

**DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN BAJO EN PROTEÍNA A
PARTIR DE UNA PREMEZCLA DE ALMIDÓN DE YUCA CON POTENCIAL
TERAPÉUTICO NUTRICIONAL**

ANDREA CAROLINA DELGADO GALINDO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA

BOGOTÁ, D. C., DICIEMBRE DE 2020

**DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN BAJO EN PROTEÍNA A
PARTIR DE UNA PREMEZCLA DE ALMIDÓN DE YUCA CON POTENCIAL
TERAPÉUTICO NUTRICIONAL**

ANDREA CAROLINA DELGADO GALINDO

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial para optar al título de:

Nutricionista Dietista

ANDRÉS GIRALDO TORO PhD

Director

ANGELA JOHANA ESPEJO M. PhD

Codirectora

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA

BOGOTÁ, D. C., DICIEMBRE DE 2020

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946.

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

**DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN BAJO EN PROTEÍNA A
PARTIR DE UNA PREMEZCLA DE ALMIDÓN DE YUCA CON POTENCIAL
TERAPÉUTICO NUTRICIONAL**

ANDREA CAROLINA DELGADO GALINDO

APROBADO



ANDRÉS GIRALDO TORO
Ingeniero Agroindustrial Ph.D.
Director



ANGELA JOHANA ESPEJO M.
Microbióloga Industrial Ph.D.
Codirectora



ANDRÉS ESCOBAR
Ingeniero Agroindustrial Ph.D.
Jurado

**DESARROLLO DE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN BAJO EN PROTEÍNA A
PARTIR DE UNA PREMEZCLA DE ALMIDÓN DE YUCA CON POTENCIAL
TERAPÉUTICO NUTRICIONAL**

ANDREA CAROLINA DELGADO GALINDO

APROBADO

**Concepción Judith Puerta Bula
Bacterióloga MSc. Ph.D.
Decana Facultad de Ciencias**

**Luisa Fernanda Tobar
Nutricionista Dietista MSc.
Director de Carrera**

DEDICATORIA

“A Dios por ser mi soporte espiritual, y permitir con mi vida, acciones y decisiones hacer sus designios y voluntad. A mis padres por su amor, acompañamiento, soporte y apoyo infinito que me han brindado durante toda mi vida y en el transcurso de mi formación académica. A mi hermano por ser siempre ese primer paciente para todos los ejercicios prácticos que iba aprendiendo durante la carrera, por su constante apoyo, compañía, por estar ahí siempre para mí, por ser parte de mi vida. A mi amiga Pilar, por acompañarme en todo momento de mi vida personal y profesional, por colaborar en las prácticas de mi carrera desde el primer semestre hasta para el desarrollo de este trabajo.

Infinitas gracias a todos lo que de uno u otro modo fueron mi soporte durante todo este proceso y continúan siéndolo para mí.”

Andrea Carolina Delgado G.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por mi vida, por poner en mi camino a personas que me acompañaron y guiaron durante este proceso formativo.

A mi familia por su permanente apoyo y comprensión, por ser los panelistas desde las primeras formulaciones de premezclas realizadas.

Al docente Andrés Giraldo Toro y la docente Angela Espejo, por su acompañamiento, orientación y colaboración brindada. Así mismo, por permitirme aportar mi compromiso y responsabilidad haciéndome participe de este maravilloso proyecto.

A la docente Ana Karina Carrascal, Bacterióloga, por su amabilidad, colaboración y participación.

A todos los docentes quienes me transmitieron sus conocimientos y experiencias para mi crecimiento personal e intelectual, durante el transcurso de mi carrera universitaria.

A Nelcy Moreno, auxiliar de laboratorio por su amabilidad, gestión y colaboración brindada.

A la Pontificia Universidad Javeriana, que me aportó una formación integral con la cual, estoy segura será mi soporte para mi futuro ejercicio profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 El gluten	2
2.2 Trastornos relacionados con el consumo de gluten (TRCG).....	3
2.3 Errores Innatos del Metabolismo (EIM)	5
2.4 Yuca	6
2.4.1 Descripción	6
2.4.2 Influencia económica	7
2.4.3 Composición	8
2.4.4 Almidón	9
2.4.4.1 Almidón de Yuca	11
2.5 Panificación	13
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	14
3.1 Formulación del problema.....	14
3.2 Justificación de la investigación	15
4. OBJETIVOS	17
4.1 Objetivo general	17
4.2 Objetivos específicos	17
5. HIPÓTESIS	17
6. METODOLOGÍA	17
6.1 Diseño de la investigación	17
6.1.1 Población de estudio y muestra.....	18
6.1.2 Variables de estudio.....	19
6.2. Métodos.....	19
6.2.1 Proceso de elaboración del producto de panificación	19
6.2.2 Calidad Sanitaria	21
6.2.3 Análisis químico	21
6.2.4 Análisis microbiológico.....	22
6.2.5 Análisis textural	22
6.2.6 Análisis sensorial	22
6.2 Recolección de información	23
6.3 Análisis de información	23
7. RESULTADOS	23
7.1 Análisis químico	23
7.2 Análisis microbiológico.....	24
7.3 Análisis textural	25
7.4 Análisis sensorial	25
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27

8.1	Análisis químico	27
8.2	Análisis microbiológico	29
8.3	Análisis textural	29
8.4	Análisis sensorial	32
9.	CONCLUSIONES	33
10.	RECOMENDACIONES.....	34
11.	BIBLIOGRAFÍA	35
12.	ANEXOS	42

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACPEIM:	Asociación Colombiana de Pacientes con Errores Innatos del Metabolismo
AF:	Almidón fermentado de yuca
AN:	Almidón nativo de yuca
AT:	Alergia al Trigo
BPM:	Buenas Prácticas de Manipulación de Alimentos
BP:	Bajo en Proteína
CIAT:	Centro Internacional de Agricultura Tropical
EC:	Enfermedad Celíaca
EII:	Enfermedad Inflamatoria Intestinal
EIM:	Errores Innatos del Metabolismo
ENSIN:	Encuesta Nacional de Situación Alimentaria y Nutricional
GF:	Libre de Gluten - Gluten Free
HA:	Harina de Yuca
HT:	Harina de Trigo
MS:	Materia Seca
NTC:	Norma Técnica Colombiana
PF:	Peso Fresco
SGNC:	Sensibilidad al Gluten No Celíaca
TRCG:	Trastornos Relacionados con el Consumo de Gluten - Gluten-Related Disorders
TCAC:	Tabla de Composición de Alimentos Colombianos
TPA:	Análisis de Perfil de Textura - Texture Profile Analysis
UFC:	Unidades Formadoras de Colonias

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores de yuca a nivel mundial.....	8
Figura 2. Fenómenos de gelatinización, gelificación y retrogradación del almidón.....	10
Figura 3. Esquema metodológico	18
Figura 4. Proceso de elaboración del pan	20
Figura 5. Propiedades texturales de Dureza (N), Adhesividad (J), Masticabilidad (N), y Cohesividad de cada una de las formulaciones de pan.	25
Figura 6. Puntuación de los atributos sensoriales (Apariencia, Aroma, Textura, Sabor y Color) de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).....	26
Figura 7. Nivel de preferencia según la escala de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).	26
Figura 8. Nivel de preferencia general de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).	27
Figura 9. Elección de compra hipotético de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables del estudio	19
Tabla 2. Porcentajes de proporción de ingredientes requeridos para la formulación de pan de yuca.....	20
Tabla 3. Porcentajes de composición de las formulaciones de pan	24
Tabla 4. Recuento de microorganismos de cada una de las muestras de pan	24

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Prueba de Kruskal Wallis	23
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Desarrollo de productos	42
Anexo 2. Análisis proximal: Determinación de Humedad	43
Anexo 3. Análisis proximal: Determinación de Cenizas.....	44
Anexo 4. Análisis proximal: Determinación de Grasa	44
Anexo 5. Análisis proximal: Determinación de Fibra Cruda.....	45
Anexo 6. Análisis proximal: Determinación de Proteína	46
Anexo 7. Análisis microbiológico.....	47
Anexo 8. Guía de análisis proximal para determinación de proteína.	48
Anexo 9. Rotulado General	52
Anexo 10. Rotulado Nutricional.....	52
Anexo 11. Invitación a la participación de la prueba sensorial	53
Anexo 11. Consentimiento Informado.....	54
Anexo 12. Formato de prueba sensorial afectiva	58

RESUMEN

Existe un número importante de pacientes que padecen algún tipo de Error Innato del Metabolismo (EIM), y algún Trastorno Relacionado con el Consumo de Gluten (TRCG), quienes requieren sustitutos alimenticios bajos en proteína (BP) y libres de gluten (GF), que contribuyan a un adecuado estado nutricional. La yuca como raíz nativa de Colombia presenta un gran potencial como alternativa sostenible para la sustitución de materias primas convencionales, en especial en los productos de panificación dada su accesibilidad, asequibilidad, versatilidad y practicidad gastronómica. Este trabajo buscó desarrollar un producto de panificación elaborado a partir de una premezcla a base de yuca con potencial uso en manejo nutricional de pacientes que llevan una dieta BP y GF. Se plantearon seis formulaciones a partir de diferentes premezclas con inclusión de almidón y harina de yuca. Se evaluó para cada una, la composición nutricional, la calidad microbiológica, las propiedades texturales, propiedades organolépticas y sensoriales. El contenido de humedad, cenizas, grasa, proteína y carbohidratos de las muestras presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Todos los productos fueron aceptables de calidad microbiológica al coincidir con los parámetros de calidad exigidos en la normatividad vigente. Entre las formulaciones se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en parámetros texturales de dureza, masticabilidad, cohesividad y adhesividad. Las muestras presentaron atributos de aroma, textura, y sabor, aceptables, mientras que apariencia general y color presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). La premezcla *F.1.3°* presentó una composición nutricional adecuada y una mayor aceptabilidad en cuanto a propiedades texturales, selección de compra y preferencia.

Palabras claves: Yuca, *Manihot esculenta*, Gluten, Panificación, Errores Innatos del Metabolismo (EIM), Trastornos Relacionados con el Consumo de Gluten (TRCG).

ABSTRACT

There is a significant number of patients suffering from some type of Inborn Errors of Metabolism (IEM), and some Gluten-Related Disorders (GRD), who require low protein (LP) and gluten-free (GF) food substitutes, which contribute to an adequate nutritional status. Cassava as a native Colombian root has great potential as a sustainable alternative for the substitution of conventional raw materials, especially in bakery products given its accessibility, affordability, versatility and gastronomic practicality. This work sought to develop a bakery product made from a cassava-based premix with potential use in the nutritional management of patients on a BP and GF diet. Six formulations were proposed from different premixes including starch and cassava flour. It was evaluated for each one, the nutritional composition, microbiological quality, textural properties, organoleptic and sensorial properties. The content of humidity, ashes, fat, protein and carbohydrates of the samples presented statistically significant differences ($p < 0.05$). All the products were acceptable in terms of microbiological quality as they coincided with the quality parameters required by current regulations. Among the formulations there were statistically significant differences ($p < 0.05$) in textural parameters of hardness, chewability, cohesiveness and adhesiveness. The samples presented acceptable attributes of aroma, texture, and flavor, while general appearance and color presented statistically significant differences ($p < 0.05$). Premix called F.1.3° presented an adequate nutritional composition and a greater acceptability in terms of textural properties, purchase selection and preference.

Keywords: Cassava, *Manihot esculenta*, Gluten, Baking, Inborn Errors of Metabolism (IEM), Gluten-Related Disorders (GRD).

1. INTRODUCCIÓN

La población mundial está creciendo cada vez más y va en aumento con el paso del tiempo; como consecuencia de ello, hay un notorio incremento en el consumo y en la demanda de alimentos procesados, dentro de los cuales se encuentran los productos de panificación a base de trigo, como el pan (Godfray et al., 2010). En Colombia, se evidencia esta situación, según lo reportado por la Encuesta Nacional de Situación Alimentaria y Nutricional (ENSIN), para el año 2015 se presentó una mayor prevalencia de consumo de cereales con un 99,2 %, seguido de tubérculos y plátanos con un 97,8 % y continúa el pan con un 88,2 %, siendo estos alimentos los de mayor preferencia para todos los grupos etarios del país (ICBF, 2015).

Debido a esto, la demanda de trigo ha incrementado considerablemente pronosticándose que esta materia prima será escasa mundialmente en un futuro próximo (Jensen et al., 2015). Este cereal posee en su composición una proteína estructural, conocida como gluten, la cual hace que el trigo se constituya como una materia prima adecuada para los productos horneados con levadura, ya que, durante la elaboración de la masa, la hidratación del gluten contribuye al desarrollo de una red viscoelástica unida por enlaces disulfuro entre moléculas de glutenina y gliadinas (Chisenga et al., 2020), que le confiere importantes cualidades a los alimentos preparados con este cereal, brindándoles una mejor palatabilidad (Elli et al., 2017).

