten, lo que da mayor consistencia.

### **Sal**

La sal potencia y resalta el sabor de los demás ingredientes, además de absorber el agua, mejorar el color y espesar la corteza. También posee una última cualidad muy importante y es que ejerce una función bactericida.

### **Vainilla**

La vainilla es un aromatizante sofisticado, que aporta una fragancia muy especial a los platos, guisos, y la repostería en la que se incluye. Se utiliza para aromatizar refrescos, helados, pasteles, entre otros.

### **Agentes leudantes**

La acción de agentes leudantes es airear la masa o el batido y por tanto ponerlo liviano y poroso, la porosidad es transferida al producto final, la cual es responsable del buen volumen, mejorar la calidad del masticado, suavizar la miga y contribuir a la estética del producto final, impartiendo ciertos atributos deseables tales como uniformidad de la estructura celular, brillo del color de la miga, suavidad de la textura y aumento de la palatabilidad (Pylar, 1988).

Los agentes esponjantes están constituidos principalmente por el aire, el vapor y el bióxido de carbono. En general, los productos horneados se hinchan con más de uno de estos tres agentes esponjantes. En todos los productos de horneado se incorporan algunas burbujas de aire, asimismo, se forma algo de vapor ya que los ponqué en su preparación siempre contienen líquidos. Sin embargo, no todos los productos horneados se esponjan con el bióxido de carbono tales como la torta ángel y las tortas de esponja (Potter, 1978; Charley, 2005).

El polvo de hornear o bicarbonato de sodio es el agente leudante más usado en la repostería, donde reacciona junto con otros componentes, ayuda a la mezcla a elevarse, dándole sabor y volumen, lo que provoca los ponqués esponjosos (Davidson, 1999).

Dependiendo de la tasa de reacción, el polvo de hornear puede ser de acción rápida, lenta y de doble acción, suelta la mayoría de sus gases durante los primeros minutos en contacto con líquidos, por lo que requieren un manejo rápido en el batido para evitar pérdida de volumen.

## **2.3.- SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### **2.3.1.- Hipótesis de la investigación**

La sustitución total de la harina de trigo por harina de yuca, fécula de maíz y harina de frijol en el proceso de elaboración de un ponqué tendrá efecto sobre las características físicas, químicas y sensoriales que determinan su aceptabilidad como alternativa alimenticia funcional.

### **2.3.2.- Hipótesis operacional**

Los niveles de los factores experimentales, harina de yuca, fécula de maíz y harina de frijol permitirán obtener un ponqué con características físicas, químicas y sensoriales como alternativa alimenticia funcional.

### **2.3.3.- Hipótesis estadística**

#### **Hipótesis Nula $\tau_i = 0$**

No existe diferencia estadística significativa en el efecto de las proporciones de harina de yuca, frijol y fécula de maíz sobre las características físicas, químicas y sensoriales de un ponqué como alternativa alimenticia funcional.

### Hipótesis alternativa $\tau_i \neq 0$

Al menos uno de los tratamientos aplicados tendrá efecto estadístico significativo sobre las características físicas, químicas y sensoriales de un ponqué como alternativa alimenticia funcional.

## 2.4.- SISTEMA DE VARIABLES

Las variables inherentes a este estudio, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8

Variables de la investigación.

<b>Objetivo específico 2.- Optimizar las proporciones de las mezclas en función de las características físicas y funcionales de las harinas compuestas, que permita ajustar modelos polinomiales y obtener la mejor formulación de un ponqué.</b>		
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>MÉTODOS MUESTREO</b>
Proporciones de la Mezcla óptima	Harina de yuca (40-70 g) Harina de frijol (5-10 g) Fécula de maíz (20-40 g)	Método de muestreo aleatorizado Hípercubo Latino
<b>Objetivo específico 3.- Describir las características físicas, químicas y funcionales de la mezcla óptima generada como mejor formulación.</b>		
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>MÉTODOS DE ENSAYO</b>
Características físicas, químicas y funcionales de la mezcla óptima: granulometría, humedad, grasa, cenizas, IAA, ISA.	Mezcla óptima	Método físico, químico y funcional.
<b>Objetivo específico 4.- Valorar las características físicas y sensoriales de un ponqué de harinas compuestas en la calidad del producto como alimento funcional.</b>		
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>MÉTODOS DE ENSAYO</b>
Características físicas y sensoriales: pH, acidez, humedad, expansión, color, olor, sabor, textura, apariencia global, apariencia de la homogeneidad de la miga.	Ponqué de harinas compuestas	Métodos físicos Métodos químicos Método de análisis sensorial

\*IAA: índice de absorción de agua. \*ISA: índice de solubilidad en agua.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.- NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

Es de carácter integrativo, debido a que este estudio busca obtener un ponqué a partir de proporciones intencionadas de harina de yuca, harina de frijol y fécula de maíz, lo que acarrea la modificación de las características físicas, químicas y sensoriales que eventualmente se alcanza en el procesamiento de este tipo de producto terminado (Hurtado, 2010).

#### **3.2.- TIPO DE LA INVESTIGACIÓN**

Es de tipo evaluativa, debido a que los resultados que se intenta obtener son específicos y se orienta a valorar los resultados físicos, químicos y sensoriales de un ponqué como alternativa de alimento funcional a partir de la mezcla de harina de yuca, harina de frijol y fécula de maíz en la elaboración (Hurtado, 2010).

#### **3.3.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Es de carácter experimental, por lo que se manipula las proporciones de harinas de yuca, frijol y fécula de maíz con el propósito de obtener un ponqué con características similares al comercial (Hurtado, 2010).

#### **3.4.- FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el proceso de investigación se estableció en cuatro (04) etapas para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, en la que se plasma la descripción del objetivo a desarrollar, unidad de estudio, unidad experimental, las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

**3.2.1.- Fase 1:** Propiedad física, química y funcional de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz.

El análisis de las materias primas se inició con la recolección de datos directamente de los sujetos investigados. Para lo cual, se empleó 25 Kg. y 05 Kg, respectivamente, de las variedades *Manihot esculenta* y *Vigna unguiculata*, provenientes del mercado mayorista la Cuatricentenaria del estado Barinas, mientras que seis (06) Kg. de la fécula de maíz fue una donación de Industria Venezolana Maicera Proarepa, C.A, ubicada en Acarigua estado Portuguesa.

La selección de la materia prima se realizó al azar, en buen estado, sin daño apreciable, con características de calidad de consumo y calidad organoléptica.

Se consideró en el procesamiento de la harina precocida de yuca, la composición esencial y factores de calidad de acuerdo la Norma del Codex Stan 176-1989 para la harina de yuca comestible.

Las harinas precocidas de yuca y frijol se procesaron mediante molienda seca en la unidad de laboratorio de la Universidad Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (UNELLEZ-VIPI), San Carlos-Cojedes (Anexo A, B, C).

### **Obtención de la harina precocida de yuca**

El procedimiento para la producción de la harina precocida de yuca se ejecutó considerando estudio realizado por Rodríguez, Cuvelier y Fernández (2007) (Anexo D). Este inició con el pesaje de los tubérculos en báscula Italiana Macchi, se procedió a retirar impurezas manualmente y eliminar el pericarpio con cuchillos de acero inoxidable, seguidamente la reducción mecánica con equipo troceador marca Azuara S.L, a hojuelas de un espesor de 2,5 milímetros de tamaño uniforme, el producto de la disminución de tamaño se sumergió en una solución de ácido cítrico al 0,05% para evitar oscurecimiento enzimático, luego sometiendo a vapor por dos (02) minutos en el equipo Exhausting, este tratamiento térmico permitió modificar las

características funcionales de los almidones, se dejó reposar y se introdujeron en el deshidratador de bandejas con convección de aire a 80 C por lapso de cinco (05) horas. Una vez que finalizó la deshidratación se atempero para proceder a molienda en molino de martillo marca Achtung. La harina de yuca se empacó en bolsas polipropileno y almacenó en lugar seco a temperatura de 23 C hasta su utilización.

### **Proceso de la harina de frijol**

El proceso de elaboración de la harina de frijol se ejecutó siguiendo estudios de Granito, Torres y Guerra (2003); Mendoza *et al.* (2016) de la siguiente manera: selección, limpieza, desinfección, lavado, remojo de los granos de frijol en agua destilada en una proporción 1:3 por catorce (14) horas a 25 C y posterior cocción en un autoclave Bertuzzi 121 C por 15 min y a 15 lb/plg<sup>2</sup> de presión. A continuación, se ubicó en las bandejas del deshidratador con convección de aire a 80 C por lapso de cinco (05) horas. Una vez culminó la deshidratación se atempero para proceder a molienda en molino de martillo marca Achtung. El empaque de la harina se efectuó en bolsas polipropileno y almacenó en lugar seco a temperatura de 23 C hasta su utilización (Anexo E).

### **Caracterización física, química y funcional de las harinas**

Con relación a la caracterización física, química y funcional de las harinas, se realizó de acuerdo a los métodos que especifican en la siguiente tabla.

Tabla 9  
Metodología para caracterizar las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz.

<b>Características físicas</b>	<b>Método</b>
Granulometría	Bedolla y Rooney, 1984
<b>Composición química</b>	<b>Métodos (Normas COVENÍN)</b>
Humedad	1553 – 80
Proteína cruda	1195 – 80
Grasa cruda	1172 – 79
Cenizas totales	1194 – 79
<b>Propiedades funcionales</b>	<b>Métodos</b>
Índice de absorción de agua e índice	Anderson (1996).
Solubilidad de agua	Reyes <i>et al.</i> (2002)

### **Unidad de estudio y experimental**

La unidad de estudio en esta fase estuvo conformada por las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz. Las unidades experimentales cada una de las proporciones de las harinas procesadas en los análisis físicos, químicos y funcionales, de acuerdo a lo establecido en las normas y procedimientos indicados en la tabla 9. Cada ensayo se repitió tres (03) veces.

### **Técnica de recolección de datos e instrumentos**

La técnica de recolección de datos fue la observación y cálculo matemático.

Los instrumentos para la obtención de los datos, fueron los equipos de la unidad de laboratorio de la Universidad Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (UNELLEZ-VIPI), San Carlos-Cojedes, así como también, los del Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social, Barinas (Apéndice 1).

### **Análisis de los datos**

El análisis estadístico de los resultados se realizó aplicando estadística descriptiva, a través de medias aritméticas contempladas en el software Microsoft Excel 2013.

**3.2.2.- Fase 2.** Optimización de las proporciones de las mezclas en función de las características físicas y funcionales a partir de las harinas yuca, frijol y fécula de maíz.

La selección de los valores mínimos y máximos se fundamentó en investigaciones previas relacionadas con el presente estudio, de acuerdo a Cueto, Pérez, Borneo y Ribotta (2011), Quirós (2013), Granito, M., Torres, A., Guerra, M. (2003).

Esta fase se ejecutó en laboratorio considerando la manipulación intencional de tres (03) factores experimentales, como son: harina de yuca, fécula de maíz y harina de frijol (Tabla 10).

Tabla 10.  
Factores experimentales

<b>Factores experimentales</b>	<b>Mínimo [%]</b>	<b>Máximo [%]</b>
X <sub>1</sub> = Harina de Yuca	40	70
X <sub>2</sub> = Fécula de maíz	20	40
X <sub>3</sub> = Harina de frijol	5	10

### **Unidad de estudio y experimental**

La unidad de estudio en esta fase se refiere a las proporciones de los factores experimentales que se indica en la tabla 10. Las unidades experimentales de cada uno de los tratamientos generados en el Software estadístico-matemático-gráfico JMP 8.

### **Técnica de recolección de datos e instrumentos**

La técnica de recolección de datos se generó mediante el arreglo de tratamientos, diseño de llenado de espacio (Space Filling), tipo Hípercubo Latino.

El instrumento para la obtención de los datos, fue mediante la optimización vía simulación en el Software JMP 8 ejecutado en equipo de laboratorio.

Una vez se obtuvo las mezclas (16 mezclas), de las harinas precocidas de yuca, Frijol y fécula de maíz correspondiéndose a los 16 tratamientos, se procedió a estudiar y simular un proceso multirrespuesta establecidos por las respuestas de granulometría ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ), índice de solubilidad de agua ( $Y_4$ ), índice de absorción de agua ( $Y_5$ ). Posteriormente se procedió a elaborar los ponqués experimentales, se les midió la “Expansión”, expresada como cambio en altura entre la masa cruda y la masa cocida ( $\Delta$ Altura en mm), medida en el centro geométrico del ponqué (variable respuesta  $Y_6$ ). Basado en los resultados se modeló y optimizó, a fin de establecer formulaciones que accedieran a la mejor relación entre los factores establecidos.

### **Análisis estadístico matemático de los datos**

Una vez obtenidos los datos, se procedió al análisis estadístico matemático según la secuencia de eventos siguientes:

1. Decisión de usar modelos lineales aditivos generales de alto orden, del tipo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \epsilon_i.$$

Sin embargo, al detectar términos no significativos, se sustituyó por términos de más alto orden, por ejemplo términos cúbicos, si es necesario.

2. Modelamiento de cada variable respuesta ( $Y_i$ ), utilizando el módulo de Análisis Screening del Programa SAS JMP 8, con el procedimiento de regresión mínimos cuadrados ordinarios matriciales (M.C.O.M.), táctica de selección de variables forward y escogimiento por el valor del coeficiente de determinación ajustada ( $R^2$ ), en el proceso de seleccionar términos que expliquen suficientemente bien la respuesta modelada. Previa ortogonalización de la matriz “X” de diseño poblacional. Construyéndose así el sistema de “**Ecuaciones**” que simuló la variabilidad de la calidad del ponqué. Con el procedimiento M.C.O.M se obtuvo los coeficientes regresores

( $\beta_{ijkl}$ ) de los términos del modelo, usando la siguiente ecuación:  $\beta_{ijkl} = [X^*X]^{-1}[X^*Y_i]$ , donde “X” es la matriz de diseño del modelo poblacional.

3. Comprobación de los supuestos del análisis de regresión, supuesto de los errores o residuales de cada modelo ( $\epsilon_i$ ),  $\epsilon_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

4. Comprobación de la bondad de ajuste de cada modelo, usando el coeficiente de regresión y la gráfica de valores medidos vs valores predichos por el modelo ajustado.

5. Análisis de varianza gráfico de frente de Pareto.

6. Si los modelos para cada una de las respuestas no son suficiente buenos, es decir no poseen excelente bondad de ajuste, se procederá a ajustar modelo no lineales, con modelación de Redes Neuronales Artificiales.

7. Una vez obtenidos los modelos individuales se construyó el conjunto de ecuaciones (modelo de simulación o metamodelo).

8. Los modelos (ecuación individual) se introdujeron en la hoja de cálculo (un modelo por cada columna respuesta).

9. Se procedió a elaborar el metamodelo de simulación grafico interactivo (perfiles interactivos de Derriger y Suich) en el módulo de simulación (simulador), es decir se representó gráficamente cada modelo (perfiles de respuesta) y se le agrego los perfiles de deseabilidad de cada respuesta y los perfiles probabilísticos de Gauss de simulación de variabilidad de la calidad deseada.

10. Se procedió a establecer la deseabilidad de calidad de cada respuesta (maximizar el valor de cada respuesta). Construyéndose así el sistema de “Inecuaciones” que simula la variabilidad de la calidad del ponqué.

11. Se corrió la primera simulación y se comprobó si el sistema de inecuaciones tiene solución para las exigencias de calidad deseadas, si tiene solución.

12. Se estableció cada perfil de deseabilidad de cada respuesta en forma de Target y precisó los límites mínimo y máximo de calidad de cada

respuesta y, se ejecutó la segunda simulación; así, se obtuvo la mezcla óptima de  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  que satisfacen en forma simultánea todas las deseabilidades de las respuestas de calidad.

13. Sí, es necesario se realizará un estudio de Ingeniería Robusta, en la búsqueda de factores perturbadores del sistema, es decir factores experimentales ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) que causen ruido en el sistema.