No obstante, a pesar de todas sus propiedades tecnológicas, el consumo de productos con gluten ha traído consigo una creciente prevalencia de trastornos relacionados con su consumo, conocidos como Trastornos Relacionados con el Consumo de Gluten (TRCG), que se asocian a afecciones inflamatorias crónicas del tracto gastrointestinal y las enfermedades inflamatorias intestinales (EII). Dichos trastornos requieren una dieta basada en productos especiales, que sean libres de gluten (GF), los cuales, al ser elaborados a base de materias primas diferentes al trigo, suelen perder las propiedades viscoelásticas características de los productos elaborados con esta materia prima. Debido a esto, y teniendo en cuenta que el consumo de este tipo de productos GF se ha incrementado considerablemente, la búsqueda de calidad y propiedades viscoelásticas y reológicas para estos productos ha ido creciendo simultáneamente (Horstmann et al., 2017).

Igualmente, para algunas enfermedades de origen genético como los errores innatos del metabolismo (EIM) de las proteínas, existe un número importante de pacientes que tienen la necesidad de contar con sustitutos de bajo contenido de proteína que les permita realizar un adecuado manejo dietario, así como también poder contar con una mayor oferta de productos adecuados para el manejo de su patología. Esto debido a que su principal

alternativa de tratamiento consiste en la restricción de las proteínas en la dieta, es decir, que sea BP y el consumo de leches de fórmula carentes de los aminoácidos que no son metabolizados de forma adecuada.

En este sentido, en África y América Latina, una de las alternativas para la sustitución del trigo es el almidón y harina a base de yuca, la cual ha incrementado su aplicación para el desarrollo de productos de panificación por su versatilidad y practicidad gastronómica. Es así, que se considera que los productos y subproductos de yuca tienen un gran potencial como alternativa a la harina de trigo en la industria alimentaria, en especial en la panificación (Aristizábal et al., 2017). Siendo esta raíz accesible y asequible a nivel mundial, en Colombia es nativa y tradicional de esta cultura, y gracias a esto se han podido desarrollar múltiples investigaciones enfocadas a evaluar y conocer sus propiedades y aplicaciones (Chisenga et al., 2020; Eduardo et al., 2013; Maldonado et al., 2013; Monthe et al., 2019; Nyembwe et al., 2018). De esta forma, se considera pertinente evaluar las características de productos de panificación a base de yuca, para ampliar el conocimiento sobre la calidad del pan y llegar a optar por esta raíz y sus subproductos como alternativa sostenible para la sustitución en la industria alimenticia de materias primas convencionales, como lo es el trigo (Horstmann et al., 2017).

De acuerdo a lo anterior, el área de investigación en la ciencia y tecnología de los alimentos de la PUJ ha venido trabajando en la formulación de productos de panificación BP y GF de alta calidad, con la aplicación de sustitutos del trigo y de materias primas que no contengan gluten, considerando el uso de diferentes ingredientes como el almidón y harinas provenientes de alimentos GF, proteínas o enzimas, hidrocoloides y aditivos naturales como la goma xanthan, caracterizada por su alta solubilidad y estabilidad en una amplia gama de productos alimenticios (Castro et al., 2019; Horstmann et al., 2017; Monthe et al., 2019).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El gluten

El gluten se considera la principal proteína estructural del trigo, la cual comprende dos fracciones de prolamina clasificadas en función de su solubilidad en alcoholes acuosos: las gliadinas (clasificadas en tipos alfa / beta, gamma y omega) y las gluteninas, que son poco solubles (dividido en subunidades HMW de alto peso molecular y LMW de bajo peso molecular) (Ozuna & Barro, 2018). Estas son empleadas frecuentemente en la industria alimentaria, debido a que le confieren importantes cualidades a los alimentos en los que se adicionan, resultando en una mejor palatabilidad de estos, y es igualmente responsable de la calidad del pan del trigo, justamente porque forman una red tridimensional impermeable

capaz de retener el dióxido de carbono y de estirarse bajo su presión para formar la estructura y la textura alveolar característica del pan (Elli et al., 2017).

Se encuentra principalmente en cereales como trigo, cebada, cuscús, centeno, espelta, avena (contaminada por cultivos), malta, triticale y derivados del trigo que contienen gluten como el bulgur y el seitán (WGO, 2012). Sin embargo, se evidencia que se encuentra en alimentos derivados de estos y en aquellos alimentos como dulces, salsas, mermeladas, espesante en los que se emplean como ingrediente.

2.2 Trastornos relacionados con el consumo de gluten (TRCG)

Dentro de las enfermedades relacionadas con la exposición al gluten, se encuentran aquellas en las que interviene el sistema inmunológico adaptativo, como la alergia al trigo (AT) y la enfermedad celíaca (EC). Adicionalmente, existen reacciones al gluten en las que no intervienen mecanismos alérgicos ni autoinmunes como la sensibilidad al gluten no celíaca (SGNC).

Estos trastornos han surgido gradualmente como un fenómeno epidemiológico con una prevalencia global que sobrepasa el 5 % (Sur et al., 2019). Así mismo, a nivel mundial está en ascenso el número de consumidores que está comenzando a evitar los alimentos que contienen gluten, excluyendo estos de la dieta como tratamiento a diversas patologías y/o para protegerse del desarrollo de estos TRCG y sus manifestaciones clínicas, o sencillamente como razones de estilo de vida.

La Enfermedad Celíaca (EC), conocida como *esprúe celíaco*, *enteropatía sensible al gluten* o *esprúe no tropical*, es una enfermedad multiorgánica autoinmune crónica que afecta el intestino delgado de personas genéticamente predispuestas, y es precipitada por la ingesta de alimentos que contienen gluten (Ludvigsson et al., 2013). Es una enfermedad frecuente en todo el mundo y en los últimos 20 años su prevalencia ha aumentado significativamente y se espera que siga aumentando, convirtiéndose al día de hoy, en la enteropatía más común en los países occidentales. Actualmente, afecta aproximadamente al 1 % de la población mundial, pero en su mayoría no se diagnostica (Elli et al., 2019). La incidencia ha incrementado en los últimos años según la edad y área geográfica, las tasas en personas adultas han aumentado de 3.08/100.000 habitantes en el año 1995 a 11.13/100.000 habitantes en 2005 y en niños y niñas de 2.08/100.000 habitantes por año (1981-1985) a 6.89/100.000 habitantes por año (2001-2005) (Hurley et al., 2012). Se presentan manifestaciones clínicas clásicas como diarrea, pérdida de peso y retraso del crecimiento, y manifestaciones inespecíficas como anorexia, vómito, dolor abdominal, distensión abdominal, estreñimiento, anemia, anomalías hepáticas, enfermedad ósea

metabólica, síntomas neurológicos y trastornos ginecológicos son los más frecuentes (Elli et al., 2019).

La Alergia al Trigo (AT), es una reacción inmunológica adversa mediada por inmunoglobulina E (IgE), a diferentes proteínas del trigo. Dependiendo de la vía de exposición al alérgeno y los mecanismos inmunológicos de base, la alergia al trigo puede clasificarse en cuatro categorías principales: 1) Alergia alimentaria clásica, que afecta la piel, el tracto respiratorio y el tracto gastrointestinal, 2) Anafilaxia inducida por el ejercicio dependiente del trigo, 3) Asma ocupacional (asma de panadero) y rinitis y, 4) Urticaria de contacto (Sapone et al., 2012).

La Sensibilidad al Gluten No Celíaca (SGNC), conocida como "*hipersensibilidad al trigo no celíaca*" o "*síndrome de intolerancia al trigo*", es un proceso no autoinmune y no alérgico, en el cual se presentan síntomas tanto gastrointestinales como extraintestinales que surgen poco después de la ingestión de alimentos que contienen gluten, los cuales se resuelven con una dieta GF (Sapone et al., 2012), al igual en la que se ha descartado otros trastornos semejantes como la EC y AT. Los síntomas en SGNC pueden parecerse a los asociados con la EC pero con una prevalencia notoria de síntomas extraintestinales como cambios de comportamiento (depresión), dolor de huesos o articulaciones, cefalea, calambres musculares, entumecimiento de extremidades, pérdida de peso y fatiga crónica (Sapone et al., 2012). Aunque se presentan manifestaciones poco frecuentes como diarrea, dolor abdominal, eccema/erupciones y anemia.

En la actualidad, el único tratamiento para los TRCG es la adopción de una dieta GF estricta de por vida, evitando no solo los alimentos o medicamentos que contienen gluten sino también las contaminaciones y trazas que se puedan presentar, debido a que la sobreexposición al gluten puede reactivar la reaparición de estos trastornos (Horstmann et al., 2017), e incluso pequeñas cantidades de gluten pueden resultar perjudiciales. Según la Guía Mundial de la Organización Mundial de Gastroenterología, se deben evitar alimentos como trigo, centeno, cebada, avena (contaminada por otros cultivos), cuscús, malta y derivados de estos. Así mismo, señala que dentro de los alimentos permitidos en una dieta GF, se encuentran por el lado de los cereales, harinas y almidones GF, alimentos como sagú, yuca, soja, sorgo, quinoa, avena (no contaminada), mijo, harinas de legumbres, amaranto, alforfón, maíz, entre otros (WGO, 2012), de manera que se refleja el empleo de estas como alimentación alternativa para estos pacientes.

2.3 Errores Innatos del Metabolismo (EIM)

Los Errores Innatos del Metabolismo (EIM) hacen referencia a un grupo de enfermedades monogénicas, generalmente de herencia autosómica recesiva, causadas por mutaciones en un gen que codifica para una proteína o enzima involucrada en alguna ruta metabólica, provocando la alteración del funcionamiento de la célula. A pesar de que cada uno de los EIM tienen una incidencia muy baja, la incidencia acumulada para el conjunto es de 1 por cada 500 recién nacidos vivos, considerando que existen aproximadamente más de 1000 tipos diferentes (Ruiz et al., 2007). Estas enfermedades de origen genético son catalogadas como enfermedades raras dada su baja frecuencia en la población. De acuerdo, a la legislación colombiana las enfermedades raras afectan al menos a 1 por cada 5000 personas (Ley 1392 de 2010/Ley 1438 de 2011). Su baja frecuencia, así como la desatención del sistema nacional de salud y la falta de interés de la industria farmacéutica para desarrollar alternativas de tratamiento, han contribuido a que sean clasificadas también dentro del grupo de enfermedades huérfanas. Las aminoacidopatías, acidemias orgánicas y los desórdenes del ciclo de la urea, son EIM causados por alteraciones en enzimas involucradas en el metabolismo de diferentes aminoácidos, lo cual genera la acumulación de productos tóxicos y/o la deficiencia de sustratos en el organismo (Villani et al., 2017; Wasim et al., 2018).

En los últimos 10 años, 63 pacientes han sido diagnosticados con aminoacidopatías o acidemias orgánicas, según lo reportado por el laboratorio de diagnóstico del Instituto de Errores Innatos del Metabolismo y el Hospital Universitario San Ignacio en la ciudad de Bogotá, Colombia. La Asociación Colombiana de Pacientes con Errores Innatos del Metabolismo (ACPEIM) cuenta actualmente con 191 pacientes diagnosticados con este tipo de desórdenes a nivel nacional.

Las manifestaciones clínicas de los pacientes que presentan estas deficiencias son variadas, aparecen fundamentalmente en las etapas precoces de la vida. Estas involucran signos de intoxicación, con presentaciones agudas de intolerancia al alimento, falla hepática, signos de encefalopatía y afectación de la conciencia que puede progresar al estado de coma; las presentaciones crónicas suelen presentarse con retraso en el desarrollo y afectación severa en el sistema nervioso central (SNC) (Barrera et al., 2014; Kölker et al., 2015; Wasim et al., 2018). Dado que esta sintomatología es producto de la afectación en el metabolismo de los aminoácidos derivados de las proteínas de la dieta o del catabolismo endógeno, el manejo de estas patologías consiste principalmente en disminuir las concentraciones de los metabolitos acumulados mediante: 1) restricción del aporte diario de proteínas, 2) favorecimiento de la actividad residual de la proteína afectada, y 3) estimulación de vías alternas que permitan la formación de compuestos menos tóxicos y de fácil excreción urinaria (Barak et al., 2013; Rosales-Juárez et al., 2008).

Independiente de la estrategia terapéutica seleccionada, esta debe estar acompañada de un soporte nutricional que favorezca el estado anabólico y un adecuado desarrollo del individuo (Barrera et al., 2014). El tratamiento para estas patologías incluye como principal alternativa una modificación de la dieta que incluya restricción en la ingesta de alimentos fuentes de proteína natural, BP. Esta dieta debe incluir frutas, verduras, raíces, tubérculos, plátanos y sí se requiere el uso de fórmulas especiales constituidas por carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales y aminoácidos (exenta del aminoácido que no puede metabolizarse, la cual depende de la aminoacidopatía existente), de manera que permita garantizar los requerimientos de proteína propuestos para favorecer el anabolismo y el crecimiento (Häberle et al., 2012; Jurecki et al., 2019). Así mismo, es crucial alterar el curso natural de la enfermedad mediante el diagnóstico oportuno y acertado, que permiten la implementación del tratamiento correcto y el inicio de la dieta respectiva (MacDonald et al., 2012; Onyango et al., 2009).

2.4 Yuca

2.4.1 Descripción

La yuca (*Manihot esculenta crantz*) conocida también como *mandioca* o *cassava*, se encuentra ubicada en el orden *euphorbiales*, familia *euphorbiaceae*, tribu *manihotae* a la que pertenece el género *manihot* (Suarez & Mederos, 2010). Pertenece al reino vegetal, división *spermatophyta*, subdivisión *angiospermae* y a la clase *dicotiledoneae*. En 1766, se le destinó el nombre científico dado originalmente por el botánico Crantz. Posteriormente, fue clasificada en dos especies diferentes dependiendo si era yuca amarga (*m. utilissima*) o dulce (*m. aipi*). Consecutivamente, se propone que la especie *m. esculenta* sea dividida en tres subespecies: *m. esculenta*, *m. flavellifolia* y *m. peruviana*; sugiriendo que estas dos últimas subespecies son formas silvestres de la versión cultivada *m. esculenta* subespecie *esculenta* (Allem, 1995).

La yuca es un cultivo importante en países del continente asiático, africano y suramericano, principalmente por su participación en los sistemas agrícolas y por su aporte a la dieta de la población tanto humana como animal (CNP, 2016). Al ser un cultivo capaz de crecer en diferentes zonas geográficas, es uno de los productos tropicales más importantes, ya que es una buena fuente de carbohidratos que sirve como materia prima para la fabricación de otros productos y subproductos industriales y otros tipos de alimentos (Bajes, 1998). Es un cultivo de tierras tropicales bajas, propias de zonas de cultivo donde la pluviosidad sea mínima (500 mm) siempre y cuando se cuente con el agua suficiente en el momento de la siembra. Su producción se adapta a ecosistemas diferentes, como suelos ácidos e infértiles y tolera períodos largos de sequía (CNP, 2016). La adaptabilidad de la

yuca a diversas condiciones ambientales permite que se pueda producir en condiciones adversas y climas marginales, motivo por el cual, es considerado un alimento de “*reserva alimentaria*”, ya que se puede dejar varios meses en la tierra para que crezca durante las épocas de sequía (FAO, 1991). Debido a su elevada adaptabilidad, el cultivo de yuca predomina en pequeños agricultores con recursos limitados en suelos marginalmente fértiles (El-Sharkawy, 2004). En América Latina el 70 % de los agricultores que producen yuca poseen extensiones de tierra de menos de 20 ha y generan 60 % de la producción total de la región (CNP, 2016).

La yuca se utiliza en la alimentación humana y animal, tanto en forma fresca como procesada. Se distinguen dos variedades diferenciadas según el contenido de glucósido cianogénico (promotor de la formación de ácido cianhídrico) en las raíces. Por un lado, se encuentra la yuca amarga (*m. Palmata*), la cual se caracteriza por presentar niveles mucho más elevados de glucósidos cianogénicos, particularmente en las raíces y en la piel, motivo por el cual deben someterse a ciertos procesos de transformación (troceado, rallado, fermentado, prensado, secado al sol, entre otros) que permitan reducir la cantidad de estos, logrando que este alimento sea seguro para el consumo humano, ya que dichos compuestos le confieren un sabor rancio al alimento.

Por otro lado, se encuentra la variedad conocida como yuca dulce (*m. Esculenta*), la cual presenta bajos niveles de glucósidos cianogénicos, convirtiéndola en la yuca de mayor consumo, dado que su ingesta es segura luego de procesos de transformación como, por ejemplo, la cocción. Esta variedad es usada en procesos industriales de extracción de almidón donde el ácido cianhídrico es arrastrado en el agua de extracción (FAO, 1994). El almidón de yuca como materia prima se emplea en forma de aditivo, en diferentes tipos de alimentos procesados como salsas, sopas, rellenos de fruta, productos a base de crema, productos congelados, industria de etanol y edulcorantes. Adicionalmente, se utiliza en el desarrollo de textiles, papel, industria biotecnológica y bioplásticos (Pizarro et al., 2016).

2.4.2 Influencia económica

La yuca se considera como “*base de la vida tropical*”, por ser una importante fuente de alimentación. Es cultivada principalmente en zonas tropicales y subtropicales y por sus características agronómicas podría representar el futuro de la seguridad alimentaria en algunos países en vía de desarrollo (FAO, 1994). La yuca como el cuarto producto básico más importante después del arroz, trigo y maíz, es un componente básico en la dieta de más de 1000 millones de personas (FAO/FIDA, 2000), al producir más energía por hectárea que otros cultivos (Nyembwe et al., 2018), constituyendo una de las principales fuentes de energía en las regiones tropicales del mundo junto con el maíz y el azúcar (Ospina & Ceballos, 2002). Se caracteriza por tener una alta eficiencia en la producción de

carbohidratos en relación con los cereales y un alto porcentaje de almidón contenido en la MS (CNP, 2016). Se puede consumir de diversas maneras, como alimento fresco, procesado o bajo la forma de harinas y almidones (Medina & Martínez, 2018; Román et al., 2015). A nivel mundial, Nigeria es considerado el principal productor de yuca, con cerca de 50 millones de toneladas/anuales producidas, seguido por Tailandia y Brasil (Agronegocios, 2018;FAO, 2018) (Figura 1).

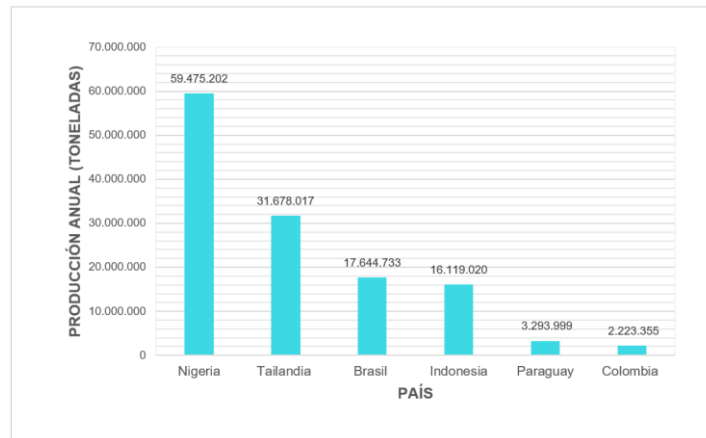


Figura 1. Principales productores de yuca a nivel mundial. Adaptado de FAO, 2018

Colombia es un país altamente productor de yuca, se produce en 25 departamentos y es el tubérculo de mayor dispersión geográfica, principalmente en cinco departamentos, entre los que se encuentran Bolívar, Córdoba, Arauca, Norte de Santander y Antioquia (Agronegocios, 2018). Actualmente, ocupa el tercer lugar (2,2 millones t/año) en producción en América Latina después de Brasil (21 millones t/año) y Paraguay (3,3 millones t/año) (Figura 1).

2.4.3 Composición

La raíz de yuca es un alimento que se destaca por su alta densidad energética, dado su alto contenido de carbohidratos los cuales constituyen de 32 – 35 % sobre la base del Peso Fresco (PF), de 80 – 90 % sobre la base de la Materia Seca (MS) (Nyembwe et al., 2018), y por sus bajas cantidades de vitaminas y proteínas (Ospina & Ceballos, 2002). Del 80 % de los carbohidratos contenidos corresponden a almidón (Gil & Buitrago, 2002), siendo en promedio un 83 % en forma de amilopectina y el 17 % en forma de amilosa (Rawel & Kroll, 2003). Tiene un alto contenido de agua, entre el 70 % al 80 % sobre PF, y azúcares como sacarosa, glucosa, fructosa y maltosa (Tewe & Lutaladio, 2004). Dependiendo de la variedad y la edad de la raíz se dispone el contenido de fibra, el cual es generalmente, 1,5 % en la raíz fresca y 4,0 % en la harina de raíz (Gil & Buitrago, 2002).

El contenido de proteínas se encuentra entre el 1,0 % y el 3,0 % sobre MS (Buitrago, 1990), y entre 0,4 y 1,5 g/100 g de PF (Bradbury & Holloway, 1989). Alrededor del 50 % de la proteína bruta de las raíces consiste en proteína entera y el otro 50 % corresponde a aminoácidos libres, y componentes no proteicos como nitrito, nitrato y compuestos cianogénicos (Montagnac et al., 2009). Contiene niveles muy bajos de aminoácidos esenciales, como la metionina, la cisteína y el triptófano (Gil & Buitrago, 2002), así como concentraciones bajas de isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina y valina (Jacquot, 1957). De manera similar, se encuentran el contenido de lípidos de las raíces de yuca, el cual oscila entre el 0,1 % y el 0,3 % sobre PF. Alrededor del 45 % de estos son no polares, y el 52 % corresponde a diferentes tipos de glucolípidos (Hudson & Ogunsua, 1974), de los cuales los diglicéridos de galactosa son los más predominantes (Gil & Buitrago, 2002). Dentro de los principales ácidos grasos contiene palmitato y oleato (Hudson & Ogunsua, 1974). Es así, que el contenido de proteínas y grasa en general es muy bajo, se estima aproximadamente entre 0 % al 2,0 % sobre MS (FAO, 1994).

Las raíces de yuca se destacan por disponer de cantidades relativamente altas de algunos nutrientes en comparación con otros cultivos básicos. Presentan un contenido importante de minerales, como potasio, calcio, sodio, fósforo, magnesio, zinc y manganeso, cantidades significativas de vitamina C, sin embargo, contiene cantidades inferiores de vitaminas del complejo B, como lo son Vitamina B1 (tiamina), B2 (riboflavina) y B3 (niacina) (Nyembwe et al., 2018). Pese a que la yuca contiene algunos compuestos que actúan como antioxidantes, compuestos bioactivos, contiene sin embargo, sustancias tóxicas que interfieren con la digestibilidad y la absorción de algunos nutrientes y pueden llegar a generar efectos secundarios tóxicos. Entre estos se encuentran el cianuro, los nitratos, el fitato (hexafosfato de inositol), oxalatos, ácidos fítics, polifenoles como taninos, catequinas (catequina, galato de catequina, galocatequina) y los glucósidos de flavona, antocianinas (cianidina y delfinidina), saponinas, inhibidores de tripsina, los cuales dependiendo de su cantidad y concentración pueden tener efectos positivos o adversos para la salud (Nyembwe et al., 2018), ya que pueden causar efectos nocivos cuando se superan estos límites de tolerancia dada su relación neurotóxica de algunos compuestos al igual que puede reducir e interferir en la absorción de micronutrientes como minerales y vitaminas.

2.4.4 Almidón

El almidón, es una sustancia de reserva dominante de la naturaleza que se encuentra en pequeños gránulos depositados en semillas como los cereales (arroz, trigo, etc.), legumbres (frijol, guisantes, etc.), raíces (yuca, arracacha, ñame, etc.) y tubérculos (batata, cubios, papa, etc.). Consiste en dos polímeros de D – glucosa que conforman los

gránulos de almidón. Por un lado, la amilosa, compuesta por unidades de glucosa no ramificadas, resultando en un polímero lineal de unidades alfa (1 – 4) y la amilopectina, compuesta por cadenas más cortas conectadas, convirtiéndose en un polímero ramificado de unidades alfa (1 – 4) y alfa (1 – 6). La amilosa y la amilopectina constituyen el 98 – 99 % de la MS del almidón, y lo restante representa proteínas, lípidos y minerales (Horstmann et al., 2017). Estos gránulos de almidón son redondos con terminaciones truncadas, núcleo bien definido, y un tamaño que se encuentra generalmente de 20 nm, no obstante, suele oscilar de 3 a 35 nm generalmente (Ospina & Ceballos, 2002).

Las moléculas de almidón cuando son sometidas a cambios de presión y temperatura sufren fenómenos físicos y químicos que le confieren determinadas características. Las más importantes para la elaboración de alimentos y la aplicación industrial incluyen las propiedades fisicoquímicas: gelatinización, gelificación y retrogradación (Figura 2); y las propiedades funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Figura 2).