14. Una vez optimizado el proceso de cumplir con las deseabilidades de calidad de los consumidores, se procederá a optimizar para satisfacer requerimientos técnico económicos, como es disminuir los valores de algún o algunos Factor  $X_i$ , que sea costoso, no eco amigable (muy contaminante) o un factor perturbador del sistema (factor de ruido: Noise factor), es decir reducir su contenido en la mezcla, sin que ninguna respuesta se salga fuera del rango de calidad deseado.

15. Validación de los resultados de la optimización: una vez optimizado el proceso y determinado la mezcla  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  óptima, se procedió a elaborar dicha mezcla y medirle las respuestas, para ver si hay coincidencia.

Los procedimientos estadísticos de simulación para la optimización operativa se realizaron con el módulo SIMULATOR del Programa de software SAS JMP 8.

El análisis estadístico de mínimos cuadrados ordinarios matriciales, se ejecutó con el fin de ubicar el mejor modelo que se ajustará a cada respuesta, dando como resultado la creación del metamodelo, posteriormente se efectuó la optimización operativa vía simulación.

**3.2.3.- Fase 3.** Características físicas, químicas y funcionales de la mezcla óptima.

La caracterización física, química y funcional de la mezcla óptima se generó siguiendo los métodos que indica la tabla 11.



Tabla 11.  
Metodología para caracterizar la mezcla óptima

<b>Características físicas</b>	<b>Método</b>
Granulometría	Bedolla y Rooney, 1984
<b>Composición química</b>	<b>Métodos (Normas COVENÍN)</b>
Humedad	1553 – 80
Grasa cruda	1162 – 79
Cenizas totales	1274 – 79
<b>Propiedades funcionales</b>	<b>Métodos</b>
Índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)

### **Unidad de estudio y experimental**

La unidad de estudio en esta fase se refiere a la mezcla óptima resultante del arreglo de tratamientos, diseño de llenado de espacio (Space Filling), tipo Hípercubo Latino y la unidad experimental a las proporciones de la mezcla óptima a procesar en los análisis físicos, químicos y funcionales.

### **Técnica de recolección de datos e instrumentos**

La técnica de recolección de datos a utilizar fue la observación y cálculo matemático.

Los instrumentos para la obtención de los datos, fueron los equipos de la unidad de laboratorio de la Universidad Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (UNELLEZ-VPDS).

### **Análisis de los datos**

El análisis estadístico de los resultados se realizará aplicando estadística descriptiva, a través de medias aritméticas contempladas en el software Microsoft Excel 2013.

**3.2.4.- Fase 4.** Valoración de las características físicas, químicas y sensoriales del ponqué.

Para la evaluación del efecto de las harinas de yuca, fécula de maíz y frijol sobre las características físicas, químicas y sensoriales del ponqué resultante de ejecutar la optimización del proceso con modelación de Redes Neuronales Artificiales, se procedió a elaborar el producto a partir de la mezcla óptima y medir los parámetros como son: pH, acidez, humedad, expansión, color, sabor, olor, textura, apariencia global, apariencia de la homogeneidad de la miga.

### **Procesamiento de ponqué**

Para ello, es fundamental mostrar el procedimiento de manufactura del ponqué, el cual se procesó en las instalaciones de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (VPDS), en el laboratorio de procesos de alimentos, según procedimiento establecido por Golding, García y Vergara (2004), para ponqués dirigidos a niños con intolerancia al gluten (Anexo F).

El proceso de producción se inició una vez se logró la disposición de los ingredientes que indica la formulación (Tabla 12). Se procedió a cernir las harinas, así mismo, cremar la mantequilla con el azúcar, juntar las harinas con el cremado para incorporar los demás ingredientes, se obtuvo una masa homogénea que permitió el depósito en los moldes con los capacillos. Continuando con el horneado a 120 C por 15 minutos, posteriormente se sometió a enfriamiento a 25 C por 45 minutos para proceder al empaquetado y almacenamiento. Los ponqués se fabricaron de manera uniforme con un peso de 50 gramos.

Tabla 12.  
Formulación porcentual de la mezcla del ponqué

<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad (g.)</b>	<b>%</b>
Harina compuesta	100	23,00
Margarina	75	17,43
Azúcar	100	23,00
Huevos	50	11,50
Leche líquida	100	23,00
Vainilla	5	1,15
Polvo de hornear	3	0,69
Sal	1	0,23
<b>Total</b>	<b>434</b>	<b>100</b>

Fuente: Golding *et al.*, 2004.

### **Parámetros a controlar en la elaboración del ponqué**

En el proceso de producción se considera las variables a controlar como se indica en la tabla 13.

Tabla 13.  
Parámetros a controlar en proceso de elaboración del ponqué

<b>Parámetros</b>	<b>Preparación</b>
Proporción de las mezclas (gr.)	50
Tiempo (min.) y velocidad de batido	2 a baja y 1 a media
Tiempo de horneado (min.)	15
Temperatura de cocción (C)	121
Tiempo de enfriamiento en molde (min.)	45

### **Análisis químico del ponqué**

#### **pH y la acidez titulable**

El pH y la acidez titulable se realizó según las metodologías oficiales N° 02-52 y 02-31, respectivamente de la AACCC, (2003).

## **Análisis físico del ponqué**

### **Humedad**

Esta se determinó mediante el método de estufa de acuerdo a la norma Covenín N° 1553 – 80.

### **Expansión**

En lo referente al cálculo de la expansión (altura en mm) del ponqué está directamente relacionado con la altura que alcanza durante el horneado del producto.

### **Análisis sensorial**

El análisis sensorial se realizó al ponqué, mediante una prueba afectiva de color, olor, sabor, textura, apariencia global y apariencia de la homogeneidad de la miga del ponqué mediante apreciación hedónica estructurada de categorización cualitativa de 1 a 7 puntos (Apéndice 2) en la que se expresa la reacción subjetiva ante el producto con un panel no entrenado de 50 consumidores de ambos sexos, conformado por estudiantes de la Universidad Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” en edades comprendidas entre 18 y 63 años. A cada panelista se le suministró una porción de aproximadamente 10 gramos de ponqué a temperatura ambiente. Se asignó el código 486 a la muestra, seleccionado por aleatorización.

La población elegida para la evaluación correspondió a los consumidores potenciales o habituales del producto en estudio. Estas personas no deben conocer la problemática del estudio, solamente entender el procedimiento de la prueba y responder a ella. Se recomienda un número de 8 - 35 jueces. (Espinoza, 2003).

Las ventajas consisten en que es una prueba sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento o experiencia por parte de los consumidores. Esta prueba permite detectar el nivel de agrado en una población en particular.

Las limitaciones constituyen en que se requiere un gran número de evaluaciones para considerar a los resultados como representativos de las tendencias de los gustos de una población o mercado (Espinosa, 2007).

### **Unidad de estudio y experimental**

La unidad de estudio de esta fase la conformó el ponqué procedente de la optimización del proceso. Por otro lado, la unidad experimental fue las porciones del ponqué a evaluar física, química y sensorialmente.

### **Técnica de recolección de datos e instrumentos**

La técnica de investigación para obtener la información de la evaluación sensorial es la encuesta que permitió medir las percepciones sensoriales de los consumidores, así también, los cálculos matemáticos para la determinación de los análisis físicos. Los instrumentos fueron los consumidores en el caso de la evaluación sensorial.

### **Análisis de los datos**

El análisis estadístico de los resultados físicos se realizó aplicando estadística descriptiva, a través de medias aritméticas contempladas en el software Microsoft Excel 2013.

Se procedió a realizar una exploración de los datos para determinar el tipo de prueba para una muestra con datos ordinales, en este sentido se realizó prueba estadística de normalidad, en función de la aceptación o rechazo de la hipótesis nula planteada en este caso, con la aplicación del Programa de software SSPS 23 y Prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y FUNCIONAL DE LAS HARINAS DE YUCA, FRIJOL Y FÉCULA DE MAÍZ.

Los resultados de los análisis físicos, químicos y funcionales de las harinas precocidas de yuca, frijol y fécula de maíz se muestran en las respectivas tablas de resultados para la pertinente interpretación y estudio.

##### 4.1.1.- Granulometría de las harinas.

Lo referente al análisis físico se exhibe en la tabla 14, fundamentado en el perfil granulométrico de cada una de las harinas terminadas, que conformó las mezclas experimentales.

Tabla 14  
Análisis granulométrico de las harinas compuestas.

Harinas	Malla N°40 (Y <sub>1</sub> ) [%]	Malla N°70 (Y <sub>2</sub> ) [%]	Malla fondo (Y <sub>3</sub> ) [%]
Harina de yuca (X <sub>1</sub> )	31,63	15,30	53,03
Fécula de maíz (X <sub>2</sub> )	58,50	13,17	20,77
Harina de frijol (X <sub>3</sub> )	26,67	13,07	59,77

Considerando que la harina empleada para la elaboración tradicional de ponqués es la harina de trigo suave, se toma como referencia en el presente parámetro a discutir, por lo tanto, se evidencia que la harina de yuca precocida difiere con lo exigido de acuerdo a la norma venezolana COVENIN 217:2001, la cual indica que la harina deberá pasar por un tamiz N° 70 en un porcentaje de 98. Sin embargo, el resultado obtenido de la harina de yuca precocida, demuestra un tamaño de partícula mediana. Para esta investigación se consideró la mezcla total de los diferentes tamices a efectos de evaluar el comportamiento de la misma en el diseño de las mezclas óptimas. En relación a la investigación de Alvarado (2009), el 98,1 pasó por

la malla N° 70, cumpliendo con lo establecido en las normas ecuatorianas, que exige que el 95 % de las partículas deba pasar por la malla mencionada.

La granulometría de la harina de frijol resultante, al igual que la harina precocida de yuca, difiere con lo establecido en la norma venezolana para harina de trigo. En este sentido, Hernández (2016), reporta valores inferiores (6,71 % para malla N° 40; 6,67 % malla N° 60 y malla fondo 32,89 %), en contraste con la harina de frijol de estudio presentó menor granulometría, siendo más fina, considerando las propiedades funcionales apropiados para el procesamiento de productos alimenticios, como lo indica Sangronis, Machado y Cava (2004) en leguminosas similares.

La fécula de maíz facilitada por la Industria Venezolana Maicera Proarepa, C.A, presentó una granulometría de mayor tamaño que la analizada por la Fundación CIEPE (Fundación Centro de Investigaciones del estado para la Producción Experimental Agroindustrial). Sin embargo, se tomó en cuenta para la mezcla de harinas compuesta.

#### 4.1.2.- Caracterización química y funcional de las harinas.

Los resultados que se muestra en tabla 15 expresan la media de tres determinaciones realizadas en el laboratorio de investigación de la UNELLEZ- San Carlos.

Tabla 15  
Análisis químico y funcional de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz.

Parámetros (%)	Harina de yuca (X <sub>1</sub> )	Fécula de maíz (X <sub>2</sub> )	Harina de frijol (X <sub>3</sub> )
Proteína	0,51	10,89	18,51
Grasa	0,98	2,52	2,80
Humedad	8,22	7,37	8,33
Cenizas	1,05	1,16	2,80
I.S.A.	4,64	6,45	7,85
I.A.A. (g de gel/g sólido)	5,40	3,72	4,08

Fuente: Laboratorio de Investigación de la UNELLEZ- San Carlos, 2018.

La harina de yuca generalmente se caracteriza por presentar bajos contenidos proteicos, entre 1% a 5 % (base seca). El valor obtenido en este

estudio de proteína de la harina de yuca coincide con el estudio de Bencomo *et al.*,(2002), como también, con la investigación de Aryee *et al.*,(2006) en el análisis de proteínas realizados en harinas procedentes de 31 variedades de yuca, el cual reportó valores entre 0,87 % a 4,59 %, así también, Chotineerant *et al.*,(2006), entre 0,95 % y 6,42 % en clones de distintos países, Ceballos *et al.*,(2006) logró valores entre 1,5 % a 2,5 % en clones venezolanos; Shittu *et al.*,(2007) entre 0,87% a 1,46 % para 17 variedades de yuca; Pérez *et al.*,(2007), de 3,48 % en harina de yuca cruda, Henao y Aristizábal (2009), entre 1,34 % a 2,32 % en clones de 3 variedades de yuca colombiana; Pérez y Pérez (2009) de 0,96 % en harina de yuca. Estos estudios permiten señalar que los contenidos de proteína dependen de la variedad y factores edafoclimáticos.

Aun cuando el porcentaje de proteína de este estudio resultó bajo para la harina de yuca, la misma aporta este nutriente en la mezcla de harina compuesta para la elaboración del ponqué.

Por otra parte, el porcentaje de grasa cruda de la harina de yuca analizada en este estudio, puede considerarse como bajo, haciéndola una harina poco susceptibles al deterioro oxidativo. Este resultado coincide con los valores reportados por Chotineerant *et al.*, (2006) entre 0,06 % a 0,25 % y Siso (2009) de 0,22 %. Valores relativamente más altos han sido reportados por Benítez *et al.*, (2008) de 0,61%; Rodríguez *et al.*, (2008) de 0,6 %; Pérez y Pérez (2009) de 0,64 % y Ciarfella (2009) entre 0,44 % a 0,73 %. En un estudio realizado por Henao (2004), en 2 variedades de yuca colombiana (CMC 40 de 1,26 % y MCOL 1505 de 1,31 %) encontró valores superiores a los antes referidos, coincidiendo con estudios posteriores por Henao y Aristizábal (2009), en 3 variedades de yuca reportando valores de extracto etéreo entre 1,26 % a 2,25 %.

El contenido de humedad de la harina de yuca de este estudio, puede considerarse bajo si se contrasta con el máximo valor recomendado por el



Codex alimentarius (1995) de 13 % para harina de yuca, lo que permite inferir su estabilidad en anaquel. Además estos resultados se encuentran dentro de los rangos recomendados para el almacenamiento seguro de harinas, requiriendo sólo un empaque adecuado y un ambiente fresco para su conservación.

Por otro lado, Pérez *et al.*, (2007a), reportó un valor de humedad en harina de yuca cruda de 9,11 %, del mismo modo, Benítez *et al.*, (2008) de 7,97 %, Siso (2009) de 4,61 %, Henao y Aristizábal (2009) entre 7,97 % a 10,80 %, Ciarfella (2009) obtuvo valores promedios de humedad que variaron entre 8,96 % a 9,49 % y Pérez y Pérez (2009) de 13,79 %.

El Codex Alimentarius stan 176 (1989), señala que el límite máximo de cenizas permitido para la harina de yuca es de 3 %, por lo que, la harina de yuca de este estudio se encuentran dentro de lo establecido por la norma. Otros autores han reportado un contenido de ceniza en harina de yuca de 0,27 % a 4,52 % (Vale, 1982); 5,02 % (Ezeala, 1984); 1,1 % (Numfor y Noubi, 1995); 0,91 % a 1,24% (Chotineeranat *et al.*,2006); 1,6 % y 2,2 % (Ceballos *et al.*,2007); 1,98 % (Pérez *et al.*,2007a); 3,2 % (Rodríguez *et al.*,2008); 2,58 % (Benítez *et al.*,2008); 1,90 % (Pérez y Pérez, 2009); 2,18 % (Siso, 2009); entre 1,26 % a 2,25 % (Henao y Aristizábal, 2009) y 2,16 % a 3,35 % (Ciarfella, 2009). Chotineeranat *et al.*, (2006) y Ciarfella (2009), este último investigador encontró un incremento en el contenido de cenizas a medida que el cultivo de yuca envejece.

En la muestra analizada de harina de yuca precocida se logró un índice de solubilidad de agua menor en comparación con estudios de Monserrat (1986), alcanzó un índice de solubilidad a 25 C de 9,71 % y a 30 C de 10,20 % para la harina de yuca nativa. Mientras que Henao (2004), reportó valores de ISA de 7,01 % y 7,43 %; por otro lado, Siso (2009) de 6,54 % y Henao y Aristizábal (2009), entre 7,01 % a 8,79 % para harina de yuca.

Estas discrepancias en el contenido del índice de sólidos disueltos pueden atribuirse a diferencias varietales. Además la baja presencia de grasa en el almidón de yuca favorece la formación de un complejo amilosa-lípido, el cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón necesitando de altas temperaturas (>125 C) para romper la estructura amilosa - lípido y solubilizar la fracción de amilosa (Ceballos y De la Cruz, 2002). Por lo tanto, se considera que el resultado obtenido en esta investigación es aceptable.

En cuanto al índice de absorción de agua se aprecia un valor aceptable en comparación con los valores inferiores en harina de yuca han sido reportados por Cueto, (2007) de 2,62 g gel/g y 2,87 g gel/g de muestra y Siso, (2009) de 2,24 g gel/g de muestra. Valores más altos fueron obtenidos por Henao y Aristizábal, (2009) entre 4,15 - 4,73 g gel/g de muestra en tres (3) variedades de yuca, justificando esto por el alto contenido de fibra cruda encontrada entre 2,96 % a 3,45 %.

La harina de frijol se destaca por contener un significativo valor de proteínas, lo que difiere en estudio realizado por Roldan (2011), reportando valores inferiores del análisis químico de la harina de frijol (Proteína 15,04 % grasa 0,8 %, humedad 7,20 %, cenizas 3,97 %).

En estudio efectuado por Granito, Torres y Guerra (2003), alcanzó valores superiores en la composición química de la harina de frijol (proteína 23,67 %, grasa 2,88 %, ceniza 1,88), la cual se alcanzó por procesamiento similar a este estudio. Estas diferencias se le atribuyen a las diversas variedades.

Por otro lado, Granito, Guinand, Pérez y Pérez (2009), en estudio "Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris*", logró valores de proteína entre 24,80 % y 30,93 %, grasa entre 2,22 % y 4,41 %, ceniza 2,62 %.

Es importante mencionar que en la harina de frijol el I.S.A resultó un valor más alto que la harina de yuca y fécula de maíz, siendo beneficioso en cuanto a inferir en la solubilidad de los sólidos disueltos en agua.

En referencia a la fécula de maíz analizada, presentó valores superiores en cuanto a la capacidad de absorción de agua y el índice de solubilidad en agua, en referencia a estudio efectuado por CIEPE (2017); difiriendo en la humedad, siendo menor para este estudio.

#### 4.2.- Optimización de las características físicas y funcionales de las harinas compuestas y ponqué.

Se efectuó con el diseño de llenado de espacios (Space-Filling Design), a partir de valores mínimos y máximos establecidos de las harinas consideradas, mediante el muestreo aleatorizado Hípercubo Latino, creando el arreglo de tratamientos de las mezclas experimentales que comprenden una exploración eficiente de los factores experimentales en la región operativa, (Tabla 16).

Tabla 16.  
Arreglo de tratamientos, diseño Space Filling, tipo Hípercubo Latino. Semilla de aleatorización: 591212881

Tratamiento	Factores experimentales			Respuestas			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y1	Y2	...	Yn
1	48	25,33	5,00				
2	40	22,67	7,00				
3	52	40,00	7,33				
4	46	38,67	9,67				
5	64	37,33	6,00				
6	70	33,33	9,33				
7	66	29,33	7,67				
8	42	32,00	8,00				
9	62	21,33	9,00				
10	44	36,00	5,67				
11	58	34,67	8,67				
12	56	28,00	10,00				
13	68	26,67	5,33				
14	50	24,00	8,33				
15	54	30,67	6,67				
16	60	20,00	6,33				

Fuente: Software JMP 8, 2018.

Una vez definido el arreglo de tratamientos con las muestras, que conforman diez y seis (16) tratamientos con diez y seis (16) niveles, los cuales provienen de un algoritmo probabilístico, basados en el azar, con el fin de continuar ésta investigación. Seguido se procedió a obtener las respuestas de las variables establecidas para las mezclas de harinas y el ponqué (Tabla 17), para estudiar el efecto de las formulaciones en las variables respuestas y modelar las mismas.

La matriz de arreglos experimentales y respuestas de las harinas y del ponqué, muestra las posibles combinaciones de los niveles de los factores, generando el insumo para la determinación de la mezcla óptima.

Tabla 17.  
Matriz de arreglos experimentales y respuestas de la harina compuesta y de los ponqués.

	Yuca	Fécula de Maíz	Frijol	Variables Respuestas de las harinas					Variables respuestas del ponqué (Modelo Lineal)	
				Malla N°40 (Y <sub>1</sub> ) [%]	Malla N°70 (Y <sub>2</sub> ) [%]	Malla fondo (Y <sub>3</sub> ) [%]	ISA (Y <sub>4</sub> ) [%]	IAA (Y <sub>5</sub> ) [g.gel/g muestra]	Expansión "ΔAltura" Y <sub>6</sub> [mm]	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>							
1	48	25,33	5,00	31,04	27,98	40,61	11,93	3,34	10,38	
2	40	22,67	7,00	34,80	32,52	33,54	3,74	3,33	10,25	
3	52	40,00	7,33	60,92	22,06	16,07	3,80	3,39	9,90	
4	46	38,67	9,67	61,58	21,91	16,44	4,80	3,58	10,89	
5	64	37,33	6,00	47,87	29,49	20,37	3,89	3,48	9,80	
6	70	33,33	9,33	41,05	37,29	20,25	7,77	2,98	10,59	
7	66	29,33	7,67	44,44	32,08	21,29	4,10	3,50	10,06	
8	42	32,00	8,00	58,51	27,80	13,96	3,24	3,04	10,61	
9	62	21,33	9,00	35,83	49,06	15,41	4,67	2,03	9,87	
10	44	36,00	5,67	50,13	40,12	10,37	4,60	1,80	10,69	
11	58	34,67	8,67	49,28	40,77	10,84	11,61	1,39	9,98	
12	56	28,00	10,0	40,53	43,79	15,91	3,79	2,44	10,04	
13	68	26,67	5,33	32,54	54,41	12,71	6,80	1,16	10,15	
14	50	24,00	8,33	38,68	49,61	12,71	3,62	1,81	10,53	
15	54	30,67	6,67	42,80	42,37	14,21	5,01	2,07	9,93	
16	60	20,00	6,33	21,24	57,51	20,83	4,63	1,62	10,13	

Se estipuló pertinente el estudio de los posibles efectos de los factores experimentales (harina de yuca, fécula de maíz y harina de frijol),

sobre las variables respuestas (granulometría, I.S.A, I.A.A y expansión) de las harinas y el ponqué, mediante un análisis factorial (ANOVA) para tres factores (Apéndice 3 y 4). En la tabla 19 se muestra un resumen de la probabilidad de las intercepciones.

Tabla 18. Probabilidad de las intercepciones

Intercepciones	Prob.> (t)					
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X2*X1	0,4380	0,6629	0,2261	0,8428	0,1357	0,6701
X2*X2	0,7670	0,5016	0,4927	0,3786	0,4499	0,8218
X2*X3	0,1324	0,2641	0,0405	0,0897	0,6593	0,2222
X1*X3	0,4033	0,3376	0,1318	0,2508	0,5520	0,5842
X1*X2*X3	0,4100	0,0500	0,0591	0,7381	0,0804	0,5035

Considerando como premisa que la probabilidad de las intercepciones se encontró por encima de 0,05, se infiere que los efectos medios de las interacciones simultáneas de los tres (03) factores son iguales para los diez y seis (16) tratamientos y efectivamente en este caso estudiado se concluye que no hay efecto significativo de las interacciones y de los factores experimentales a un nivel de significancia del 5%, de tal manera que los valores arrojados por los parámetros de estimación son suficientes y contundentes para afirmar que la harina compuesta de yuca, frijol y fécula de maíz, en los rangos estudiados no tienen efecto en las respuestas experimentadas.

De lo antes expuesto, se deriva, que el tamaño de los gránulos de la harina compuesta en el proceso de tamizado en los diez y seis (16) tratamientos adquirió una estructura similar en las mallas implementadas, por lo que, la retención de las harinas en cada malla, no generó efecto significativo en cada tratamiento. Así como el índice de solubilidad y absorción de agua, y la expansión del ponqué, es decir, que la capacidad de

hinchamiento del almidón, como consecuencia de la modificación de los almidones durante el proceso de obtención de las harinas, no efecto los diferentes tratamientos generados en el arreglo de tratamientos.

Cabe destacar, que la absorción de agua, la solubilidad en agua y el poder de hinchamiento de las harinas que repercute en la expansión de los ponqués, es consecuencia del aumento gradual en dichas propiedades, debido a la relajación progresiva de las fuerzas de enlaces intragranulares, lo que admite el ingreso de las moléculas de agua al interior de los gránulos de almidón contenidos en las harinas, provocando un aumento de tamaño que se traduce en un mayor poder de hinchamiento, este comportamiento fue similar o igual en cada uno de los diez y seis (16) tratamientos, caso contrario sucedió en estudio realizado por Techeira *et al.*,(2014) en el que los tratamientos estudiados presentaron diferencias significativas en las variables antes mencionadas.

La harina compuesta utilizada se procesó bajo condiciones hidrotérmicas, lo cual modificó el contenido de almidones, lo que permitiría facilidad de hidratación y solubilización en los gránulos de almidón, sin embargo, el comportamiento similar en los tratamientos, podría estar influenciado por la interacción de las moléculas de amilosa a formar otra estructura que limita estas propiedades.

#### **4.3.- Modelación de la variabilidad de las respuestas y creación del metamodelo de simulación.**

Se decide el uso de modelos lineales aditivos generales de alto orden, generando términos no significativos en este modelo, se procedió a sustituir por términos de más alto orden. Los modelos lineales aditivos de alto orden para cada una de las respuestas no constituyeron excelente bondad de ajuste, caso similar presentó el estudio de Modelamiento de respuestas farinográficas de masas de harinas compuestas yuca-trigo adicionadas del

hidrocoloide xantan de los investigadores Peña y Quintero (2019), emplearon el modelo lineal aditivos de alto orden para cada una de las respuestas no generando excelente bondad de ajuste, por lo que impulsó a usar otro tipo de modelaje que explicará mejor las respuestas. En función de lo antes expuesto, se procedió a la exploración de un modelo no lineal, con modelación de Redes Neuronales Artificiales (RNA).

En la figura 1, se muestra la red neuronal generada en la simulación del Software estadístico-matemático-gráfico JMP 8, se empleó los parámetros de entrada a las proporciones de la harina de yuca, fécula de maíz y harina de frijol, y como parámetros de salida: la granulometría generadas en las mallas número 40, malla 70 y malla fondo, así también, el índice de solubilidad en agua, índice absorción de agua y expansión del ponqué.

De ésta forma la red se conforma por seis nodos, donde los nodos de la capa de entrada están totalmente conectados a la capa oculta y ésta a su vez está conectada a cada nodo de la capa de salida, confirmando doble validación cruzada del modelo RNA.

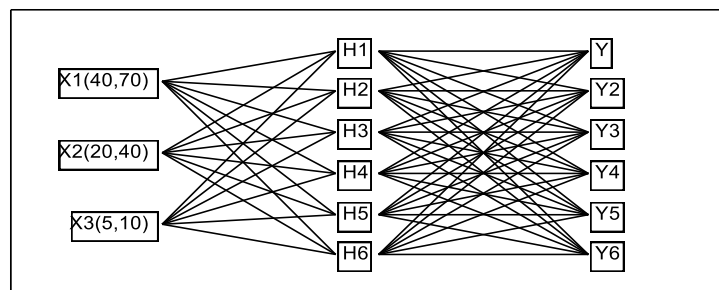


Figura 1.- Red Neuronal Artificial.

Las estructuras encontradas de redes neuronales mostraron un buen comportamiento dentro y fuera de la muestra. Un número de neuronas en la capa oculta, ocasiona una disminución de los indicadores de error.

La tabla 19 exhibe, los nodos ocultos, número máximo de interacciones, criterio de convergencia, estas condiciones indicaron la mejor bondad de ajuste mediante la simulación del modelo no lineal (RNA), lo que valida la eficiencia del modelo.

Se consideró el error entre el valor de salida de la red y el proporcionado a ella sea mínimo, consiguiendo de esta forma mejores predicciones. Las estructuras encontradas de redes neuronales revelaron un buen comportamiento dentro y fuera de la muestra. Un número de neuronas en la capa oculta, ocasiona una disminución de los indicadores de error.

Tabla 19. Panel de control Red Neuronal

<b>Neural Net Control Panel</b>	<b>Specify</b>
Hidden Nodes	6
Overfit penalty	0,01
Number of Tours	16
Max Iterations	75
Converge Criterion	0,00001

En el historial de ajuste (Tabla 20), se observa que el porcentaje de variación de las variables de entrada que explica su relación con las variables de salida, proyectó una buena bondad de ajuste, es decir, determinó la calidad del modelo para replicar los resultados.

Tabla 20. Historial de ajuste

<b>Nodes</b>	<b>Penalty</b>	<b>RSquare</b>	<b>CV RSquare</b>
6	0,01	0,94623	-0,3435

En las gráficas real por predicción para cada variable respuesta (Apéndice 5 y 6) exhibieron como los valores calculados y los valores de predicción se ajustan a la línea de regresión, generando una bondad de ajuste promedio de 0,95%, las diferencias son mínimas y no presentan



sesgo, de esta manera validando el modelo empleado. En tabla 22, se presenta la bondad de ajuste de las gráficas real por predicción.

Tabla 21. Bondad de ajuste valores medidos vs valores predichos

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
<b>Rquare</b>	0,97	0,98	0,88	0,96	0,94	0,96

Una vez se comprobó la bondad de ajuste de cada modelo para cada variable respuesta, usando el coeficiente de regresión y la gráfica de valores medidos vs valores predichos por el modelo ajustado, se construyó el conjunto de ecuaciones (Apéndice 7), seguido se introdujeron en la hoja de cálculo para elaborar el metamodelo de simulación gráfico interactivo en el módulo de simulación, es decir, se representó gráficamente cada modelo (perfiles de respuesta) y se le agrego los perfiles de deseabilidad de cada respuesta y los perfiles probabilísticos de Gauss de simulación de variabilidad de la calidad deseada.

De lo anterior, se obtuvo el perfil no optimizado de respuestas y deseabilidad en la verificación de la convergencia del sistema (Figura 2).

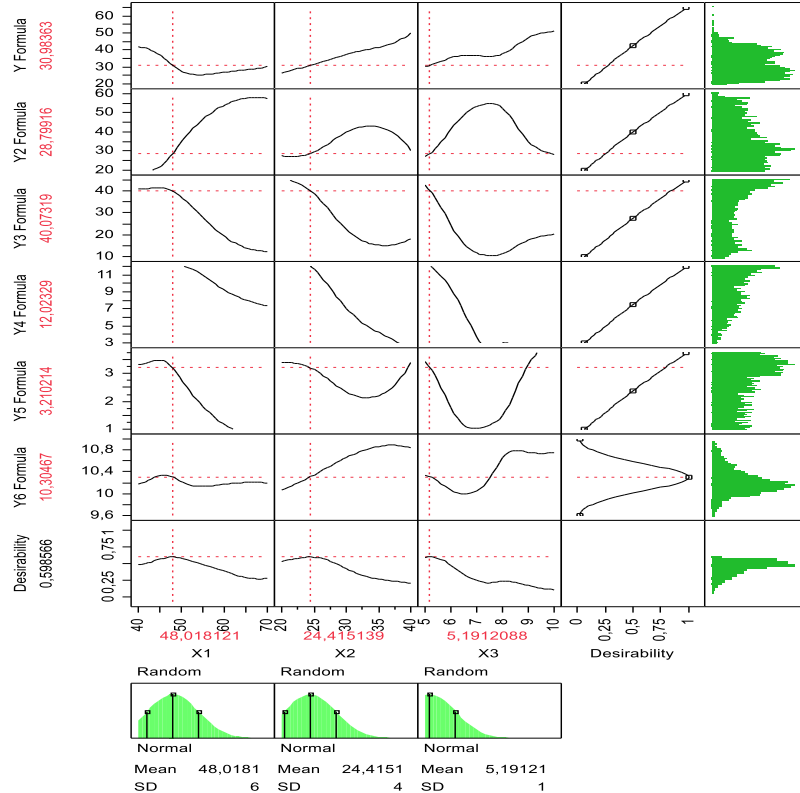


Figura 2. Deseabilidad global no optimizada.