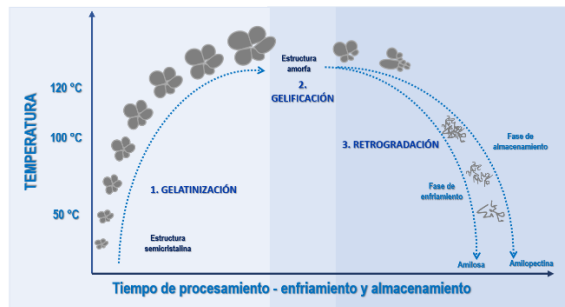


Figura 2. Fenómenos de gelatinización, gelificación y retrogradación del almidón. Adaptado de Horstmann et al., 2017.

En la gelatinización, los gránulos de almidón modifican su estructura original al someterse al calentamiento en agua que causa desenvolvimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina, generando ciertos cambios irreversibles como hinchazón granular, derretimiento de cristalina nativa, y pérdida de birrefringencia, entre otros. A esta temperatura en la que los gránulos de almidón comienzan a hincharse se conoce como temperatura de gelatinización. Tras esto aumenta la viscosidad del medio, producto de la lixiviación de la amilosa. Este fenómeno es una propiedad funcional clave de los gránulos de almidón que determina su uso en los alimentos (Horstmann et al., 2017).

Posterior a la gelatinización ocurre un fenómeno conocido como gelificación, en el cual ocurre la disolución del almidón, al someter el granulo a un calentamiento adicional que

ocasiona tras un hinchamiento máximo del gránulo, una dispersión de la amilosa, formando fragmentos de amilopectina que provocan la disminución y pérdida de la viscosidad del medio (Horstmann et al., 2017). La retrogradación, es la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa generalmente, posterior al calentamiento. Este genera aumento de la firmeza o dureza del almidón y otros efectos como aumento de la viscosidad, desarrollo de opacidad y turbidez, precipitación de partículas de almidón insolubles, formación de geles y sinéresis del agua de la pasta (Horstmann et al., 2017).

El almidón se separa mediante procesos específicos para cada materia prima (OMS, 1995), convirtiéndose en uno de los principales componentes de la yuca y de otras raíces y tubérculos (CNP, 2016). Su aplicación en la industria alimentaria se debe a su capacidad gelificante, espesante, adhesión, retención de humedad, estabilización, formación de películas y texturización de los ingredientes. Un ejemplo de esto, es en los productos GF, en el cual este almidón se incorpora a la formulación de alimentos para mejorar una o más de estas propiedades (Horstmann et al., 2017).

2.4.4.1 Almidón de Yuca

Este almidón se encuentra en forma de gránulos como un polímero semicristalino ubicuo, el cual se caracteriza por presentar una mayor viscosidad, mayor claridad y menores tasas de retrogradación en comparación con los almidones provenientes de cereales (Tappiban et al., 2020). Se denota que la variabilidad en el contenido de amilosa/amilopectina depende de la especie o genotipo analizada, lugar de origen, condiciones y edad del cultivo, condiciones de crecimiento e incluso por otros factores como el clima (Chisenga et al., 2020), siendo un aspecto significativo y relevante en el proceso de elaboración del pan. La yuca contiene un alto contenido de almidón, que oscila entre 65 – 91%, el cual varía entre las distintas zonas cultivadas (Tappiban et al., 2019). Por un lado, la diversidad de la composición de la amilosa como polímero es amplia se encuentra entre 17 – 27 % (Liu et al., 2019), con un promedio generalmente de 27 % (Vargas - Aguilar & Hernández-Villalobos, 2013), del cual aproximadamente el 40 % corresponde a amilosa soluble (Eliasson, 2004). Por otro lado, el contenido de amilopectina en el almidón de yuca se encuentra entre el 79,5 – 79,9 % del contenido total de almidón (Onitilo et al., 2007). Es así como esta estructura constituida por estos dos polímeros le confiere propiedades tecnológicas características, destacándose sobre otro tipo de materia prima para la preparación de diversos alimentos.

El contenido de proteína del almidón de yuca (0,10 %) es muy bajo comparado con el de los almidones de arroz y de maíz (0,43 – 0,35 %) respectivamente. La proteína residual

de los almidones puede dar un sabor harinoso y una tendencia a producir espuma. Así mismo, se destaca por contener, al igual que los almidones de la papa, un bajo porcentaje de sustancias grasas, comparado con los almidones de los cereales como maíz y arroz, los cuales contienen 0,60 % y 0,80 % respectivamente. Esta baja cantidad de compuestos grasos favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo con la amilosa generando que se reprima el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón, y por esta razón requieran de una temperatura mayor a los 125 °C, para poder romper la estructura amilosa – lípido y solubilizar la fracción de amilosa (Ospina & Ceballos, 2002). Así mismo, la expansión máxima de la masa de yuca se produce gracias al contenido adecuado de agua cuando la temperatura interna de la masa está cerca de la temperatura de fusión de 90 – 100 °C. Cuando esta temperatura es la misma que la de la evaporación del agua, la humedad de la masa es suficiente para iniciar la fuerza motriz, siendo esta una característica junto con la evaporación del agua y la viscosidad de la masa-miga las responsables de esta expansión celular (Mestres et al., 2001).

El almidón de yuca se puede presentar como almidón fermentado o almidón no fermentado. Por un lado, el almidón fermentado (AF) o almidón agrio, se somete a una etapa de fermentación, donde el proceso de obtención consiste en una serie de operaciones que, por vía húmeda, logra la extracción del almidón que contienen estas raíces, para posteriormente, ser sometido a una fermentación anaeróbica espontánea y, luego a un secado con luz solar. La producción de este almidón fermentado es realizada en varias partes del mundo desde el continente africano, para el uso en preparaciones autóctonas como “fufu” y “ébá” (masa de yuca elabora con harina a base de yuca conocida como “garrí”), y; hasta en América Latina, especialmente en Brasil, Colombia y Paraguay, donde es empleado en ciertos productos de panadería (Cadena et al., 2006). Especialmente en preparaciones de comidas tradicionales como la “paçoca de abendoim” , la harina de mandioca frita en la “feijoada”, “farinha”, “farofa” en Brasil; la “chipa”, el “mbeyú”, y la “empanada de yuca” en Paraguay; y el “pastel de yuca” o “carimañolas”, el “pandebono”, el “pandeyuca”, el “casabe”, y el “bollo” consumidos habitualmente en Colombia (Monthe et al., 2019). Cuando se extrae este almidón de genotipos cultivados en tierras altas tales como CM7138-7, Cumbre 3, SM707-17, SM1495-5, Tambo 4, se obtienen mejores características tras el proceso de panificación, dado a que se estos genotipos presentan valores promedio más altos de expansión del pan en comparación con los genotipos cultivados en tierras bajas (Maldonado et al., 2013). Adicionalmente, presentan un rendimiento elevado al ser empleado en formulaciones de pan GF dada su proporción relativamente alta de amilopectina en comparación con los almidones de cereales normales, convirtiéndose en la principal harina de productos GF en productos de panificación (Nyembwe et al., 2018). Por otro lado, el almidón no fermentado o nativo (AN), es aquel que no se ha sometido al proceso

de fermentación, juega igualmente un papel importante en las formulaciones de pan (Horstmann et al., 2017).

2.5 Panificación

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1363, el pan se define como *“producto alimenticio resultante de la fermentación y horneado de una mezcla básica de harina de trigo, agua, sal y levadura, que puede contener otros ingredientes, y/o aditivos permitidos por la legislación vigente”*. Dada su gran variedad, se clasifica según el sabor, textura y proceso de mezcla. Dentro de esta última forma de clasificación se encuentra el pan para regímenes especiales, el cual se refiere a aquellos panes elaborados o preparados especialmente para satisfacer necesidades particulares de la alimentación humana, por lo que su composición debe ser diferente de la usual de los panes comunes de naturaleza análoga, entre estos se desatacan panes multicereales, sin levadura, sin azúcar, integrales, bajos en grasa, entre otros (ICONTEC, 2005). Según la NTC 1363, para que un producto de panificación sea considerado como pan, debe cumplir con requisitos generales, específicos y microbiológicos que le permitan definirse como tal (ICONTEC, 2005).

La yuca como se mencionó previamente, está constituida de proteínas estructurales diferentes al gluten, pero al igual que el trigo, cada vez es más empleada en el desarrollo de productos de panificación como pan, tortas y bollos, los cuales son producidos principalmente en zonas rurales de Belice, Brasil, Colombia, República Dominicana, Guatemala, Haití, Honduras y Venezuela (FAO, 1999). Aunque esta raíz no contiene gluten, posee propiedades atractivas como una baja tendencia a la retrogradación del almidón, buena estabilidad, alta capacidad de unión al agua y buena resistencia adhesiva, que contribuyen a las propiedades de la mezcla de la masa y la calidad posterior de los productos de panificación como el pan (Chisenga et al., 2020).

Siendo así, la yuca tiene un gran potencial como alternativa más económica y sostenible a la harina de trigo en la producción de pan en América Latina (Jensen et al., 2015). En Colombia, tradicionalmente se utiliza el almidón fermentado de yuca para la preparación de productos panificados de alto consumo como “pastel de yuca” o “carimañolas”, “pandebono”, “pandeyuca”, “casabe”, entre otros (Chuzel G., 1990). Sobre la base de esta aplicación tradicional y teniendo en cuenta la dinámica actual del desarrollo y la alta producción de yuca en los países tropicales, el almidón fermentado de yuca se considera una matriz conveniente para el desarrollo del pan y los productos GF (Monthe et al., 2019).

Debido a que los productos de panificación GF horneados carecen de una matriz de gluten, se caracterizan por presentar una mala calidad tecnológica, como lo demuestra su bajo volumen específico y su alta dureza de las migas (Milde et al., 2020). Durante el desarrollo de productos de panificación GF, se emplea la matriz de almidón o harina, para lograr una imitación de las propiedades viscoelásticas del gluten, diferentes aditivos como emulsionantes, mejoradores, enzimas e hidrocoloides (Monthe et al., 2019). Específicamente, la adición de hidrocoloides se utiliza para mejorar las características reológicas de la masa GF, ya que estas moléculas imitan las propiedades viscoelásticas del gluten, y son esenciales para aumentar la retención de gas durante la prueba, horneado, y por lo tanto para aumentar el volumen específico del pan (Encina-Zelada et al., 2018).

Entre los hidrocoloides se encuentra la goma Xanthan o Xantana, un polisacárido producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Se emplea como aditivo natural en gran medida en la elaboración de pan GF, ya que puede hidratarse en agua fría y producir una solución viscosa, que en cantidades bajas tiene la capacidad de aumentar el volumen de pan, y mejorar las propiedades reológicas y sensoriales de este (Milde et al., 2020). La adición de esta goma en una matriz alimentaria se debe a sus propiedades como agente espesante, estabilizante y emulsionante. De modo que contribuye a obtener espumas estables a base de proteínas, con propiedades reológicas típicas de sólidos viscoelásticos, optimizando igualmente los atributos texturales y sensoriales de los productos de panificación (Milde et al., 2020), de modo, que su adecuada solubilidad y estabilidad la convierten en uno de los principales polímeros empleados de la industria alimentaria.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

3.1 Formulación del problema.

Las personas que padecen algún tipo de EIM de las proteínas o algún TRCG, deben cumplir con pautas específicas dadas por su médico tratante y nutricionista, con el fin de lograr un control metabólico adecuado. Esto puede en muchas ocasiones considerarse complejo, ya que el mínimo consumo o ingesta de altas proporciones de un aminoácido específico en un paciente con EIM o la mínima presencia de gluten y trazas de este en los alimentos consumidos por un paciente con intolerancia a este componente, pueden llevar a alteraciones de salud considerables, por no seguir adecuadamente dichas restricciones (Elli et al., 2019). Aquella complejidad, se ve incrementada debido a factores tales como el alto costo de las fórmulas especiales, limitada y escasa disponibilidad en el mercado de productos adecuados para su consumo y características organolépticas poco atractivas de aquellos pocos productos que se encuentran ofertados en el mercado (MacDonald et al., 2012). Todo esto conlleva a que los pacientes tengan poca adherencia a los tratamientos

nutricionales, dificultando tanto sus relaciones sociales cuando, su condición es visible para la sociedad, como la capacidad de tener una dieta variada y menos rutinaria (MacDonald et al., 2012).

A la fecha en Colombia, existen alimentos tanto apteicos como GF para personas con estas condiciones, sin embargo, éstos en su mayoría son productos importados, elaborados con materias primas de alto costo convirtiéndose en alimentos no tradicionales y fuera del alcance de su patrón alimentario, por lo que su acceso y variedad son limitados (Pérez et al., 2013). Sin embargo, se cuenta en Colombia con una gran diversidad de materias primas que merecen ser exploradas en el desarrollo de productos por sus características nutricionales y potencial tecnológico.

3.2 Justificación de la investigación

De acuerdo con lo indicado previamente, se ha prestado muy poca atención al uso de algunos alimentos que se producen en el país, panorama que no favorece al número importante de pacientes que tienen la necesidad de contar con sustitutos alimenticios BP y GF, los cuales les permitan por medio de una mayor oferta y variedad de productos, disponer de aquellos que sean apropiados y favorezcan el adecuado manejo de la enfermedad. Actualmente, dada la relevante relación entre salud y nutrición, se ha concedido una gran importancia, a ofrecer alimentos y productos que presenten determinadas modificaciones en su composición, ya sea por reducción, eliminación o adición de determinados nutrientes, de manera que le permita al consumidor disponer de los nutrientes que tolera, impida el desarrollo de ciertas carencias o deficiencias nutricionales y a modo de prevención, evitar el exceso de ciertos nutrientes que llegan a ser nocivos para la salud (Pérez et al., 2013). Los alimentos que se encuentran destinados a este tipo de población como pacientes con EIM de las proteínas y/o TRCG, requieren regímenes dietarios específicos, por lo que se consideran alimentos para dietas especiales, siendo estos ofrecidos justamente para satisfacer aquellas necesidades particulares determinadas por condiciones fisiológicas y/o enfermedades o trastornos específicos de alimentación de estos individuos (Pérez et al., 2013).

Como una alternativa a lo mencionado, la yuca, como raíz nativa de Colombia presenta un gran potencial como opción sostenible para la sustitución de materias primas convencionales, en especial en los productos de panificación, dada su accesibilidad, asequibilidad, versatilidad y practicidad gastronómica. De manera que, evaluar las diferentes presentaciones de yuca y su posible idoneidad para la sustitución parcial de la harina de trigo en la elaboración de productos de panificación es una razón poderosa por la cual se hace necesario evaluar su potencial. Por lo tanto, una evaluación positiva de la yuca en la

elaboración de estos productos alimentarios permite establecer una alternativa conveniente en la elaboración y fabricación de pan y alimentos horneados, dada sus características nutricionales y tecnológicas favorables (Eduardo et al., 2013). Así mismo, el uso de esta materia prima en procesos de transformación en productos terminados, podría contribuir con mejorar su valor en el mercado, fomentar su cultivo, reducir las importaciones de harina de trigo, y promover la producción de harina de yuca de alta calidad, al ofrecer un producto GF y desarrollar alimentos biofortificados y fortificados (Aristizábal et al., 2017), siendo óptimos para aquellos pacientes que requieren una dieta BP y/o GF.

De este modo, surge la alternativa de desarrollar este tipo de productos en nuestro país a partir de materias primas propias de la región, accesibles en nuestra canasta familiar, y de alto consumo al encontrarse las raíces y tubérculos como el segundo grupo de alimentos más consumido en la población colombiana (ICBF, 2015), brindando la posibilidad de profundizar en el desarrollo de productos de panadería a partir de la yuca, favoreciendo la seguridad alimentaria y nutricional tanto de campesinos productores de raíces y tubérculos, como a los pacientes que requieren una dieta BP y GF (Echeverry et al., 2016). Incluye pacientes con EIM de las proteínas, quienes padecen de algún TRCG u otras afecciones inflamatorias crónicas del tracto gastrointestinal, o quienes simplemente por razones de estilo de vida, desean una eliminación total del gluten de la dieta (Gobbetti et al., 2018; Villani et al., 2017; Wasim et al., 2018) ampliando las ofertas dietarias para este grupo de pacientes. Cabe resaltar que el tratamiento nutricional es un pilar fundamental para sobrellevar enfermedades relacionadas con el consumo de proteínas durante toda la vida, ya que por medio de un adecuado manejo nutricional se logra el control metabólico y se previenen consecuencias desfavorables de la enfermedad, mejorando así la calidad de vida del paciente y su familia.

Dentro del proyecto macro de investigación titulado *“Desarrollo de una premezcla a base de harina o almidón de yuca para la formulación de un producto alimenticio fortificado con uso potencial en el manejo nutricional de pacientes con errores innatos del metabolismo de las proteínas”*, identificado con el ID 00009021, bajo la coordinación de la profesora Angela Johana Espejo Mojica, se espera obtener y poder ofrecer un producto de panificación bajo en proteína y libre de gluten con características nutricionales, microbiológicas, organolépticas y sensoriales óptimas que contribuyan al cumplimiento de los requerimientos nutricionales de los pacientes con EIM de las proteínas, contribuyendo a que presenten un adecuado estado de salud, mejorando su calidad de vida.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuál es la formulación con inclusión de yuca que posee las mejores características nutricionales, microbiológicas, tecnológicas, organolépticas y sensoriales que permitan el desarrollo de un producto de panificación para uso potencial en el manejo nutricional de pacientes que llevan una dieta baja en proteína y libre de gluten?*

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Desarrollar un producto de panificación elaborado a partir de una premezcla a base de yuca con potencial uso en manejo nutricional de pacientes que llevan una dieta baja en proteína y libre de gluten.

4.2 Objetivos específicos

- Formular una premezcla base para la elaboración de un producto de panadería bajo en proteínas y libre de gluten con la inclusión de yuca fresca, harina, almidón nativo y almidón fermentado de yuca en diferentes proporciones.
- Elaborar un producto de panadería a partir de la premezcla desarrollada.
- Evaluar la composición nutricional, calidad microbiológica, propiedades texturales, propiedades organolépticas y sensoriales del producto desarrollado.

5. HIPÓTESIS

Se plantea que el producto de panificación fabricado con la formulación compuesta de yuca fresca, harina, almidón nativo y almidón fermentado de yuca presenta características nutricionales, tecnológicas, organolépticas y sensoriales similares a las de un pan comercial elaborado con harina de trigo convencional, convirtiéndose en un producto atractivo y de calidad para ser ofrecido como parte del manejo nutricional de pacientes que presentan una dieta BP y GF.

6. METODOLOGÍA

6.1 Diseño de la investigación

Para el desarrollo del producto se plantearon cuatro ingredientes o materias primas principales para elaborar las premezclas, almidón fermentado de yuca (AF), harina de yuca (HA), almidón nativo de yuca (AN) y como control harina de trigo (HT). Las formulaciones se plantearon de la siguiente forma: *F.1°: AF+HA; F.C.2°:AF, F.C.3°: AN y, F.C.4°: HT*, las cuales fueron distribuidas en diferentes proporciones para un total de seis formulaciones de premezclas diferentes (*F1.1°; F1.2°; F1.3°; F2.1°; F3.1° y, F4.1°*) (*Figura 3*).

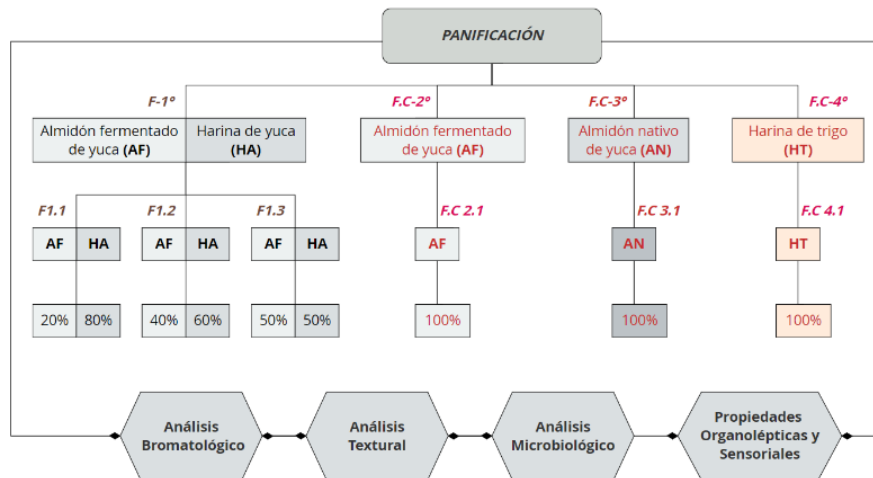


Figura 3. Esquema metodológico

Para cada una de las formulaciones de premezclas se evaluó la calidad de los productos desarrollados, y se determinó la formulación idónea y más completa que se acomode a las necesidades nutricionales y sensoriales de pacientes que llevan una dieta BP y GF.

6.1.1 Población de estudio y muestra

La población estudio del presente trabajo corresponde a las mezclas a base de yuca. Las materias primas como el AN, AF (variedad dulce, altitud alta, genotipo Cumbre 3) y HA (variedad dulce y genotipo HMC-1), fueron proporcionadas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), ubicado en el Km 17 vía Cali – Palmira (Valle del Cauca). Los demás ingredientes empleados en la preparación de los productos de panificación como HT, yuca fresca empleada para la elaboración de pure de yuca fresco, huevo, agua, aceite de oliva, goma xantana, sal y levadura se adquirieron en un almacén de gran superficie de la ciudad.

Para la elaboración del pure de yuca fresco se dispuso, una vez lavada, decortada y extraída la raíz de la yuca, en cocción por medio del método de hervido. Cuando se encontrase en punto de ebullición el agua, se adicionó la pulpa cortada en trozos de 2 cm de longitud y se cocinó durante 50 minutos aproximadamente para disponer de una cocción uniforme y completa de la misma. Posteriormente, a esta cocción se dispuso a extraer el agua, para convertir en pure la pulpa de yuca y ser esta adicionada en las cantidades y momento preciso en la premezcla N°2 (Figura 4), para la elaboración del pan.

6.1.2 Variables de estudio

Las variables estudiadas de la presente investigación se exponen en la *Tabla 1*. Por un lado, como variables independientes se encuentran el desarrollo de un producto de panificación bajo en proteína y libre de gluten con inclusión de harina y almidón fermentado de yuca, y, por otro lado, como variables dependientes se encuentran todos aquellos parámetros evaluados correspondientes al análisis químico, microbiológico, textural, y sensorial.

Tabla 1. Variables del estudio

Categoría	Variable	Definición de la variable	Unidad de medida	Naturaleza	Tipo de variable	
Inclusión de ingredientes	Porcentaje de almidón fermentado de yuca	Porcentaje de participación de almidón fermentado de yuca	Porcentaje	Cuantitativo	Continua	Independiente
	Porcentaje de almidón nativo de yuca	Porcentaje de participación de almidón nativo de yuca				
	Porcentaje de harina de yuca	Porcentaje de participación de harina de yuca				
Análisis Proximal	Humedad	Contenido de Humedad	Porcentaje	Cuantitativo	Continua	Dependiente
	Cenizas	Contenido de Cenizas				
	Grasa	Contenido de Grasa				
	Fibra Cruda	Contenido de Fibra Cruda				
	Proteína	Contenido de Proteína				
	Carbohidratos	Contenido de Carbohidratos				
Recuento de microorganismos	Recuento de mohos y levaduras	Cantidad de mohos y levaduras por gramo del alimento	Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/g	Cuantitativo	Continua	Dependiente
Propiedades texturales	Textura instrumental	Elasticidad	Adimensional	Cuantitativo	Continua	Dependiente
		Dureza	Newtons (N)			
		Masticabilidad	Newtons (N)			
		Cohesividad	Adimensional			
		Adhesividad	Joules (J)			
Atributos de calidad sensorial	Apariencia general	Nivel de aceptación de la apariencia general de las muestras del producto	Escala hedónica de 5 escalas	Cuantitativo	Ordinal	Dependiente
	Aroma	Nivel de aceptación del aroma de las muestras del producto				
	Sabor	Nivel de aceptación del sabor de las muestras del producto				
	Textura	Nivel de aceptación de la textura de las muestras del producto				
	Color	Nivel de aceptación del color de las muestras del producto				

Fuente: Autor

6.2. Métodos

6.2.1 Proceso de elaboración del producto de panificación

La formulación se estructuró basándose en las descripciones planteadas por Monthe et al., 2019. Las cantidades utilizadas se determinaron y fijaron a partir de ensayos preliminares para establecer el porcentaje de participación de cada uno de los ingredientes adicionados (*Tabla 2*). Para el desarrollo de los productos de panificación se realizó el procedimiento descrito en la *Figura 4*, y los resultados de la preparación se exponen en el *Anexo 1*.