Del resultado de éste perfil no optimizado se deriva el rango de valores objetivos que se utilizó en la segunda simulación (Tabla 22)

Tabla 22. Rango de valores objetivos

<b>Variables respuestas</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Y <sub>1</sub> : Malla 40	65	46,54	20
Y <sub>2</sub> : Malla 70	60	33,33	20
Y <sub>3</sub> : Malla fondo	45	18,53	15
Y <sub>4</sub> : I:S:A	11,83	11,308	3,923
Y <sub>5</sub> : I.A.A	3,75	2,692	0,0183
Y <sub>6</sub> : Expansión	10,928	10,605	9,869

Se estableció cada perfil de deseabilidad de cada respuesta en forma de Target y precisó los valores objetivos de calidad de cada respuesta y, se ejecutó la segunda simulación; así, se obtuvo la mezcla óptima de X1, X2 y

X3 que satisfacen en forma simultanea todas las deseabilidades de las respuestas de calidad, por lo que, X1, X2 y X3 alcanzaron los valores 68,12 %, 39,85 % y 8,75%, respectivamente (Figura 3).

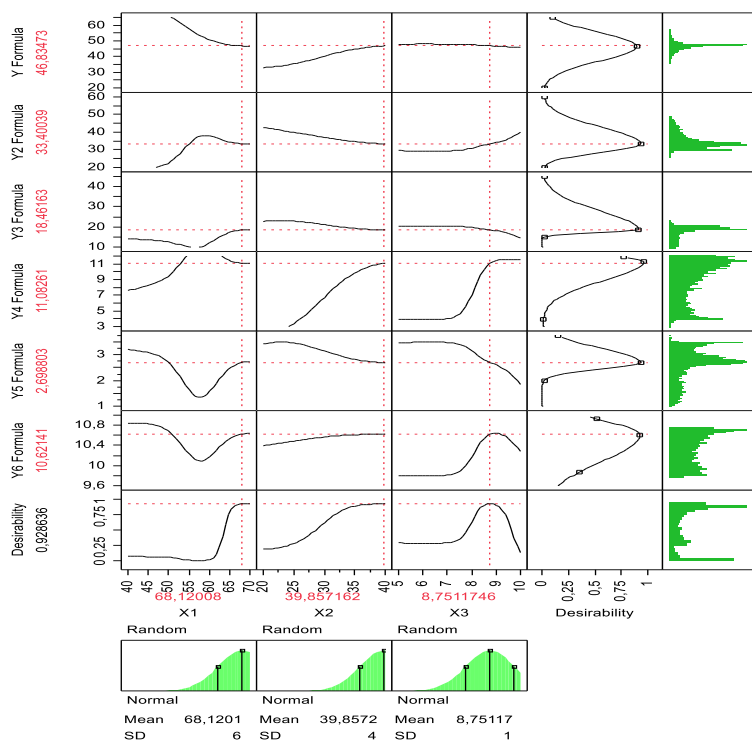


Figura 3. Deseabilidad global optimizada

#### 4.4 Características físicas, químicas y funcionales de la mezcla óptima.

En términos de describir las características y propiedades de la mezcla óptima, se procedió a efectuar los análisis físicos, químicos y funcionales (Tabla 23).

Tabla 23  
Granulometría de la mezcla óptima

Mezcla	Malla N°40 (Y <sub>1</sub> ) [%]	Malla N°70 (Y <sub>2</sub> ) [%]	Malla fondo (Y <sub>3</sub> ) [%]
Mezcla óptima	26,0	56,60	15,46

El resultado del análisis granulométrico de la mezcla óptima, no cumple con lo contemplado en la norma venezolana COVENIN 217:2001, infiriendo

un tamaño de grano de la mezcla de harina en términos medios, permitiendo apuntar hacia una capacidad de absorción de agua no óptima.

La siguiente tabla muestra las propiedades químicas y funcionales de la mezcla óptima.

Tabla 24  
Análisis químico y funcional de la mezcla óptima

<b>Parámetros (%)</b>	<b>Mezcla óptima</b>
Proteínas	5,24
Grasa	1,61
Humedad	8,30
Cenizas	1,22
I.S.A.	3,43
I.A.A. (g de gel/g sólido)	4,66

Los contenidos de grasa y humedad se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura; estos valores permiten presumir su estabilidad en anaquel. Cabe destacar que los valores obtenidos para la humedad fueron menores a los límites establecidos por las Normas COVENIN N° 2135 (1996) para harina de maíz y la N° 217 (2001) para harina de trigo, que señalan que el porcentaje de humedad máximo no debe ser superior a 13,5 y 15%, respectivamente.

Se consideró el parámetro de proteínas aceptable para una mezcla de ponqué, siendo la harina de frijol el factor que aporta mayor cantidad de proteína, resultado mayor al logrado en investigación por Montero, 2015. Asimismo, en cuanto al contenido de ceniza muestra nivel bajo.

En relación al índice de solubilidad de agua para la mezcla óptima, resultó un valor menor al reportado por Moreno (2017), lo que infiere en la rehidratación de la mezcla óptima, esto como consecuencia de las condiciones de modificación de los gránulos de almidón.

En cuanto al índice de absorción de agua en la mezcla en estudio, arrojó un parámetro por debajo al logrado por Moreno (2017), lo que permite deducir que el tamaño de la partícula debe ser más homogénea y menor

tamaño de gránulo para mejorar la absorción de agua, además indica la condición del grado de gelatinización de la mezclas de harinas.

El resultado del I.S.A e I.A.A, muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón, afectadas por la relación amilosa/amilopectina y por las características de la amilosa y la amilopectina, en términos del peso/distribución, grado y longitud de ramificación y conformación (Hoover, 2001).

El procesamiento y la composición de la mezcla de harinas afectan sus propiedades funcionales, por consiguiente, aunque el nivel de grasa es bajo, afectan el poder de hinchamiento y la absorción de agua de almidón de las harinas (Singh *et al.* 2003).

#### **4.5.-Valoración de las características físicas, químicas y sensoriales del ponqué como alimento funcional.**

La siguiente tabla presenta las características físicas y químicas del ponqué elaborado de harinas compuestas, a partir de la mezcla óptima.

Tabla 25.  
Características físicas y químicas del ponqué

<b>Variables</b>	<b>muestra 486</b>
pH	7,65
Acidez (%)	0,60
Humedad (%)	17,00
Expansión (mm)	10,30

Las características físicas y químicas evaluadas permitieron visualizar el grado de calidad del ponqué logrado en este estudio, en función de las variables establecidas para dicha valoración; siendo la humedad obtenida un rango menor al alcanzado por Granito *et al.*, (2010), el cual estuvo entre 19 y 28 %, así también, la Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (2010), establece una humedad de 40 % y una acidez de 0,70 % para bizcochos.

Estos resultados infieren que los ponqués tendrán una estabilidad en anaquel de mayor tiempo, sin embargo, se induce que el nivel de humedad es afectado por el tamaño de los gránulos de almidón, como también, a la modificación de los mismos en el proceso hidrotérmico de las harinas.

Por otro lado, Choque (2019), consiguió en su estudio de ponqués con harina de tarwi, un pH de  $4.53 \pm 0.06$ , siendo menor al logrado en ésta investigación, la diferencia se presume en función de las características de las harinas involucradas en la elaboración del ponqué, el pH resultante de este estudio fue de 7,65; concordando con la acidez para estas mezclas de harinas de 0,6 %, por lo cual, condiciona al producto final en la conservación del mismo.

Por otra parte, la expansión de los ponqués de este estudio fue menor con respecto a la investigación de Choque (2019), siendo de 36.78 - 46.73 mm, la diferencia muestra la influencia del contenido de almidón y proteína en la mezcla de harinas, como los parámetros, horneado, cantidad de leudante y albumina agregada, estos últimos no se consideraron como variables para este estudio.

Es importante resaltar, que el tamaño de los gránulos de almidón de las harinas de yuca, frijol y fécula de maíz afectó la capacidad de absorción y la solubilidad de agua, así también se infiere que la modificación de los almidones repercutió en la expansión del ponqué, no alcanzando las características físicas en comparación con productos similares a partir de harinas compuestas.

#### **4.5.1.- Pruebas de “degustación” o cata del ponqué.**

Dando continuidad a la investigación, se procedió a someter el ponqué a una evaluación sensorial aplicada a cincuenta (50) consumidores.

Los datos ordinales obtenidos de la prueba sensorial de aceptación estructurada, aplicada sobre la muestra de ponqué optimizado, se encuentran en el apéndice 8.

Se determinó para cada uno de los grupos de datos de los atributos si seguía una distribución normal, a los efectos de aplicar la prueba estadística correspondiente.

Prueba de hipótesis:

$H_0$ = Los datos siguen una distribución normal

$H_1$ = Los datos no presentan distribución normal

Nivel De significación 5% = 0,05

En la tabla 26, se presentan los resultados que permiten verificar ese supuesto. En este caso sólo aplica la prueba de Kolmogorov-Smirnov, por cuanto el tamaño de la muestra es de 50.

Tabla 26. Prueba de Kolmogorov-Smirnov por grupos

Atributos	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Aceptación del color	,152	50	,006
Aceptación del olor	,193	50	,000
Aceptación del sabor	,215	50	,000
Aceptación de la miga	,242	50	,000
Aceptación de la apariencia	,154	50	,005
Aceptación de la textura	,212	50	,000

Fuente: Datos del ejercicio y salida del SPSS V.23

Por cuanto el valor sig o p-valor para cada uno de los atributos es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula, lo que permitió establecer que ninguno de los datos estudiados sigue una distribución normal, por lo tanto la prueba estadística que aplica en este caso para una sola muestra, con

datos ordinales, para conocer el grado de aceptación es la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

La tabla contigua muestra los resultados de los estadísticos descriptivos, información que destaca el valor de la mediana para cada uno de los atributos y de la varianza de los datos.

Tabla 27. Estadísticos descriptivos

	Aceptación del color	Aceptación del olor	Aceptación de la textura	Aceptación del sabor	Aceptación de la apariencia	Aceptación de la miga
N Válido	50	50	50	50	50	50
Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media	5,20	5,52	5,34	5,62	5,34	5,50
Mediana	5,00	6,00	6,00	6,00	5,00	6,00
Moda	4	7	6	7	7	6
Desviación estándar	1,457	1,669	1,319	1,537	1,465	1,374
Varianza	2,122	2,785	1,739	2,363	2,147	1,888
Mínimo	1	1	1	1	1	1
Máximo	7	7	7	7	7	7

Fuente: Datos del ejercicio y salida del SPSS V.23

Para realizar la toma de decisión en el análisis estadístico, mediante la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra se plantea la siguiente hipótesis:

Hipótesis:

$H_0$ = La mediana de aceptación de cada atributo es igual al valor de aceptación hipotético

$H_1$ = La mediana de aceptación de cada atributo es diferente al valor de aceptación hipotético

Nivel De significación 5%= 0,05



Tabla 28. Resultados de la prueba estadística de Wilcoxon

	Hipótesis nula	Sig o p-valor	Valor de aceptación
1	La mediana de aceptación del color es igual a cinco (5)	0,159	5
2	La mediana de aceptación del olor es igual a seis (6)	0,078	6
3	La mediana de aceptación de la textura es igual a cinco (5)	0,089	5
4	La mediana de aceptación del sabor es igual a seis (6)	0,166	6
5	La mediana de aceptación de la apariencia global es igual a cinco (5)	0,06	5
6	La mediana de aceptación de la miga homogénea es igual a cinco (5)	0,466	5

Fuente: Datos del ejercicio y salida del SPSS V.23

En función a la prueba de rangos con signos en pares ajustados con Wilcoxon, se puede señalar que la mediana de aceptación de cada atributo es mayor a su estadístico de prueba, por tanto, no existen evidencias estadísticas para rechazar la hipótesis nula. En suma, la mediana de aceptación de cada atributo es igual al valor de aceptación hipotético.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES**

Los resultados físicos de las harinas estudiadas, difieren con lo exigido de acuerdo a la norma venezolana COVENIN y de investigaciones relevantes para este estudio. Por otra parte, los parámetros químicos y funcionales mostraron valores menores a los reportados en investigaciones que se relacionan con este estudio. Sin embargo, los resultados obtenidos permiten sugerir a la harina compuesta de yuca, frijol y fécula de maíz, como potenciales para la elaboración de ponqués con características propias de un producto alimenticio funcional.

La optimización vía simulación permite establecer los valores de la mezcla óptima combinada por harina de yuca ( $X_1$ ), fécula de maíz ( $X_2$ ) y harina de frijol ( $X_3$ ) que satisfacen en forma simultánea todas las deseabilidades de las variables respuestas, con el fin de elaborar el ponqué.

Los parámetros físicos, químicos y funcionales de la mezcla óptima presentó valores similares, a los establecidos en estudios afines a la presente investigación, por cuanto se asemeja a los parámetros que deben contener las mezclas para la fabricación de ponqués, lo que representa una alternativa en la sustitución total de harina de trigo por harina compuesta.

Los resultados físicos y químicos del ponqué procesado a partir de la mezcla óptima, presentó valores de acidez, pH y humedad menores a los exhibidos en investigaciones inherentes a éste estudio, parámetros aceptables en productos alimenticios.

El resultado de la valoración sensorial permite afirmar que el ponqué elaborado de la harina compuesta conformada por yuca, frijol y fécula de maíz fue aceptado por parte de los panelistas, lo que infiere a señalar la factibilidad de utilizar estas harinas en el procesamiento de productos de panadería.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda para posteriores investigaciones indagar en los siguientes aspectos:

1. Verificar la morfología de los gránulos de almidón de las harinas involucradas en este estudio.
2. Realizar a los ponqués un perfil de textura mediante métodos instrumentales.
3. Valorar el perfil nutricional del ponqué funcional.
4. Evaluar la tolerancia del producto con un grupo de personas con sensibilidad al gluten.

## REFERENCIAS

- AACC. 2003. American Association of Cereal Chemist. **Cereal Laboratory Approved Methods**. Edition 10 Th. St. Paul, Mn. USA.
- Anderson, R. 1996. **Water absorption and solubility and amylographic characteristic of roll cooked small grain product**. Cereal Chemistry, 59 (4):265-269.
- Alimentos y sus propiedades. S/F. Recuperado de: <https://alimentos.org.es/>
- ALNICOLSA del Perú S.A.C. 2018. **Todo sobre la yuca**. Recuperado de: <http://taninos.tripod.com/yuca.htm>
- Álvarez, M., Ochoa, O., Hernández, G., Núñez, M., Rosas, B., y Gutiérrez., E. 2016. **Empleo de harina de frijol blanco en panificación**. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. La Habana, Cuba. Recuperado: [https://www.researchgate.net/publication/305221634\\_empleo\\_de\\_harina\\_de\\_frijol\\_blanco\\_en\\_panificación](https://www.researchgate.net/publication/305221634_empleo_de_harina_de_frijol_blanco_en_panificación)
- Apro, N.J., Rodríguez J., Orbea M., Puntieri, M. (2004). **Desarrollo de harinas compuestas precocidas por extrusión y su aplicación en planes alimentarios**. INTI-Cereales y Oleaginosas – Sede 9 de Julio. 5° Jornadas de Desarrollo e Innovación.
- Araujo, C., Rincón, A. Padilla, F. (2004). **Caracterización del almidón nativo de Dioscorea bulbifera L.** Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54 (2): 241-245. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S000406222004000200016&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S000406222004000200016&script=sci_arttext)
- Arendt, E., O'Brien, C., Gormley, T., Gallagher E. 2002. **Development of Gluten-Free Cereal Products**. Research Repositoy UCD. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/284397670\\_Development\\_of\\_gluten-free\\_cereal\\_products](https://www.researchgate.net/publication/284397670_Development_of_gluten-free_cereal_products)
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. 2007. **Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca**. Boletín de servicios agrícolas de la FAO nº 163. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación, Roma.
- Aryee, F., Oduro, I., Ellis, W., Afuakwa, J. 2006. **The physicochemical properties of samples from the roots of 31 varieties of cassava**. Food Control, 17 (11):916-922.
- Associaton of Official Analitical Chemists. (AOAC). **Official Methods**. Washington: AOAC, 1997
- Badui Dergal, Salvador. 2006. **Química de los Alimentos**. Cuarta edición. Recuperado de: <https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/quimicade-los-alimentos1.pdf>
- Beesley, M. 1995. **Sugar functionality review**. Food Technology International Europa, 1: 87-89.

- Bernal, L., Martínez, E. 2006. **Una nueva visión de la degradación del almidón**. Revista del Centro de Investigación, vol. 7, núm. 25, pp. 77. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/342/34202506.pdf>
- Bencomo, E., Domínguez, M., González, J., Tarrau, A. 2002. **Tecnología para producir yuca rellena coextruida**. *Alimentaria*, 329:103-107.
- Benítez, B., Archile, A., Rangel, L., Ferrer, K., Barboza Y., y Márquez, E. 2008. **Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino**. *Interciencia*, 33 (1):61-65.
- Borda, G., Martín, A., Kriebaum, G., Sánchez, A., y Nicoletti, C. 2006. **Enfermedad celíaca aun subestimada y subdiagnosticada**. Revista de Posgrado de la VI Cátedra de Medicina, 159:26-30.
- Cartay, R. (2004). **Difusión y comercio de la yuca (Manihot Esculenta) en Venezuela y en el mundo**. *Agroalimentaria*, 9(18), 13-22. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S13160354200400100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S13160354200400100001&lng=es&tlng=es).
- Ceballos, H., Sánchez, T., Denyer, K., Tofiño, AP., Rosero, EA., Dufour, D., Smith, AM., Morante, N., Pérez, JC., Fahy, B. 2006. **Induction and identification of a small-granule, high-amilose mutant in cassava (Manihot esculenta Crantz)**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (16):7215-7222.
- Çelik, I., Yılmaz, Y., Işık, F., Üstün, Ö. 2007. **Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters**. *Food Chemistry*, 101 (3):907-911.
- CIAT. 2001. **Informe del laboratorio de servicios analíticos**. Centro de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 5p.
- CODEX STAN 118 – 1979. **Normas internacionales de los alimentos**. Norma relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten. Adoptado en 1979. Enmiendas: 1983 y 2015. Revisión: 2008.
- CODEX STANDARD 176-1989 Adoptado 1989. Revisión 1995. Enmienda 2013. **NORMA DEL CODEX PARA LA HARINA DE YUCA COMESTIBLE**. Recuperado de: [file:///C:/Users/WinCasa.AcerWin/Downloads/CXS\\_176s.pdf](file:///C:/Users/WinCasa.AcerWin/Downloads/CXS_176s.pdf)
- CODEX. 2008. **Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias**. Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. Documento de debate sobre los glucósidos cianogénicos. CX/CF 09/3/11. Recuperado de: <file:///C:/Users/WinCasa.AcerWin/Desktop/Codex%20alimentarius.pdf>
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 1553-80. Productos de Cereales y Leguminosas. **Determinación de humedad**. Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 1195-80. **Determinación de nitrógeno**. Método Kjeldahl. Caracas, Venezuela. FONDONORMA.

- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 1172-79. **Determinación de grasa cruda.** Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 1155-79. **Determinación de cenizas.** Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 1194-79. **Determinación de fibra cruda.** Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 2135:96. **Harina de maíz precocida.** (3ra Revisión). Caracas, Venezuela. FONDONORMA
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 217:01. **Harina de trigo.** (4<sup>ta</sup> Revisión). Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN 2952:2001 (1<sup>ra</sup> Revisión). **Norma general para el rotulado de Alimentos Envasados.** Caracas, Venezuela. FONDONORMA. Recuperado de: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2952-01.pdf>
- Colina, R. 2017. **Evaluación de galletas dulces preparadas con harina de yuca (Manihot esculenta Crantz) deshidratada al sol como sustituto del trigo.** *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 33(3), 358-374. Recuperado de: <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27202>
- Colonna, P., Doublier, J., Melcion, F., Mercier, C. 1984. **Extraction cooking and drum drying of wheat starch. I physical and macromolecular modifications.** *Cereal Chemistry*, 61 (6):438-443.
- Cueto, D. and Pérez, E. 2010. **Proximate composition and rheological properties of a cake mix elaborated using composite flour wheat: cassava.** *International Journal of Food Engineering*, 6(3):1-9.
- Cueto, D., Pérez, E., Borneo, R., Ribotta, P. 2011. **Efecto de la adición de harina de yuca (manihot esculenta crantz) sobre las características sensoriales, reológicas y físicas de tortas y panquecas.** *Revista de la Facultad de Agronomía, UCV, Volumen 37, N° 2.* Recuperado de: [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_agro/article/view/4363](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/4363)
- Cueto, D. 2011. **Desarrollo de formulaciones para regímenes de alimentación especial dirigidos principalmente a fenilcetonúricos y celíacos elaboradas a partir de un rubro tropical como la harina de yuca y un subproducto de la industria láctea como el suero de leche** (Tesis inédita de doctorado). Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas-Venezuela.
- Cueto, D., Pérez, E., Sira, Dufour, D. 2011. **Formulación de mezclas para tortas y panquecas a base de harina de yuca para dietas con regímenes especiales.** Recuperado de: [http://190.169.28.21/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8391&query\\_desc=su%3A%22YUCA%22](http://190.169.28.21/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8391&query_desc=su%3A%22YUCA%22)
- Charley, H. 2005. **Tecnología de alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación de Alimentos.** Editorial Limusa, S. A. de C.V. México. 767p.

- Champ M. 2001. **Potential of grain legumes in food and feed**. 4th Eur. Conf. Grain Legumes, Cracovia, Polonia. p. 5.
- Chan, W. y Toledo, R. 1976. **Dynamics of freezing and their effects on the waterholding capacity of gelatinized starch gel**. *Journal of Food*.
- Charley, H. 2005. **Tecnología de alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación de Alimentos**. Editorial Limusa, S. A. de C.V. México. 767p.
- Cheftel, J., Cuq, J., Lorient, D. 1989. **Proteínas alimentarias**. Bioquímica. Propiedades funcionales, valor nutritivo. Modificaciones químicas. Editorial Acibia, S. A. Zaragoza, España. 346 p.
- Ciarfella, A. 2009. **Evaluación de las raíces comestibles de cuatro variedades promisorias de yuca, caracterización del almidón y elaboración de casabe fortificado**. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.
- Choqqe, H. 2019. **Evaluación de propiedades físicas, ópticas y aceptabilidad de cupcakes de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet)**. Facultad de ingeniería y arquitectura. Perú.
- Chotineeranat, S., Suwansichon, T., Chompreeda, P., Piyachomkwan, K., Vichukit, V., Sriroth, K. and Haruthaithanasan, V. 2006. **Effect of root ages on the quality of low cyanide cassava flour from Kasetart 50**. *Kasetart Journal (Nat. Sci.)*, 40 (3):694-701.
- Da Silva-Kotze, L. 2006. **Doença celíaca**. *Jornal Brasileiro de Gastroenterologia*, Rio de Janeiro, 6 (1):23-34.
- Davidson, A. 1999. **Oxford Companion to Food**. Oxford University Press: Oxford, 2nd ed. por Tom Jaine, 2006. p. 46-47.
- Diplock, A. 1999. **British Journal of Nutrition. Scientific Concepts of Functional Foods in Europe – Consensus Document**. <http://ilsa.org/publication/scientific-concepts-of-functional-foods-ineurope-consensus-document/>
- Esteller, M., Amaral, R., Lannes, S. 2004. **Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods**. *Journal of Texture Studies*, 35 (4):383-393.
- El Interés. 2017. **Se agrava la falta de maíz, trigo y arroz en Venezuela**. Recuperado de: <https://elestimulo.com/elinteres/cae-con-fuerza-importacion-produccion-y-consumo-de-cereales-en-venezuela/>
- Elías, L.1996. **Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas. Noticias técnicas**. Recuperado de: <http://bvssan.incap.int/local/file/PPNT006.pdf>
- Espinosa, J. 2007. **Evaluación sensorial de los alimentos**. Ministerio de Educación Superior. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-0539-9. Recuperado de:

<file:///C:/Users/WinCasa.AcerWin/Downloads/LIBRO%20ANALISIS%20SENSORIAL-1%20MANFUGAS.pdf>

- Espinoza, L. 2016. **Desarrollo de una tecnología del procesamiento de frijol en polvo deshidratado**, pp. 23-34. Recuperado de: <http://repositorio.unan.edu.ni/6468/1/238-885-1-PB.pdf>
- Espinoza, E. 2003. **Evaluación Sensorial de los Alimentos**. 1<sup>ra</sup> edición Tacna-Perú.
- Ezeala, D. 1984. **Changes in the nutritional quality of fermented cassava tuber meal**. Journal Agriculture food chemistry, 32: 467-469.
- FAO: **Aumentar la inversión en alimentos para reducir las importaciones en el Caribe**. 2016. Marco Trade News. Recuperado de: <http://www.marcotradenews.com/noticias/fao-aumentar-la-inversion-en-alimentos-para-reducir-las-importaciones-en-el-caribe-51099>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). **Food aid and food security**. Recuperado de <http://www.fao.org/3/aa0800e.pdf>
- Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela. 1999. **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**. Recuperado de: [http://www.asambleanacional.gob.ve/documentos\\_archivos/constitucion\\_nacional-7.pdf](http://www.asambleanacional.gob.ve/documentos_archivos/constitucion_nacional-7.pdf)
- Figueroa, J., Guzmán, S., Herrera, M. 2015. **Atributo nutricional y nutraceutica de panqué y barritas a base de harina de frijol (Vigna unguiculata L.) nutritional and nutraceutical attribute of loaf and bars made of bean (Vigna unguiculata L.) flour**. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Volumen XVII, Número 3. Recuperado de: [www.biotechia.uson.mx](http://www.biotechia.uson.mx)
- Finnie, S., Bettge, A., Morris, C. 2006. **Influence of flour chlorination and ingredient formulation on the quality attributes of pancakes**. Cereal Chemistry, 83(6):684-691.
- Fundación Celíaca de Venezuela. 2016. **Ley Celíaca en consulta pública – noticias**. Resolución n° 416. Recuperado de: <http://www.celiacosvenezuela.org.ve/2016/08/17/ley-celiaca-en-consulta-publica-noticias/> <http://www.celiacosvenezuela.org.ve/2016/08/17/ley-celiaca-en-consulta-publica-noticias/>
- González, Z. 1993. **Efecto del pretratamiento con aditivos en la calidad de las harinas precocidas de maíz (zea mayz L.)**. Tesis de maestría. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 218p.
- Golding, E., García, M., Vergara, V. 2004. **La alimentación del niño con intolerancia al gluten**. Caracas-Venezuela. Centro de atención nutricional infantil Antimano.
- Guzmán, S., Acosta, J., Álvarez, M., García, S., Loarca, P. 2002. **Calidad alimentaria y potencial nutraceuticos del frijol (Vigna unguiculata L.)**. Agricultura técnica en México. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60828206> ISSN 0568-2517.



- Granito, M., Torres, A., Guerra, M. 2003. **Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol**. Interciencia, vol. 28, núm. 7, Caracas, Venezuela.
- Granito, M., Guinand, J., Pérez, D., & Pérez, S. 2009. **Valor nutricional y propiedades funcionales de Vigna unguiculata procesada: un ingrediente potencial para alimentos**. Interciencia. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S03781844200900100012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S03781844200900100012&lng=es&tlng=es).
- Granito, M., Valero, Y., Zambrano, R. 2010. **Desarrollo de productos horneados a base de leguminosas fermentadas y cereales destinados a la merienda escolar**. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 60 (1): 85-92. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222010000100013](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222010000100013).
- Hamer, R., and Hosney, R. 1998. **Interactions--the keys to cereal quality**. American Association of Cereal Chemists. Recuperado de: <https://trove.nla.gov.au/work/8901466?q&versionId=46519759>.
- Henao, S. 2004. **Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación**. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Ingeniería Agroindustrial. 128p.
- Henao, S. and Aristizábal, J. 2009. **Influence of cassava genotype and composite flours substitution level on rheological behaviour during bread-making**. Ingeniería e Investigación, 29 (1): 39-46.
- Hernández-Lahoz C, MauriCapdevila G, Vega-Villar J, Rodrigo L. 2011. **Neurogluten: patología neurológica por intolerancia al gluten**. Rev Neurol 53: 287-300.
- Hernández, E., Rocha, M., Márquez, R, Talamas, R., Galicia, T, Torres, N, Ramírez, B. 2016. **Caracterización de masas con base en mezclas de frijol - maíz y garbanzo - maíz**. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, volumen 1, N° 2. Recuperado de: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/6.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., Batista, M. 2014. **Metodología de la investigación**. Sexta edición. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hosney, R.1994. **Principles of Cereal Science and Technology**, second ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul.
- Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydr. Polym.. 45:253-567. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486170002605>
- Hurtado, J. 2010. **Metodología de la investigación**. Guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas, Venezuela. Quirón Ediciones S.A.

- IOM/NAS.1994. **Opportunities in the nutrition and food sciences: Research challenges and the next generation of investigators**. In: Thomas PR, Earl R (eds) Food and Nutrition Board. National Academy Press, Washington.
- Instituto Nacional de Nutrición. 2014. **Alimentación para el Vivir Bien**. Propiedades funcionales y nutricionales de harinas compuestas destinadas a panificación. Recuperado de: <https://www.inn.gob.ve/innw/?p=4470>
- Jiménez, A. y Vázquez, Ch. 2016. **Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos**. Masa y harina de maíz nixtamalizado, volumen 1, No. 2. Recuperado de: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/15.pdf>
- Kocer, D., Hicsasmaz, Z., Bayindirli, A., Katnas, S. 2007. **Bubble pore formation of the highratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer**. Journal of Food Engineering, 78: 953–964.
- Lezcano. E. 2011. **Análisis de Productos Batidos**. Revistas Alimentos Argentinos. Recuperado de: [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/ProductosBatidos\\_2011\\_08Ago.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/ProductosBatidos_2011_08Ago.pdf)
- Liendo, M. y Silva, M. **Producto tipo galleta elaborado con mezcla de harina de quinchoncho (*Cajanus cajan L.*) y almidón de maíz (*Zea mays L.*)**. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, vol. 27, núm. 1, enero-marzo, 2015, pp. 78-86 Universidad de Oriente Cumaná, Venezuela. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739474010.pdf>
- Lutz, M. y León, A. 2009. **Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación**. Alimentos saludables y funcionales. Editorial Universidad Valparaiso. Chile.
- Marco Trade News, 2016. **FAO: Aumentar la inversión en alimentos para reducir las importaciones en el Caribe** <http://www.marcotradenews.com/noticias/fao-aumentar-la-inversion-en-alimentos-para-reducir-las-importaciones-en-el-caribe-51099>
- Marquardt, R. 1984. **Faba beans as a potencial protein rich feedstuff for poultry**. FABIS, newsletters. (pp. 18-25).
- Martín, E., y Polanco, A. 2001. **Enfermedades alérgicas inducidas por alimentos no exclusivamente mediadas por IgE**. Alergología Inmunológica Clínica, 16 (2):79-94.
- Matsakidou, A., Blekas, G., Paraskevopoulou, A. 2010. **Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil**. LWT-Food Science and Technology. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643810000502>
- Mendoza, V., Michicotl, M., Sánchez, M., Hernández, R., García, H., Tlecuitl, S., y García, R. 2016. **Comparación de la actividad antioxidante de pastas secas alimenticias tipo espagueti elaboradas con leguminosas**. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos., volumen 1,

- Nº1. Recuperado de:  
<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/9/150.pdf>
- Ministerio de Ciencia y Tecnología. 2005-2030. **Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación**. Primera edición, pp. 152. Recuperado de:  
[file:///C:/Users/WinCasa.AcerWin/Downloads/PNCTI%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/WinCasa.AcerWin/Downloads/PNCTI%20(1).pdf)
- Milde, L., Zapata, P., Valdez, J., Vedoya, M., Medina, G., Franco, H. 1999. **Diseño de un enzimoimmunoensayo para control de alimentos destinados a celíacos**. La Alimentación Latinoamericana, 288: 80-86.
- Mitre, M. 2004. **Enfermedad celíaca**. IntraMed. Recuperado de:  
<http://www.intramed.net/UserFiles/Files/celiaco.pdf>.
- Monserrat, L. 1986. **Pregelatinización de harinas y almidones de yuca mediante tratamientos físicos con secadores de doble tambor y caracterización de sus propiedades físicas y químicas**. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Maracay. 135 p.
- Montero, D. 2015. **Evaluación de tres mezclas alimenticias a partir de harina de papa china (Colocasia esculenta) y harina yuca (Manihot esculenta) con adición de harina de fréjol (Phaseolus vulgaris)**. Ecuador
- Moore, M., Schober, P. Dockery and E.K. Arendt, 2004. **Textural comparison of gluten free and wheatbased doughs, batters and breads**. Cereal Chemistry 81: 567-575.
- Mosqueda, M. 1998. **Elaboración de pan**. Curso de tecnología de cereales. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería: R.M. Nº 1020-2010/MINSA / Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental – Lima: Ministerio de Salud; 2010. Recuperado de:  
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/orientacion/NORMA%20DE%20PANADERIAS.pdf>
- Numfor, F. and Noubi, L. 1995. **Effect of full-fat soya bean flour on the quality and acceptability of fermented cassava flour**. Food and Nutrition Bulletin, 16 (3):241-244.
- PA Consulting Group, 1990. **Functional foods: a new global added value market**. London.
- Pérez, E., Lares, M., González, Z., Tovar, J. 2007. **Production and Characterization of cassava (Manihot esculenta Crantz) flours using different thermal treatment**. Interciencia 32(9):615-619.
- Pérez, E. and Pérez, L. 2009. **Effect of the addition of cassava flour and beetroot juice on the quality of fettuccine**. African Journal of Food Science, 3(11):352-360.
- Pérez, E. 2010. **¿Tecnología de Alimentos en Medicina? Perspectivas en Venezuela en la Elaboración de Productos de Regímenes Especiales**.