Tabla 2. Porcentajes de proporción de ingredientes requeridos para la formulación de pan de yuca

Formulación		% Almidón fermentado de yuca	% Almidón nativo de yuca	% Harina de yuca	% Harina de trigo	% Pure de yuca	% Huevo	% Agua	% Aceite de oliva	% Goma xanthan	% Sal	% Levadura
F.1.1°	AF + HA	20	0	80	0	70	0	56	18	5	2	2,5
F.1.2°	AF + HA	40	0	60	0	70	0	56	18	5	2	2,5
F.1.3°	AF + HA	50	0	50	0	70	0	56	18	5	2	2,5
F.2°	AF	100	0	0	0	70	0	56	18	5	2	2,5
F.3°	AN	0	100	0	0	70	0	56	18	5	2	2,5
F.4°	HT	0	0	0	100	0	72	10	18	5	2	2,5

Fuente: Autor

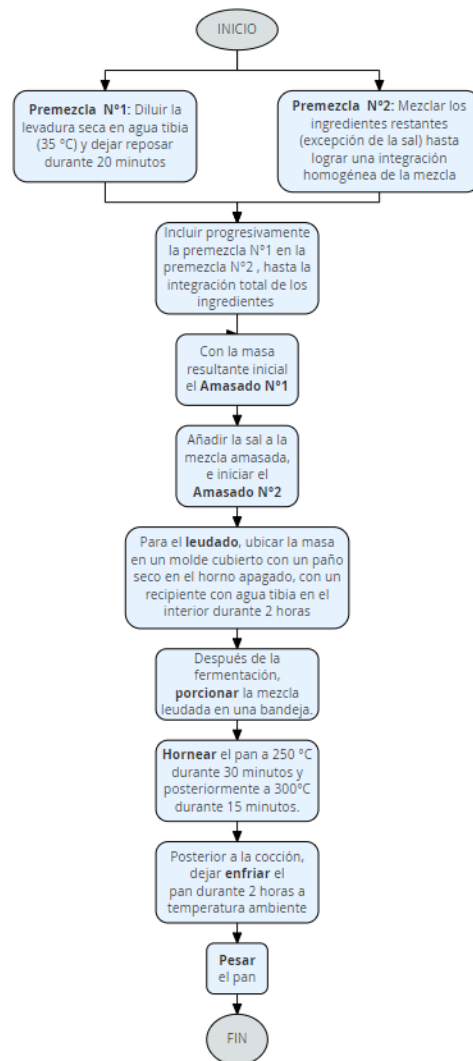


Figura 4. Proceso de elaboración del pan

6.2.2 Calidad Sanitaria

Durante la elaboración, desarrollo y evaluación de los productos de panificación se aplicaron las Buenas Prácticas de Manipulación de Alimentos (BPM), descritas en la normatividad nacional vigente, la Resolución 2674 de 2013, la cual establece los requisitos sanitarios que se deben adaptar al momento de fabricar, procesar y preparar alimentos y materias primas de alimentos de consumo humano (Ministerio de salud y protección social, 2013).

6.2.3 Análisis químico

Por medio del análisis bromatológico se realizó la determinación de humedad y cenizas y de cada uno de los macronutrientes (grasa, proteínas, carbohidratos - fibra) constituyentes de las seis formulaciones desarrolladas.

Para la determinación de humedad, se empleó un horno de convección forzada de 7,5 L BINDER GMBH & CO. INTERNATIONAL, por el método de la AOAC 7.003/84 y 930.15/90 (*Anexo 2*). Para las cenizas, fundamentado en la calcinación, se empleó una mufla análoga Vulcan TM. A-550 mediante el método de la AOAC 942.05 (*Anexo 3*). Para la grasa, se empleó un extractor de grasa LABCONCO ref. 3500100., por el método de la AOAC 920.39 y NTC 4709 (*Anexo 4*). Para la fibra cruda, fundamentada en el método de digestión, se empleó un extractor de fibra LABCONCO ref. 3000100., mediante el desarrollo del método de la AOAC 962.09. y NTC 5122 (*Anexo 5*). Para la proteína total, se consideró el fundamento de Kjeldahl, para el cual se empleó una unidad de destilación y titulación rápida VELD SCIENTIFICA, UDK169 Automatic, mediante el método de la AOAC 950.36 (*Anexo 6*), para el cual, se programó el método predefinido N°15: *Pan y productos de panificación.*, para análisis de las muestras, considerando los siguientes parámetros: Factor: 5.7, dilución de agua de 75 ml, Receptor: 30 ml, NaOH: 50 ml, y titulante: HCL a 0.1 N. Y para la determinación de los carbohidratos totales, se empleó el método diferencial.

Así mismo, se consideraron las recomendaciones de energía y nutrientes para la población colombiana (RIEN), guías de manejo nutricional para pacientes con EIM, y la normatividad vigente, la Resolución 5109 de 2005, la cual indica los requisitos que deben cumplir los rótulos o etiquetas de los envases o empaques de alimentos para consumo humano (Ministerio de la Protección Social, 2005) y la Resolución 333 de 2011, donde se reglamentan las declaraciones nutricionales, propiedades nutricionales, propiedades de salud, y de otras funciones de los productos aptos para el consumo humano (Ministerio de la protección social, 2011) para el cual se desarrolló una propuesta modelo de rotulado general y nutricional del producto desarrollado.

6.2.4 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico de los productos se realizó en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de la Pontificia Universidad Javeriana. Para el análisis se pesaron 10 g de cada formulación de pan y se homogenizaron en agua peptonada 1 % (3M™ Buffered Peptone Water Broth ISO). A partir del homogenizado de cada muestra se realizaron diluciones seriadas 1:10¹, 1:10² y 1:10³, y se dispensaron 1 ml de muestra en placas petrifilm (3M™ Petrifilm™). Se incubaron las placas a 25 °C durante cinco días en una incubadora de 150 L (MRC, Laboratory Instruments, ref. DNI-150). El recuento de mohos y levaduras se expresó como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) sobre gramo (g) de los productos terminados, según la NTC – 1363.

6.2.5 Análisis textural

El Análisis de Perfil de Textura (TPA) (Güemes-Vera et al., 2005), se realizó por medio de un texturómetro (TVT 6700), para el cual se dispuso de una geométrica de cilindro de aluminio de 36 mm de diámetro, una velocidad inicial de 5 mm/s, una velocidad de prueba de 2 mm/s, y una velocidad de retracción de 5 mm/s. La compresión utilizada fue de 50 % con un tiempo entre los ciclos de compresión de 10 s. Para realizar el análisis textural o TPA se tomaron 4 muestras de las 6 formulaciones planteadas del producto de panificación, para un total de 24 muestras. Se usaron 20 g de cada muestra y se tomaron 18 h después de la cocción de cada una ellas. Esta prueba se realizó con el producto sometido en un horno de convección forzada de 7,5 L (Binder GmbH & Co. International, Tuttlingen, Alemania), a una temperatura de 50 °C durante 10 minutos, para simular la temperatura en la que se suele consumir el producto fresco.

6.2.6 Análisis sensorial

Se desarrolló en el Laboratorio de Alimentos de la Pontificia Universidad Javeriana, donde con pruebas afectivas, aplicadas a panelistas (n=11), los cuales fueron escogidos de población general adulta no entrenada, dando a conocer esta por medio de la invitación presentada (*Anexo 11*). Por medio de las pruebas escalares se estableció el nivel de satisfacción que el cliente refiere frente al producto y/o la actitud que tenga frente a éste. Estas incluyen pruebas de aceptabilidad y preferencia en donde se evaluaron aspectos de apariencia general, aroma, sabor, textura y color, para conocer la preferencia y aceptabilidad del consumidor frente al producto. Se les presentó el consentimiento informado para la participación voluntaria de dicha actividad (*Anexo 12*) y se hizo entrega de un formato para que de manera escrita los panelistas indicaran su puntuación de evaluación frente a las características organolépticas evaluadas (*Anexo 13*).

Para esta evaluación se consideraron todas las medidas de bioseguridad, las cuales incluyen: uso de tapabocas, distanciamiento entre las personas, aplicación de gel antibacterial, lavado frecuente de manos. Así mismo, se hizo uso de utensilios desechables de un solo uso.

Para esta prueba se ofreció una muestra de 12 g de cada una de estas cuatro formulaciones: *F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°* y *F.C.4°*, las cuales fueron asignadas con un número aleatorio de tres dígitos para su identificación. A cada característica organoléptica se le asignó una calificación de 5 puntos: “*me gusta mucho*” (5), “*me gusta*” (4), “*ni me gusta ni me disgusta*” (3), “*me disgusta*” (2) y “*me disgusta mucho*” (1).

6.2 Recolección de información

Para el desarrollo del análisis sensorial se emplearon dos formatos en los cuales los panelistas podían indicar por medio de una evaluación la aceptación y preferencia de las muestras evaluadas (*Anexo 13*).

6.3 Análisis de información

Las mediciones para el registro de los datos se realizaron por triplicado. Para el análisis de los resultados se usó el software estadístico IBM SPSS Statistics. Se determinó la significancia estadística de las diferencias entre las medias de las muestras mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza $\alpha = 0.05$ y el método de comparaciones múltiples de Tukey. Para el análisis sensorial, se empleó la una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (*Ecuación 1*).

$$H = \frac{12}{N(N + 1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N + 1)$$

Ecuación 1. Prueba de Kruskal Wallis

7. RESULTADOS

7.1 Análisis químico

Para el desarrollo del análisis proximal de la determinación de las proteínas, como resultado adicional al trabajo, se creó una “*Guía de análisis proximal para determinación de proteína*”, para el manejo del equipo de proteína. Esta guía permanecerá a disposición del Laboratorio de Bioquímica de Alimentos de la PUJ para facilitar la aplicación práctica de este análisis por los estudiantes de pregrado y posgrado de la Facultad de Ciencias (*Anexo 8*).

Se describe la composición de macronutrientes de cada una de las formulaciones (Tabla 3). Al realizar el análisis estadístico se observó que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre las muestras en todos los parámetros nutricionales evaluados.

Tabla 3. Porcentajes de composición de las formulaciones de pan

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa(%)	Fibra(%)	Proteína(%)	CHOs (%)
F.1.1°	34,60	3,88	1,73	0,00	0,18	61,59
F.1.2°	39,65	2,07	2,63	0,00	0,09	57,39
F.1.3°	38,71	1,78	1,30	0,00	0,03	59,29
F.2°	33,93	0,63	1,83	0,00	0,08	64,63
F.3°	35,06	0,73	2,67	0,00	0,09	63,00
F.4°	19,63	2,49	7,65	0,00	0,35	76,51

Fuente: Autor

De acuerdo con las RIEN, guías de manejo nutricional para pacientes con EIM, y la normatividad vigente Resolución 5109 de 2005 y Resolución 333 de 2011 se propone un modelo de rotulado general y rotulado nutricional del producto construido a partir del análisis proximal desarrollado y la información dispuesta en la Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (TCAC), 2018 correspondientes a la formulación F.1.3° (HA (50%) + AF (50%)), los cuales se exponen en el Anexo 9 y Anexo 10 respectivamente.

7.2 Análisis microbiológico

Al realizar el recuento de mohos y levaduras de cada una de las muestras de las seis formulaciones desarrolladas, en su interpretación no se evidenció crecimiento de estos microorganismos, en ninguna de las diluciones realizadas (Tabla 4, Anexo 7). Es así como al no evidenciar ninguna colonia en las placas correspondientes a la dilución más concentrada (10^{-1}) se informa el recuento menor a 10 UFC/g (< 10 UFC/g).

Tabla 4. Recuento de microorganismos de cada una de las muestras de pan

Muestra		Recuento de Hongos y Levaduras (UFC/g)		
Composición		10 (-1)	10 (-2)	10 (-3)
F.1.1°	AF + HA	<10	<10	<10
F.1.2°	AF + HA	<10	<10	<10
F.1.3°	AF + HA	<10	<10	<10
F.2°	AF	<10	<10	<10
F.3°	AN	<10	<10	<10
F.4°	HT	<10	<10	<10

Fuente: Autor

7.3 Análisis textural

Se sometieron al TPA cuatro muestras de cada formulación. Los datos obtenidos en esta prueba fueron sometidos a un análisis estadístico aplicando la prueba de Tukey, y se encontró que, los parámetros texturales de dureza, adhesividad, masticabilidad y cohesividad tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre seis formulaciones desarrolladas, como se muestra en la *Figura 5* respectivamente, contrario al parámetro de elasticidad, el cual fue el mismo en todas las formulaciones (datos no mostrados).