- Tribuna del investigador, volumen 11, N° 1. Recuperado de: <https://www.tribunadelinvestigador.com/ediciones/2010/1-2/art-3/>
- Potter, N. 1978. **Food Science. Food dehydration and concentration.** Avi. Pub., pp. 527534.
- Quirós, S. 2013. Elaboración de quequitos libres de gluten a partir de harinas tiquisque, ñampi, arroz, yuca y sus mezclas. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Costa Rica. Recuperado de: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:45081428](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45081428)
- Pylar, E. 1988. **Baking science and technology.** 3rd Edition Vol. I y II. Sosland Pub. Merrion K.S.
- Real Decreto 1487/2009. **Relativo a los complementos alimenticios.** Ministerio de la Presidencia «BOE» núm. 244. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2009/BOE-A-2009-16109-consolidado.pdf>
- Rocandio, P. 2000. **Dieta controlada en gluten.** Elsevier España (Ed.). Nutrición y dietética clínica, p.p. 258-269.
- Rodríguez, E., Cuvelier, G., Fernández, A. 2007. **Laboratoire de Biophysique des Matériaux Alimentaires,** Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Rodríguez, E., Fernández, A., Cuvelier, G., Relkinc, P., and Bello L. 2008. **Starch retrogradation in cassava flour from cooked parenchyma.** Starch/Stärke, 60: 174-180.
- Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C., Caballero, P. 2005. **Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes.** Food Chemistry, 90: 549– 555.
- Sánchez, M., Ruiz, M., & Morales, M. 2015. **Microorganismos probióticos y salud.** Ars Pharmaceutica (Internet), 56(1), 45-59. <https://dx.doi.org/10.4321/S2340-98942015000100007>
- Sangronis, Machado y Cava. 2004. **Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (Phaseolus vulgaris Y Cajan cajan) germinadas. Venezuela.** ISSN: 0378-1844 interciencia@ivic.ve Asociación Interciencia, vol. 29, núm. 2, febrero, 2004, pp. 80-85
- Santiago, F. 2011. **Determinación de proteínas por el método de Kjeldahl.** JP Selecta. <http://www.grupo-electa.com/notasdeaplicaciones/analisisalimentarios-y-de-aguas-nutritional-and-water-analysis/determinacionde-proteinas-por-el-metodo-de-kjeldahl-kjeldahl-method-for-proteindetermination/>
- Sciarini, I., Steffolani León. 2016. **El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan** Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. AGRISCIENTIA, VOL. 33 (2): 61-74. Córdoba (ICYTAC), CONICET-UNC. M.E.: ICYTAC, CONICET-UNC, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Sgarbieri, V. 1998. **Propiedades funcionais de proteínas em alimentos.** Bol. **SBCTA 32: 105-126.**
- Sloan, E. 1999. **The new market: foods for the not-so-healthy.** Food Technol; **53:54-60.**
- Shittu, T., Sanni, L., Awonorin, S., Maziya-Dixon, B., Dixon, A. 2007b. **Use of multivariate techniques in studying the flour making properties of some CMD resistant cassava clones.** Food Chemistry, 101:1606–1615.
- Singh, N.; Singh, J.; Kaur, L.; Sodhi, N.; Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chem. 81:219-231. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814602004168>
- Siso, k. 2009. **Elaboración de panque con harina de trigo (Triticum aestivum), Yuca (Manihot esculenta Crantz) y salvado estabilizado de arroz (Oryza sativa L.).** Tesis Maestría. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.
- Tablas de composición nutricional de los alimentos. 2018. **Calorías en bizcocho, bollería.** Directorio de composición nutricional de bizcocho. Dietas NET. Recuperado de: <http://www.dietas.net/tablas-ycalculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-losalimentos/cereales/bolleria/bizcocho.html>
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A., Sosa, F. (2014). **Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), batata (Ipomoea batatas Lam) y ñame (Dioscorea alata), cultivadas en Venezuela.** Interciencia, vol. 39, núm. 3. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. Recuperado de:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33930206009>.
- Torley, P. and Van der Molen, F. 2005. **Gelatinization of starch in mixed sugar systems.** Lebensmittel-Wissenschaft and-Technologie, 38: 762–771.
- Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. 2008. Plan general de investigación 2008-2012. Aprobado según resolución N° CD 2008/796. Acta N° 747. Barinas-Venezuela.
- Umaña, J., Álvarez, C., Lopera, S, y Gallardo, C. 2013. **Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten.** Grupo de Estudios de Estabilidad de Medicamentos, cosméticos y alimentos Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Villanueva, R. 2007. **Ingeniería Industrial** N° 25, 2007, pp. 163-175. Recuperado de:[https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria\\_industrial/article/viewFile/617/595](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/viewFile/617/595)
- Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L., Elías, L. 1992. **Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos.** Recuperado de: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/12666>.


Zacarías, B., 1995. **Importancias de los ingredientes en panificación.** Seminario II. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.  
<http://elestimulo.com/elinteres/cae-con-fuerza-importacion-produccion-y-consumo-de-cereales-en-venezuela/>



# ANEXOS

## Anexo A

Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos  
Industriales  
Programa Ciencias del Agro y del Mar  
Laboratorio de Investigación

San Carlos 25 de Abril de 2018

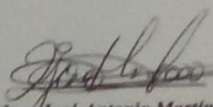
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNELLEZ - SAN CARLOS


**REPORTE DE ENSAYOS**

Solicitante: Ing. Denny Torres C.I. 10.557.278  
Tipo de muestra: Harina de yuca  
Tipo de muestreo: Simple  
Hora del muestreo: 09:00 a.m.

**Cuadro 1. Resultados análisis de harina de yuca.**

Parámetro	Resultado	Método de ensayo
Proteína (%)	0,51	Covenin 1195
Grasa (%)	0,98	Covenin 1162
Humedad (%)	8,22	Covenin 1156
Cenizas (%)	1,05	Covenin 1274
I.S.A. (%)	4,64	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)
I.A.A. (g de gel/g sólido)	5,40	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)


  
Ing. José Antonio Martínez  
Coordinador de laboratorio de Investigación  
0426-1368865

 UNELLEZ SAN CARLOS  
UNIDAD DE LABORATORIO  
LABORATORIO  
DE INVESTIGACION

UNELLEZ - SAN CARLOS, LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN, Km 4 VÍA  
MANRIQUE. TLF: 0426-1368865.

## Anexo B

Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMPRE

Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos  
Industriales  
Programa Ciencias del Agro y del Mar  
Laboratorio de Investigación

San Carlos 25 de Abril de 2018

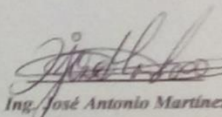
**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNELLEZ - SAN CARLOS**

**REPORTE DE ENSAYOS**

Solicitante: Ing. Denny Torres C.I.: 10.557.278  
Tipo de muestra: Harina de frijol  
Tipo de muestreo: Simple  
Hora del muestreo: 09:00 a.m.

Cuadro 1. Resultados análisis de harina de frijol.

Parámetro	Resultado	Método de ensayo
Proteína (%)	18,51	Covenim 1195
Grasa (%)	2,80	Covenim 1162
Humedad (%)	8,33	Covenim 1156
Cenizas (%)	2,80	Covenim 1274
I.S.A. (%)	7,85	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)
I.A.A. (g de gel/g sólido)	4,08	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)

  
Ing. José Antonio Martínez  
Coordinador de laboratorio de investigación  
0426-1368865


UNELLEZ SAN CARLOS  
UNIDAD DE LABORATORIO  
LABORATORIO  
DE INVESTIGACION

UNELLEZ - SAN CARLOS, LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN, Km 4 VÍA  
MANRIQUE. TLF: 0426-1368865.



## Anexo C

Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos  
Industriales  
Programa Ciencias del Agro y del Mar  
Laboratorio de Investigación

San Carlos 25 de Abril de 2018

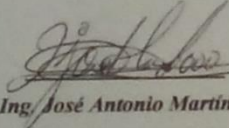
**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNELLEZ - SAN CARLOS**

**REPORTE DE ENSAYOS**

Solicitante: Ing. Dennys Torres C.L. 10.557.278  
Tipo de muestra: Fécula de Maíz  
Tipo de muestreo: Simple  
Hora del muestreo: 09:00 a.m.

**Cuadro 1. Resultados análisis de fécula de maíz.**

Parámetro	Resultado	Método de ensayo
Proteína (%)	10,89	Covenin 1195
Grasa (%)	2,52	Covenin 1162
Humedad (%)	7,37	Covenin 1156
Cenizas (%)	1,16	Covenin 1274
I.S.A. (%)	6,45	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)
I.A.A. (g de gel/g sólido)	3,72	Anderson (1996) Reyes <i>et al.</i> (2002)

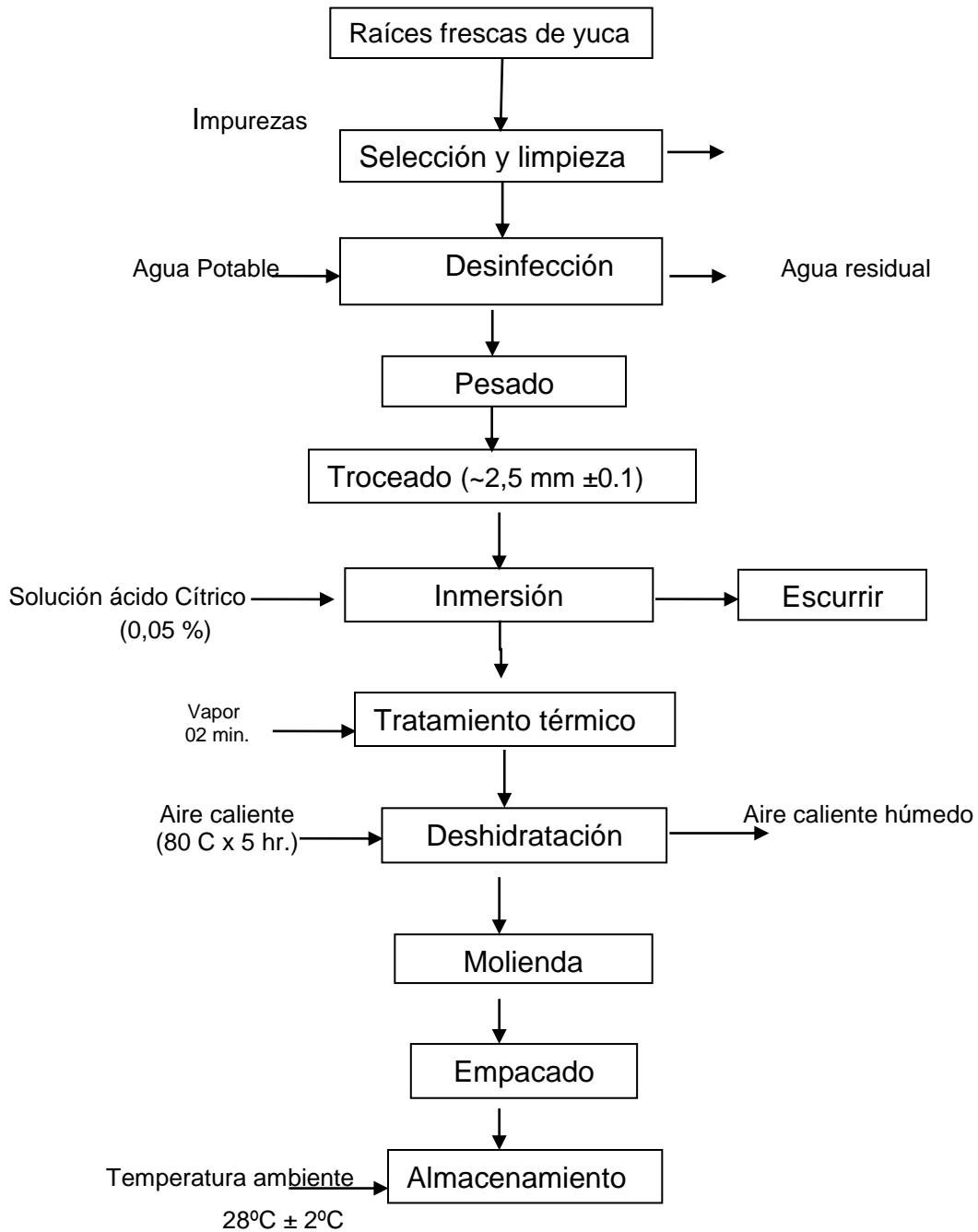
  
Ing. José Antonio Martínez  
Coordinador de laboratorio de investigación  
0426-1368865

**UNELLEZ SAN CARLOS**  
UNIDAD DE LABORATORIO  
**LABORATORIO**  
**DE INVESTIGACION**

UNELLEZ - SAN CARLOS, LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN, Km 4 VÍA  
MANRIQUE. TLF: 0426-1368865.