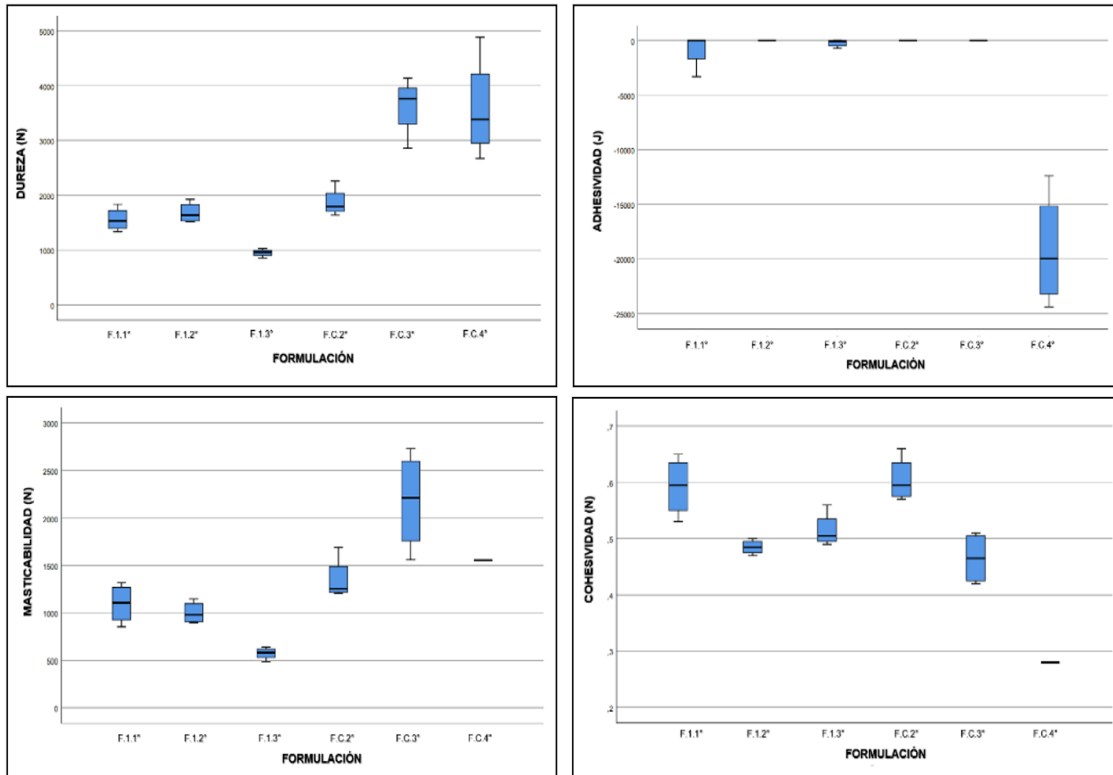


Figura 5. Propiedades texturales de Dureza (N), Adhesividad (J), Masticabilidad (N), y Cohesividad de cada una de las formulaciones de pan.

7.4 Análisis sensorial

Los productos de panificación obtenidos a partir de las formulaciones planteadas fueron sometidos a una prueba sensorial de aceptabilidad, donde se calcularon las medianas de cada uno de los cinco atributos evaluados por parte de los panelistas. Los atributos evaluados por los panelistas para cada una de las muestras fueron: apariencia general, aroma, textura, sabor y color, y sus respectivas puntuaciones se exponen en la *Figura 6*. El análisis estadístico se realizó aplicando la prueba de Kruskal Wallis, mostrando que la apariencia general y el color del producto, presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$), mientras que los atributos de aroma, textura, y sabor fueron los parámetros que no mostraron diferencia estadísticamente significativa.

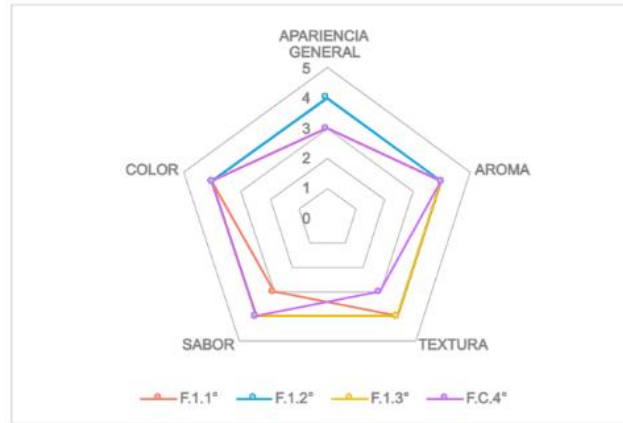


Figura 6. Puntuación de los atributos sensoriales (Apariencia, Aroma, Textura, Sabor y Color) de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).

Se aplicó una prueba sensorial de preferencia entre las cuatro formulaciones, se tabularon los resultados y se expresaron como el porcentaje correspondiente para cada formulación. De esta forma, la formulación F.1.3° no mostró ninguna puntuación de disgusto (Figura 7).

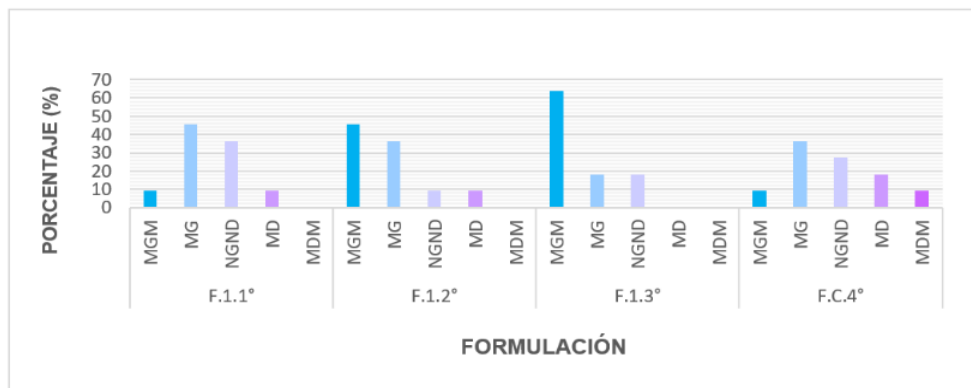


Figura 7. Nivel de preferencia según la escala de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).

*MGM (Me gusta mucho), MG (Me gusta), NN (Ni me gusta ni me disgusta), MD (Me disgusta), MDM (Me disgusta mucho).

Para concretar la puntuación, se indicó a los panelistas que señalaran una de las cuatro muestras degustadas sobre la cual tuviera su total preferencia, y como resultado se evidenció que la mayor preferencia por parte de los panelistas fue para las formulaciones a base de yuca, F.1.2° y F.1.3°, siendo esta última la que presentó mayor preferencia (45,5%), de la cual se destaca su composición de HA (50%) + AF (50%) (Figura 8).

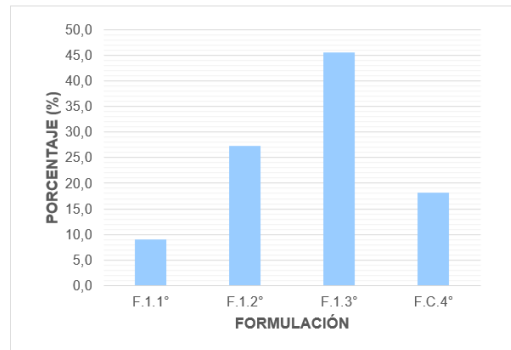


Figura 8. Nivel de preferencia general de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).

Considerando la muestra elegida en la prueba anterior, se planteó a los panelistas si ellos comprarían dicho producto si este se encontrara a la venta. Todas las muestras (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°) presentaron una elección positiva de compra del producto. La formulación F.C.4° obtuvo un porcentaje equivalente (9,1%) entre la elección de compra y no compra. Y aunque la formulación F.1.3° obtuvo un 45,5% de elección de compra, obtuvo igualmente un 9,1% de elección por la no compra. Las muestras que presentaron mayor opción de compra fueron las muestras F.1.2° y F.1.3° con un 27 % y 45,5 % respectivamente, las cuales presentan más proporción de AF (Figura 9).

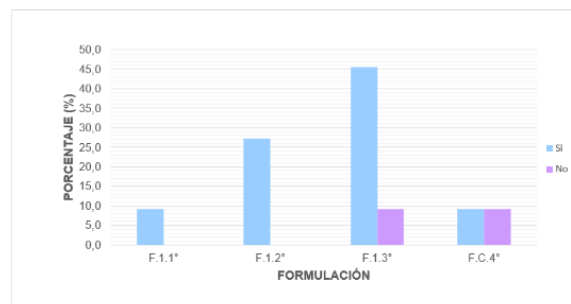


Figura 9. Elección de compra hipotético de cuatro formulaciones de pan (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°, F.C.4°).

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Análisis químico

Se contrarrestan los datos obtenidos frente a lo reportado para productos tradicionales a base de yuca como “garrí” que como harina de yuca se emplea para la elaboración de un producto autóctono africano conocido como “ébá” y el “casabe” de Latinoamérica respectivamente. De acuerdo con el análisis proximal (Tabla 3), el contenido de humedad de las premezclas desarrolladas a partir de HA+AF (F.1.1°, F.1.2°, F.1.3°) fue de 33,93 – 39,65 %, siendo inferior frente F.C.4°(HT). Sin embargo, este contenido es

superior al 23,5 % indicado para un “pandeyuca” tradicional (ICBF, 2018). Esto puede atribuirse a la proporción del contenido de puré de yuca fresco el cual aporta humedad a la preparación.

Los productos de las premezclas desarrolladas a partir de HA+AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*) obtuvieron cantidades de proteína muy bajas, entre 0,03 % y 0,18 %, las cuales se asemejan más al contenido reportado para el “garrí” de 0,44% (Oluba et al., 2018), sin embargo, son valores inferiores a lo reportado en las raíces como la yuca que presentan 0,5 % - 0,9 % contenido de proteínas totales (ICBF, 2018), justamente caracterizándose esta raíz por su bajo contenido de proteínas (Pérez et al., 2013). El contenido de grasa que se reporta proviene al aceite de oliva extra-virgen empleado en todas las formulaciones, contenido que corresponde únicamente a ácidos grasos monoinsaturados, que al oscilar entre 1,30 % - 2,67 % supera el contenido de grasa total de 0,8 % del “casabe” (Pérez et al., 2013) y el 0,92 % del “garrí” (Oluba et al., 2018). De manera que se destaca un menor contenido de proteína y de grasa frente al de un “pandeyuca” tradicional, correspondiente a 15,6 % y 12,2 % respectivamente (ICBF, 2018). Contrario a esto *F.C.4°(HT)* presentó niveles de proteína y grasa mayores a 0,35 % y 7,65 % respectivamente, en el cual influyó en esta proporción obtenida la composición la inclusión del huevo de gallina propio de esta formulación (*Tabla 3*).

En cuanto al contenido de carbohidratos, los valores encontrados oscilaron entre 57,39 % - 64,63 % para las formulaciones a partir de HA+AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), las cuales presentan un contenido inferior frente a lo reportado para el “casabe” de 77,40 % (Pérez et al., 2013) y para el “garrí” de 85,40 % (Oluba et al., 2018). Sin embargo, la formulación que más se asemejó a los valores elevados del “casabe”, correspondió a aquellas que se constituían de un 100 % de almidón de yuca: *F.C.2°(AF)* y *F.C.3°(AN)*, relacionado, ya que el casabe está compuesto por almidón de yuca 100 % (Pérez et al., 2013). De modo, que presentó un mayor contenido frente a lo reportado para un “pandeyuca” tradicional de 45,5 % (ICBF, 2018). Adicionalmente, se estableció que el contenido de fibra cruda fue nulo en todas las formulaciones, contenido semejante al indicado para un “pandeyuca” tradicional de 0 % (ICBF, 2018). Para las formulaciones de HA+AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*) se debe a que la pulpa de yuca empleada en la extracción de AF y HA en su composición no se destaca por el aporte de este nutriente, y para *F.C.4°(HT)*, porque para la formulación se empleó una harina de trigo refinada, motivo por el cual se esperaban resultados bajos. En el *Anexo 5* se evidencia que, durante el análisis de determinación de este nutriente, fue mínimo en todas las muestras, pese a que *F.C.4°(HT)* fue la que mayor cantidad de fibra visiblemente brindó, en comparación a las demás formulaciones que se constituían de yuca. Sin embargo, la cantidad de fibra en la totalidad de las formulaciones

fue inferior al presentado para “garrí” de 2,6 % (Oluba et al., 2018), y para el “casabe” de 13,8 % (Pérez et al., 2013).

Por otro lado, los micronutrientes se evidencian en el contenido de cenizas, los cuales presentaron valores de 0,63 % - 3,88 %, los cuales se encuentran acordes y semejantes al reportado para el “garrí” de 1,19 % (Oluba et al., 2018), para el “casabe” de 1,8 % (Pérez et al., 2013) y para el contenido de un “pandeyuca” tradicional de 3,0 % (ICBF, 2018). Sin embargo, para mejorar el contenido de estas en el producto se pueden desarrollar algunas estrategias como la fortificación o la biofortificación del producto lo cual permitirá aumentar el contenido de nutrientes esenciales que puede contrarrestar la deficiencia de micronutrientes que se presenta en la población.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las premezclas propuestas responden bromatológicamente como alternativa para el desarrollo de productos especiales, al presentar BP, además, al ser un producto a base de yuca puede ofrecerse como una alternativa alimentaria para las personas con algún tipo de EIM y/o TRCG que requieren un producto con estas características al ser GF (Aristizábal et al., 2017).