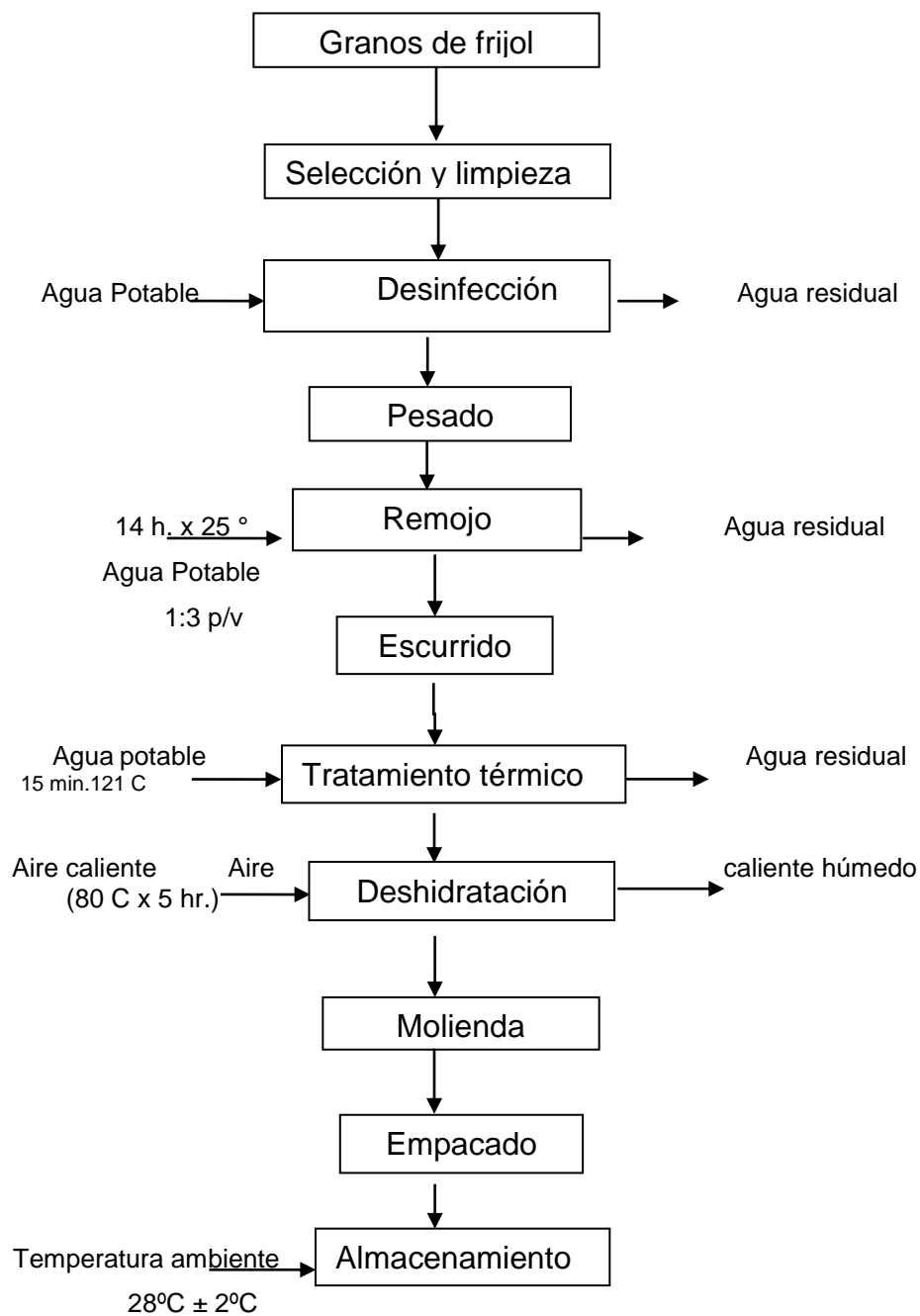
## Anexo D

### Esquema tecnológico para la elaboración de la harina precocida de yuca.



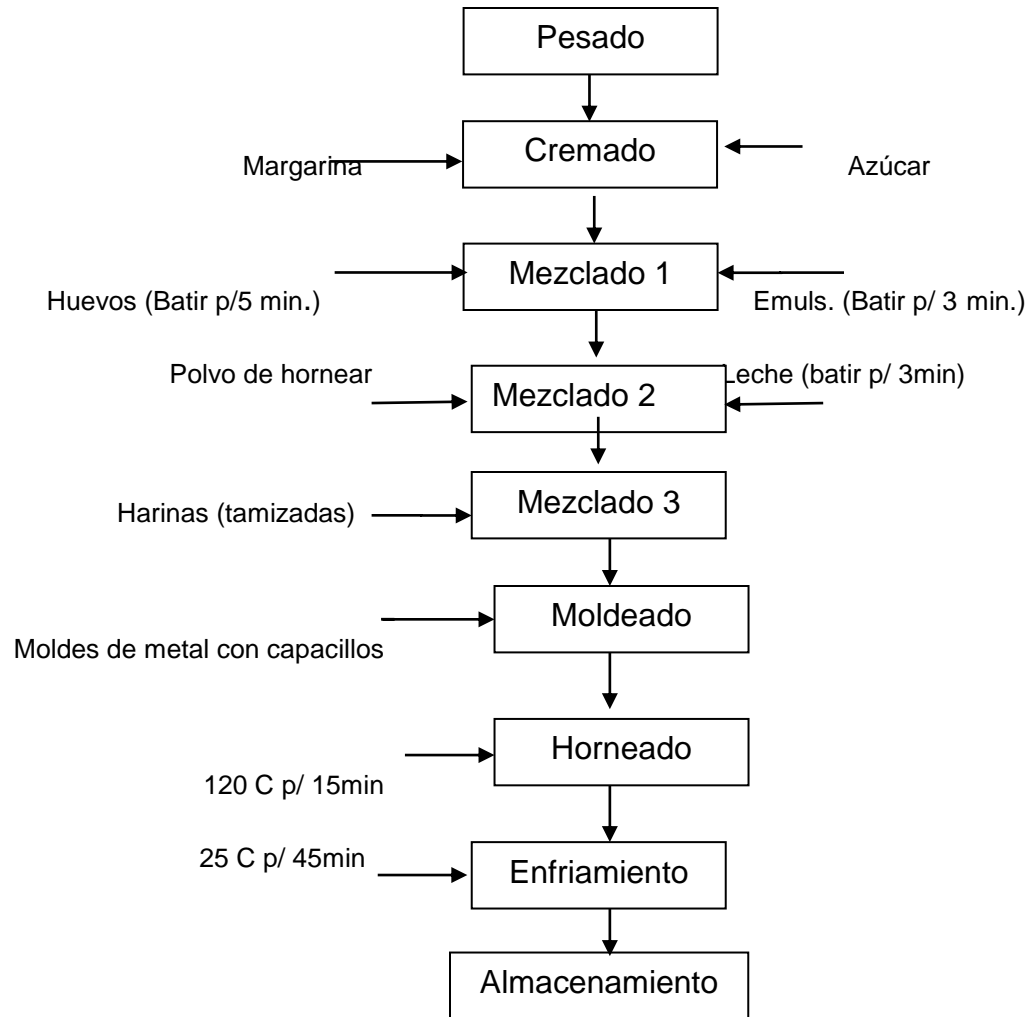
## Anexo E

### Esquema tecnológico para la elaboración de la harina precocida de frijol.



## Anexo F

### Diagrama de flujo del proceso de elaboración de ponqués.



## APÉNDICES

### APÉNDICE 1

#### Análisis físicos, químicos y funcionales con respectivos equipos

<b>Análisis físicos</b>	<b>Equipos</b>
Granulometría	Tamizador Ro-Tap
<b>Análisis bromatológicos</b>	
Humedad	Estufa
Proteína cruda	Kjeldahl
Grasa cruda	Soxhlet
Cenizas totales	Mufla
Fibra dietaria	Fibertec
Carbohidratos totales	Cálculo matemático
<b>Propiedades funcionales</b>	
Índice de absorción de agua e índice solubilidad de agua	Centrífuga

## APÉNDICE 2

### Cuestionario prueba sensorial

#### Prueba afectiva Escala hedónica estructurada

##### Instrucciones:

Frente a usted se presenta dos muestras de ponqués. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas e identifique con una equis (X) su nivel de agrado, según la escala que se le presenta. Recuerde tomar agua antes de degustar cada muestra.

##### Muestra: 486

	1	2	3	4	5	6	7
Color							
Olor							
Textura							
Sabor							
Apariencia global							
Miga homogénea							

##### Puntaje escala hedónica

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1 | me disgusta mucho          |
| 2 | me disgusta bastante       |
| 3 | me disgusta ligeramente    |
| 4 | ni me gusta ni me disgusta |
| 5 | me gusta ligeramente       |
| 6 | me gusta bastante          |
| 7 | me gusta mucho             |

##### Comentarios:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### APÉNDICE 3

#### ANOVA

Parameter Estimates				
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	44,322789	1,590537	27,87	<,0001*
X1(40,70)	-5,317997	1,777932	-2,99	0,0202*
X2(20,40)	13,976764	1,688618	8,28	<,0001*
X3(5,10)	4,3132442	1,791813	2,41	0,0470*
X2*X1	-3,517312	3,412191	-1,03	0,3369
X2*X2	-2,625815	3,344774	-0,79	0,4582
X2*X3	-4,462708	3,031068	-1,47	0,1844
X1*X3	-3,459431	3,144246	-1,10	0,3076
X1*X2*X3	-4,068989	6,128218	-0,66	0,5280

ANOVA factorial para  $Y_1$

Parameter Estimates				
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	37,227209	2,974073	12,52	<,0001*
X1(40,70)	3,6952293	3,324474	1,11	0,3031
X2(20,40)	-11,02888	3,157469	-3,49	0,0101*
X3(5,10)	1,7016186	3,35043	0,51	0,6271
X2*X1	-2,903088	6,3803	-0,46	0,6629
X2*X2	4,430656	6,25424	0,71	0,5016
X2*X3	-6,880799	5,667655	-1,21	0,2641
X1*X3	-6,051679	5,879282	-1,03	0,3376
X1*X2*X3	27,098251	11,45888	2,36	0,0500*

ANOVA factorial para  $Y_2$

Parameter Estimates				
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	18,943343	2,38151	7,95	<,0001*
X1(40,70)	0,1559765	2,662096	0,06	0,9549
X2(20,40)	-3,704173	2,528366	-1,47	0,1863
X3(5,10)	-5,309503	2,682881	-1,98	0,0883
X2*X1	6,7799951	5,109071	1,33	0,2261
X2*X2	-3,62487	5,008128	-0,72	0,4927
X2*X3	11,38577	4,538416	2,51	0,0405*
X1*X3	8,0316427	4,707878	1,71	0,1318
X1*X2*X3	-20,65328	9,175777	-2,25	0,0591

ANOVA factorial para  $Y_3$

## APÉNDICE 4

### ANOVA

Parameter Estimates				
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	6,0832778	1,158647	5,25	0,0012*
X1(40,70)	1,3085588	1,295157	1,01	0,3460
X2(20,40)	0,4317682	1,230095	0,35	0,7359
X3(5,10)	-1,210889	1,305269	-0,93	0,3844
X2*X1	0,5115852	2,485653	0,21	0,8428
X2*X2	-2,289734	2,436542	-0,94	0,3786
X2*X3	4,3468622	2,208019	1,97	0,0897
X1*X3	2,8672544	2,290465	1,25	0,2508
X1*X2*X3	-1,553348	4,464177	-0,35	0,7381

ANOVA factorial para  $Y_4$

Parameter Estimates				
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	2,3407169	0,292912	7,99	<,0001*
X1(40,70)	0,0454828	0,327423	0,14	0,8934
X2(20,40)	0,5784963	0,310975	1,86	0,1052
X3(5,10)	-0,085491	0,329979	-0,26	0,8030
X2*X1	1,059211	0,628387	1,69	0,1357
X2*X2	0,492876	0,615972	0,80	0,4499
X2*X3	0,2568954	0,5582	0,46	0,6593
X1*X3	0,3616802	0,579043	0,62	0,5520
X1*X2*X3	-2,304902	1,128569	-2,04	0,0804

ANOVA factorial para  $Y_5$

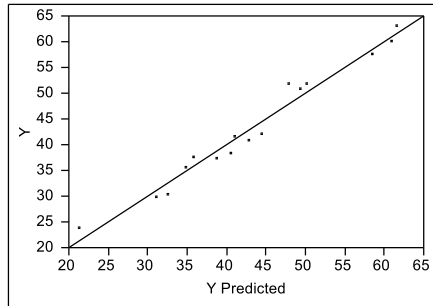
Parameter Estimates				
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	10,246647	0,142662	71,82	<,0001*
X1(40,70)	-0,280938	0,15947	-1,76	0,1215
X2(20,40)	0,0863914	0,151459	0,57	0,5862
X3(5,10)	0,1007715	0,160715	0,63	0,5505
X2*X1	-0,136024	0,306053	-0,44	0,6701
X2*X2	-0,070168	0,300006	-0,23	0,8218
X2*X3	0,3641894	0,271869	1,34	0,2222
X1*X3	0,1617766	0,28202	0,57	0,5842
X1*X2*X3	0,3876183	0,549665	0,71	0,5035

ANOVA factorial para  $Y_6$



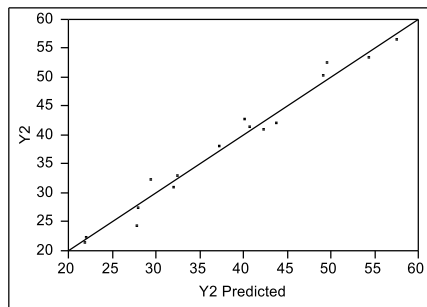
## APÉNDICE 5

### Gráficas real por predicción



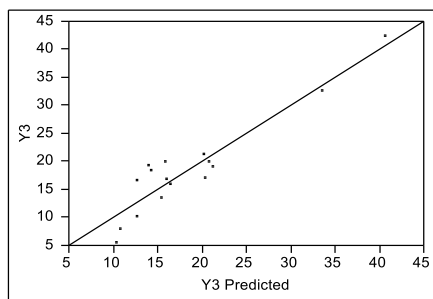
SSE	58,58
RMSE	2,55
SSE Scaled	0,44
RMSE Scaled	0,22
RSquare	0,97

Figura 1. Valores calculados Vs valores ajustados para variable Y1



SSE	47,87
	2,30
SSE Scaled	0,37
RMSE Scaled	0,20
RSquare	0,98

Figura 3. Valores calculados Vs valores ajustados para variable Y2



SSE	141,37
RMSE	3,96
SSE Scaled	1,81
RMSE Scaled	0,44
RSquare	0,88

Figura 4. Valores calculados Vs valores ajustados para variable Y3

## APÉNDICE 6

### Gráficas real por predicción

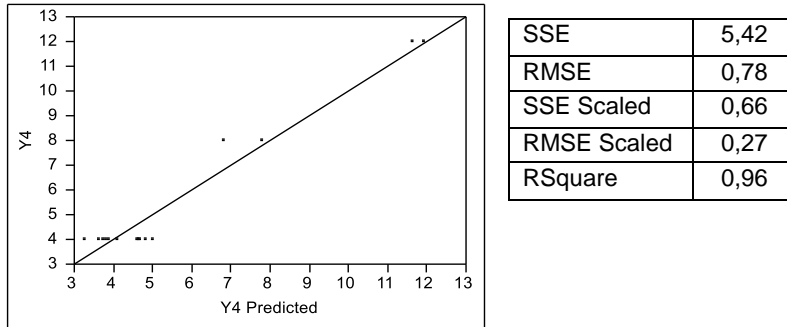


Figura 5. Valores calculados Vs valores ajustados para variable Y4

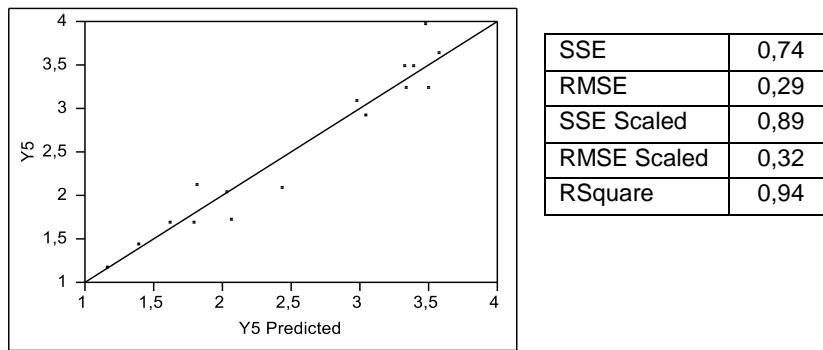


Figura6. Valores calculados Vs valores ajustados para variable Y5

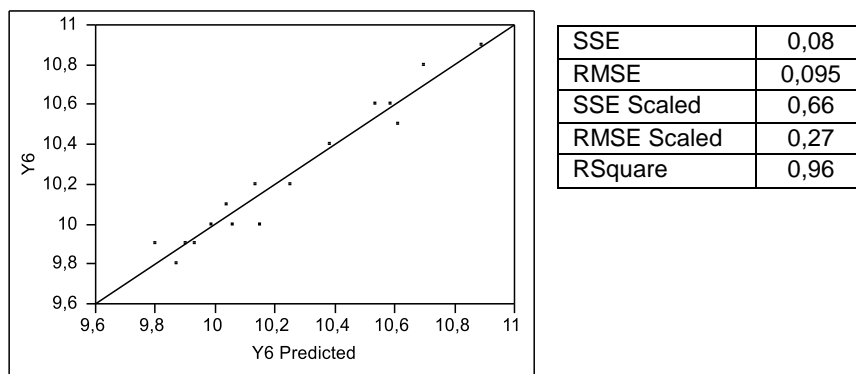


Figura 6. Valores obtenidos Vs valores ajustados para variable Y6

## APÉNDICE 7

### Sistema de “Ecuaciones” que simuló la variabilidad de la calidad del ponqué.

/\*Profiler Fórmulas\*/

/\*X Terms\*/

X1 (40,70)

X2 (20,40)

X3 (5,10)

Y1 Formula = ((-0.705385288847758) + -0.0403674207875022 \* Squish(-1.36311358792398) + -0.0599764289358772 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 + - 0.458326150646724 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 5.47370120186167 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + -0.477254732353781 \* Squish((-0.762000001994608) + 4.22600188643855 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 +0.758942787542442 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + -3.99546546677792 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + 1.63981673129972 \* Squish(2.35780082732925 + 2.69298690162724 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 + 3.3087096749329 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 4.1541433859461 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + -1.55988653821339 \* Squish(1.73719322036138 + 4.03762631964165 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 + -0.480113833681782 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + -0.670065763461369 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + 1.52198229962475 \* Squish(1.19137942262262 + 0.513440771430896 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 + 1.67982499162335 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + -2.2242926242215 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + -0.704137598808881 \* Squish((-6.30631860160523) + -1.9476722467358 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 + -2.53842768990345 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + -2.70567110811392 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174)) \* 11.4767088778389 + 43.2025

Y2 Formula= (1.29649632809822 + 0.327240997410344 \* Squish((-1.36311358792398) + -0.0599764289358772 \* (X1 - 55) / 9.52190457139047 + -0.458326150646724 \* (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 5.47370120186167 \* (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + -0.915834566575269 \* Squish((-

$$\begin{aligned}
& 0.762000001994608) + 4.22600188643855 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + 0.758942787542442 * (X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698 + -3.99546546677792 * (X3 - 7.5) / \\
& 1.58698409523174) + -2.82523908595301 * \\
& \text{Squish}(2.35780082732925 + 2.69298690162724 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + 3.3087096749329 * (X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698 + 4.1541433859461 * (X3 - 7.5) \\
& /1.58698409523174) + 2.23656217666831 * \\
& \text{Squish}(1.73719322036138 + 4.03762631964165 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + -0.480113833681782 * (X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698 + -0.670065763461369 * (X3 - \\
& 7.5) / 1.58698409523174) + -0.56328788236228 * \\
& \text{Squish}(1.19137942262262 + 0.513440771430896 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + 1.67982499162335 * (X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698 + -2.2242926242215 * (X3 - 7.5) / \\
& 1.58698409523174) + -2.65942722771783 * \text{Squish}((- \\
& 6.30631860160523) + -1.9476722467358 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + -2.53842768990345 * (X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698 + -2.70567110811392 * (X3 - 7.5) / \\
& 1.58698409523174)) * 11.3433353229991 + 38.048125
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Y3 Formula} = ((-0.654180633020874) + -0.249847637121303 * \text{Squish} \\
& ( (- 1.36311358792398) + -0.0599764289358772 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + - \\
& 0.458326150646724 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + \\
& 5.47370120186167 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + \\
& 1.42594830112156 * \text{Squish}((-0.762000001994608) + \\
& 4.22600188643855 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 \\
& + 0.758942787542442 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\
& 3.99546546677792 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174 ) + \\
& 1.21694530144473 * \text{Squish}(2.35780082732925 + 2.69298690162724 \\
& * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + 3.3087096749329 * (X2 - \\
& 30)/6.34793638092698 + 4.1541433859461 * (X3 - 7.5) \\
& /1.58698409523174) + -0.696261968798082 * \\
& \text{Squish}(1.73719322036138 + 4.03762631964165 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + - \\
& 0.480113833681782 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\
& 0.670065763461369 * (X3 - \\
& 7.5) / 1.58698409523174) + -1.07335707224805 * \text{Squish} \\
& (1.19137942262262 + 0.513440771430896 * (X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047 + 1.67982499162335 * (X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698 + -2.2242926242215 * (X3 - 7.5) / \\
& 1.58698409523174) + 4.28029690929508 * \text{Squish} ((- \\
& 6.30631860160523) + -1.9476722467358 * (X1 - 55) /
\end{aligned}$$

$$9.52190457139047 + -2.53842768990345 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + -2.70567110811392 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174)) * 8.83685122559689 + 18.470625$$

$$\begin{aligned} Y4 \text{ Formula} = & ((-4.21092641822708) + 3.00903722520168 * \text{Squish}((-1.36311358792398) + -0.0599764289358772 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + - \\ & 0.458326150646724 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 5.47370120186167 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + - \\ & 1.63606012069038 * \text{Squish}((-0.762000001994608) + 4.22600188643855 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 \\ & +0.758942787542442 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\ & 3.99546546677792 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) \\ & ) + -1.28200389042565 * \text{Squish}(2.35780082732925 + 2.69298690162724 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 \\ & +3.3087096749329 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 4.1541433859461 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + \\ & 2.09601540331108 * \text{Squish}(1.73719322036138 + 4.03762631964165 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + - \\ & 0.480113833681782 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\ & 0.670065763461369 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + 4.47930745098761 * \text{Squish}( \\ & 1.19137942262262 + 0.513440771430896 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + 1.67982499162335 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + -2.2242926242215 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + 3.13661433645093 * \text{Squish}((- \\ & 6.30631860160523) + -1.9476722467358 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + -2.53842768990345 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + -2.70567110811392 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174)) * 2.87518115371304 + 5.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y5 \text{ Formula} = & ((-0.209820654246242) + -0.98176406228509 * \text{Squish}((-1.36311358792398) + -0.0599764289358772 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + - \\ & 0.458326150646724 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 5.47370120186167 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + \\ & 2.61550308626669 * \text{Squish}((-0.762000001994608) + 4.22600188643855 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 \\ & +0.758942787542442 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\ & 3.99546546677792 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174) + 3.33001480575205 * \text{Squish}(2.35780082732925 + 2.69298690162724 \\ & * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + 3.3087096749329 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + 4.1541433859461 * (X3 - 7.5) \\ & / 1.58698409523174) + -2.77856970826906 * \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Squish}(1.73719322036138 + 4.03762631964165 * (X1 - 55) / \\ & 9.52190457139047 + - \\ & 0.480113833681782 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\ & 0.670065763461369 * (X3 - \\ & 7.5) / 1.58698409523174) + -1.93232457648184 * \\ & \text{Squish}(1.19137942262262 + 0.513440771430896 * (X1 - 55) / \\ & 9.52190457139047 +1.67982499162335 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + -2.2242926242215 * (X3 - 7.5) / \\ & 1.58698409523174) + 2.78412825857026 * \text{Squish}((- \\ & 6.30631860160523) + -1.9476722467358 * (X1 - 55) / \\ & 9.52190457139047 + -2.53842768990345 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + -2.70567110811392 * (X3 - 7.5) / \\ & 1.58698409523174)) * 0.905803510701962 + 2.56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Y6 Formula} = & (0.384692312637373 + 2.7780351591167 * \text{Squish}((- \\ & 1.36311358792398) + -0.0599764289358772 * (X1 - 55) / \\ & 9.52190457139047 + -0.458326150646724 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + 5.47370120186167 * (X3 - 7.5) / \\ & 1.58698409523174) + 2.61635350556796 * \text{Squish}(- \\ & 0.762000001994608) + 4.22600188643855 * (X1 - 55) / \\ & 9.52190457139047 +0.758942787542442 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + -3.99546546677792 * (X3 - 7.5) / \\ & 1.58698409523174) + -1.29979144942519 * \\ & \text{Squish}(2.35780082732925+2.69298690162724* (X1 - 55)/ \\ & 9.52190457139047 +3.3087096749329 * (X2 - 30) / \\ & 6.34793638092698 + 4.1541433859461 * (X3 - 7.5) \\ & /1.58698409523174) + -3.14625741404034 * \\ & \text{Squish}(1.73719322036138 + 4.03762631964165 * (X1 - 55) / \\ & 9.52190457139047 + - \\ & 0.480113833681782 * (X2 - 30)/6.34793638092698 + - \\ & 0.670065763461369 * (X3 - \\ & 7.5)/1.58698409523174)+0.16804336779917*\text{Squish}(1.191379422622 \\ & 62+ 0.513440771430896 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 \\ & +1.67982499162335 * (X2 - 30)/6.34793638092698 + - \\ & 2.2242926242215 * (X3 - 7.5)/ 1.58698409523174) + - \\ & 0.877879320786275 * \text{Squish}((-6.30631860160523) + - \\ & 1.9476722467358 * (X1 - 55) / 9.52190457139047 + - \\ & 2.53842768990345 * (X2 - 30) / 6.34793638092698 + - \\ & 2.70567110811392 * (X3 - 7.5) / 1.58698409523174)) * 0.35 + \\ & 10.2375; H1=\text{Squish}((-1.36311358792398) + -0.0599764289358772 * \\ & (:(X1 - 55) / 9.52190457139047) + -0.458326150646724 * (:(X2 - \\ & 30) / 6.34793638092698) + 5.47370120186167 * (:(X3 - 7.5) / \\ & 1.58698409523174))H2=\text{Squish}((-0.762000001994608) + \\ & 4.22600188643855 * (:(X1 - 55) / 9.52190457139047) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +0.758942787542442 * ((:X2 - 30) / 6.34793638092698) + - \\
& 3.99546546677792 * ((:X3 - 7.5) / 1.58698409523174))H_3=\text{Squish}( \\
& 2.35780082732925 + 2.69298690162724 * ((:X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047) +3.3087096749329 * ((:X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698) + 4.1541433859461 * ((:X3 -7.5) / \\
& 1.58698409523174)) \\
& H_4=\text{Squish} ( 1.73719322036138 + 4.03762631964165 * ((:X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047) + -0.480113833681782 * ((:X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698) + -0.670065763461369 * ((:X3-7.5) / \\
& 1.58698409523174))H_5=\text{Squish}( 1.19137942262262 + \\
& 0.513440771430896 * ((:X1 - 55) / 9.52190457139047) \\
& +1.67982499162335 * ((:X2 - 30) / 6.34793638092698) + - \\
& 2.2242926242215 * ((:X3 -7.5) / 1.58698409523174))H_6=\text{Squish}( (- \\
& 6.30631860160523) + -1.9476722467358 * ((:X1 - 55) / \\
& 9.52190457139047) + -2.53842768990345 * ((:X2 - 30) / \\
& 6.34793638092698) + -2.70567110811392 * ((:X3 - 7.5) / \\
& 1.58698409523174))
\end{aligned}$$

## APÉNDICE 8

### DATOS APLICACIÓN PRUEBA SENSORIAL

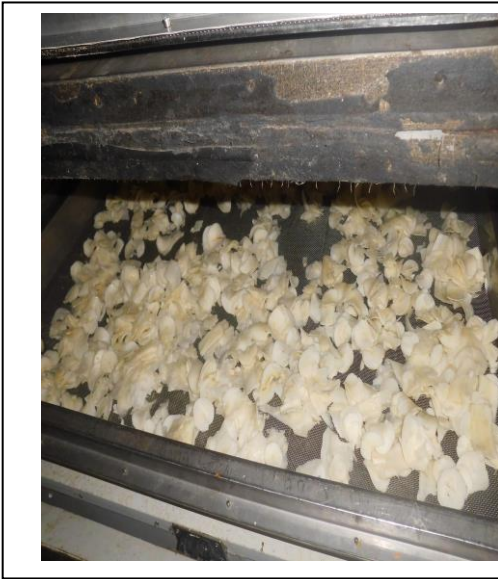
Muestra 486						
ATRIBUTOS						
PANELISTA	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR	APARIENCIA GLOBAL	MIGA HOMOGÉNEA
1	5	6	5	7	7	6
2	5	6	3	5	4	3
3	6	5	5	7	4	5
4	4	1	5	5	6	4
5	4	4	4	5	5	4
6	5	5	5	5	5	5
7	5	6	7	7	7	7
8	7	7	6	7	6	6
9	7	7	6	5	7	6
10	6	6	5	7	5	6
11	5	4	3	3	4	5
12	6	6	7	7	6	7
13	4	4	6	7	5	6
14	3	6	6	6	3	5
15	4	2	5	4	3	3
16	7	7	7	7	7	6
17	4	7	5	3	4	7
18	5	4	7	7	4	7
19	5	7	6	6	6	6
20	7	7	6	7	7	7
21	6	7	6	5	5	6
22	4	1	4	2	3	4
23	4	5	4	5	5	6
24	5	7	2	6	5	5
25	6	5	4	6	5	6
26	4	5	6	7	5	7
27	3	5	3	6	6	5
28	4	7	5	2	4	4
29	7	4	7	7	7	7
30	4	4	4	4	5	5
31	4	5	5	6	6	5
32	7	7	6	7	7	6
33	4	6	4	5	5	4
34	5	5	6	7	6	6
35	7	7	7	7	7	7
36	5	4	6	5	5	6
37	7	7	5	6	4	7
38	4	7	6	7	7	7
39	7	7	7	5	7	7
40	6	7	6	7	6	6



**Continuación.....**

PANELISTA	ATRIBUTOS					
	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR	APARIENCIA GLOBAL	MIGA HOMOGÉNEA
41	7	6	7	5	7	6
42	5	6	6	6	6	6
43	7	6	3	4	4	4
44	1	5	5	7	1	2
45	6	5	5	5	7	1
46	7	7	7	7	7	7
47	2	1	3	1	2	6
48	6	7	6	4	6	5
49	7	7	6	7	5	5
50	5	7	7	6	7	6

**RESEÑA FOTOGRÁFICA**  
**PROCESO DE HARINAS (YUCA Y FRIJOL)**



Secado de hojuelas de yuca



Obtención harinas



Remojo de granos de frijol



Cocción de frijol en autoclave Bertuzzi

## Análisis físico, químico y funcional de las harinas



Análisis granulométrico de harinas y mezcla óptima



Análisis de IAA e ISA de mezcla óptima de harinas



Determinación de humedad de mezcla óptima



Preparación de muestras  
Determinación de humedad de mezcla óptima

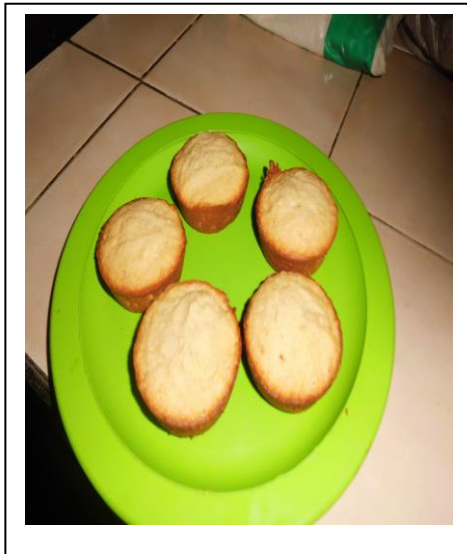
## Procesamiento y evaluación sensorial del ponqué



Instrumentos de pesadas de ingredientes



Mezcla de ingredientes en molde



Ponqué horneado



Ejecución de evaluación sensorial