8.2 Análisis microbiológico

Se puede evidenciar en la *Tabla 4*, que todos los productos de panificación de las formulaciones realizadas cumplen con la normatividad vigente para el desarrollo de estos. De acuerdo con la NTC - 1363, los requisitos microbiológicos en pan para los agentes microbianos mohos y levaduras (UFC/g) son los parámetros que se exigen para los panes sin relleno. De acuerdo con esta norma, es aceptable cuando se presenta máximo en una de las tres muestras analizadas un rango mínimo de 10^2 UFC/g y un rango máximo de 10^3 UFC/g. En este caso los resultados de calidad son aceptables ya que se obtuvo en la totalidad de las muestras desarrolladas valores <10 UFC/g en todas las diluciones (*Anexo 7*). De esta manera, se corrobora que los productos de panificación se realizaron en condiciones adecuadas de higiene y calidad sanitaria, resultado de la aplicación de las BPM durante todo el proceso de fabricación y análisis.

8.3 Análisis textural

Dentro del grupo de genotipos de yuca que presentan un contenido alto de amilosa se encuentran HMC-1 y CM4574-7, los cuales cuentan con un contenido que no favorece la capacidad de panificación de las formulaciones desarrolladas al ser de 21,60 y 21,70 % respectivamente. Los genotipos que presentan una cantidad intermedia son CM6438-14, CM7436-7, CM7438-14, SM1498-4a, CM7138-7, SM7591-5 y SM1058-13, los cuales se varían desde 17,60 % al 20,10 %, y dentro de los genotipos que presentan contenido bajo

de amilosa se encuentra Cumbre 3, SM707-17, SM1495-5 y Tambo 4, los cuales oscilan entre 15,70 % y 16,70 %. Caracterizándose estos últimos por su alta capacidad de panificación (Maldonado et al., 2013).

La variedad de HA empleada para las formulaciones al ser de HMC-1, se caracteriza por presentar una reducida aplicación en el desarrollo de productos de panificación contrario a la variedad de genotipo de yuca Cumbre 3, cultivada en tierras altas, la cual fue empleada para la extracción del AN y AF utilizada en el desarrollo de las formulaciones. Este último genotipo al someterse a fermentación y secado al sol, provoca su despolimerización y degradación macromolecular, generando una mayor capacidad para capturar gases y expandirse durante la cocción, convirtiéndose este proceso en una característica importante para diferentes productos de panificación (Franco et al., 2010; Maldonado et al., 2013). Cabe resaltar que se desconocía el genotipo de la yuca que se empleó para la elaboración del pure de yuca fresco en las formulaciones de los panes, ya que fueron adquiridos en un supermercado específico de frutas y verduras. Si se hubiesen realizado las formulaciones de los productos (AF, AN, HA y yuca fresca) con materias primas del genotipo Cumbre 3, se hubiesen podido obtener resultados texturales más favorables de acuerdo con lo mencionado por Maldonado et al., (2013). Por lo tanto, este genotipo Cumbre 3, al ser de tierras altas y al presentar un menor contenido de amilosa, es posible que pueda contribuir a la capacidad de panificación relacionado con la formación de menos complejos amilosa-lípidos (Maldonado et al., 2013), que responde a los resultados obtenidos en composición de grasa de las muestras.

El análisis de las propiedades texturales mostró una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de yuca. Sin embargo, la formulación *F.C.4°(HT)*, presentó parámetros de adhesividad y masticabilidad completamente distintos a las demás formulaciones desarrolladas a base de yuca (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*, *F.C.2°*, *F.C.3°*). Las muestras constituidas por HA+AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), presentaron niveles de dureza similares, donde específicamente la *F.1.3°* (muestra preferida por los panelistas), presentó el menor nivel de dureza, en relación con todas las muestras. Así mismo, *F.C.3°(AN)* y *F.C.4°(HT)*, presentaron valores superiores y semejantes entre sí siendo este parámetro de dureza o firmeza de la miga, un atributo clave en los productos horneados, ya que está fuertemente asociada con la percepción de los consumidores sobre la frescura del pan (Monthe et al., 2019).

Por otro lado, la adhesividad fue semejante entre las muestras constituidas por HA+AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), y en contraste la *F.C.4°(HT)* obtuvo los valores más distantes frente a las demás. La cohesividad al ser la fuerza de los lazos internos de la miga de pan (Monthe et al., 2019), resultó ser semejante en las formulaciones que presentan AF (*F.1.1°*,

F.1.2°, *F.1.3°*, *F.C.2°*), ya que las que poseían HA+AF presentaron mejores resultados siendo estos superados por *F.C.2°* (AF) y *F.C.4°* (HT), siendo esta última la que obtuvo el menor valor de esta propiedad textural. Justamente, esto se relaciona con la propiedad de masticabilidad, la cual fue mayor en aquella formulación que se constituía de AF (*F.C.2°*), seguido de las formulaciones que se componían de AN (*F.C.3°*) y HT (*F.C.4°*). Resultando favorablemente que las formulaciones que presentaron menor nivel de masticabilidad fueron aquellas que se prefirieron por parte de los panelistas, es decir, HA + AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*).

Todas las muestras a base de yuca (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*, *F.C.2°*, *F.C.3°*) presentaron valores de adhesividad iguales, mientras, que la formulación de HT (*F.C.4°*) presentó el valor más negativo de adhesividad. Igualmente, la elasticidad con un valor de 1 resultó ser la misma en todas las muestras analizadas. Se incluyeron formulaciones con diferentes proporciones de AF desde 20 % - 50 %, ya que al aumentar la proporción de AF en la formulación se incrementa la capacidad de hinchazón de la harina compuesta, generalmente con inclusiones del 70 % - 78 % ya que superando este rango disminuye considerablemente la elasticidad (Monthe et al., 2019). Es clave el AF en la expansión del pan, ya que la proporción de yuca fermentada parece ser responsable de la expansión de la masa, justamente con la adición de este, los panes GF a base de almidón alcanzaron valores más altos, resultando en una mejor expansión de la masa (Monthe et al., 2019).

La consistencia de la masa está relacionada positivamente con el contenido de gluten, debido a que este es, en gran parte, responsable de la estructura de la masa y la fuerza (Chisenga et al., 2020). La consistencia de la masa se relaciona positivamente con el contenido de proteínas, lo cual indica que la masa fuerte y alta depende del alto contenido de gluten. La consistencia de la masa se relacionaba negativamente con el tamaño de las partículas de harina, lo que implicaba que las masas con partículas más pequeñas tenían mayor consistencia que las masas hechas con harina de mayor tamaño de partícula (Chisenga et al., 2020). Para la fabricación de pan, el AF contribuye con su capacidad de hincharse, pero es menos estable al calor y tiene una alta tendencia a la retrogradación, lo que da lugar a una baja estabilidad durante la conservación del pan (Monthe et al., 2019). De esta forma, al obtener un producto GF, este no cuenta con las proteínas que le den la funcionalidad del gluten de trigo, para que contribuya con producir una estructura de masa cohesiva. Es así como para la obtención de estos productos de panificación se empleó la goma Xanthan como aditivo, de tal forma que actuará como aglutinante, los resultados evidencian que esta mejoró el manejo de la masa y las propiedades físicas y texturales del producto final, especialmente de aquellos que presentaban una alta proporción de AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*) (Milde et al., 2020).

8.4 Análisis sensorial

El análisis sensorial se utilizó para contrastar los atributos descritos previamente en los métodos y conocer si se resaltaba la diferencia para la elección de las preferencias entre las tres formulaciones que contenían HA y AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), y la muestra cuya formulación era a base de HT (*F.C.4°*), dado a que los productos GF a menudo se comparan con los productos tradicionales a base de trigo, estos últimos considerados como las normas de oro (de Kock & Magano, 2020).

Los productos en su totalidad presentaron atributos de color y aroma aceptables y comunes. Justamente, el aroma de las formulaciones a base de HA + AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), presentaba un aroma similar al de queso, el cual según la *Figura 6*, resalta este atributo de aceptación y agrado en la totalidad de las formulaciones. Este atributo está relacionado con la presencia de las especies *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus fermentum*, los cuales son microorganismos dominantes en la fermentación del almidón de yuca (Lacerda et al., 2005).

Así mismo, las muestras a base de HA + AF (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), presentaron mejor aceptación de la apariencia general y la textura frente a la de HT (*F.C.4°*). Al ser los atributos de apariencia general, aroma y textura parámetros destacados por su aceptación, y teniendo en cuenta que al momento de consumir un producto de panificación, específicamente productos derivados de la yuca estas son propiedades organolépticas relevantes y determinantes críticos de la selección de estos (de Kock & Magano, 2020; Rico-Fontalvo & Peralta-Miranda, 2020), se presenta así una buena oportunidad de preferencia de los productos desarrollados.

Características como el precio y el empaque, influyen al momento de la selección del producto por parte del consumidor, en especial al ser un producto derivado de yuca (de Kock & Magano, 2020; Rico-Fontalvo & Peralta-Miranda, 2020). De este modo, al emplearse en el desarrollo del producto de panificación a base de yuca, como raíz nativa, asequible y accesible para nuestra población colombiana (fácil acceso y costo viable), se proyecta una facilidad de compra e interés por la misma en el momento de reconocer el producto en el mercado. Así mismo, la mayoría de los consumidores refieren frente a los productos derivados de yuca que no reconocen la existencia de marcas de productos que presenten esta raíz como materia prima principal del producto, y ninguna que tuviera el etiquetado nutricional del producto (Rico-Fontalvo & Peralta-Miranda, 2020), motivo por el cual se propone un modelo de rotulado general y nutricional, para exponer las generalidades y características del producto (*Anexo 9*), al igual que la información nutricional (*Anexo 10*), siendo estos aspectos relevantes al momento de comprar un producto, justamente por la

relevancia que se ha otorgado al reconocimiento nutricional del producto por cuestiones de cuidado de salud y prevención de la enfermedad en los últimos años.

Pese a que todas las formulaciones presentaron una posible compra por parte de los panelistas, como se muestra en la *Figura 9*, la formulación que más se compraría sería la *F.1.3° (HA (50%) + AF (50%))*, con un 45,5 % de preferencia, siendo éste el mayor porcentaje de todas las formulaciones del producto (*Figura 8*). Así mismo, esta formulación fue la que presentó menor valor de dureza y, masticabilidad, así como un valor mediano de cohesividad (*Figura 5*).

9. CONCLUSIONES

- ❖ La composición nutricional de humedad, cenizas, grasa, proteína y carbohidratos tuvo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las seis formulaciones desarrolladas, en donde el único nutriente que no presentó diferencias coincidió con el 0% de aporte de fibra cruda de las seis formulaciones.
- ❖ Los valores de carbohidratos fueron diferentes al del “casabe” y del “garrí”, aunque el contenido de grasa, fibra y proteína fueron bastante similares a los del producto “garrí”, mientras que el único valor que coincidió fue el de cenizas tanto del “casabe” como del “garrí”. Mientras que el contenido de grasa y proteína fue inferior al presentado en un pandeyuca tradicional.
- ❖ La calidad microbiológica de todos los productos fue aceptable ya que los recuentos de los microorganismos evaluados se encuentran dentro de los parámetros de calidad exigidos en la normatividad vigente para este tipo de producto.
- ❖ Las propiedades texturales de las formulaciones planteadas presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en cuanto a dureza, adhesividad, cohesividad y masticabilidad evaluadas, a excepción de la elasticidad que no presentó diferencias entre las muestras, ya que fue la misma para todas las formulaciones.
- ❖ En cuanto a las propiedades organolépticas de los productos, se destacaron las muestras de HA y AF, por presentar un aroma, textura, y sabor, aceptables; mientras que atributos de apariencia general y color presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Sin embargo, el producto que presentó mayor aceptabilidad en cuanto a preferencia, atributos y selección de comprar fue la formulación *F.1.3°* seguido de *F.1.2°*.
- ❖ Se considera la premezcla *F.1.3° (HA (50%) + AF (50%))* al ser la más aceptada desde el punto de vista sensorial, como la adecuada para el desarrollo del producto de panificación, sobre la cual se pueden realizar reformulaciones y mejorar aquellos atributos con inclusión de otros ingredientes al igual de la fortificación de micronutrientes para mejorar tanto la calidad nutricional como la calidad organoléptica y sensorial. Pese a que presentó

diferencias significativas frente a las otras formulaciones en contenido de proteína, y lípidos al reflejar un más bajo contenido de estos nutrientes.

- ❖ Las formulaciones desarrolladas a base de yuca (*F.1.1°*, *F.1.2°*, *F.1.3°*), especialmente *F.1.3°* compuesta de HA (50%) + AF (50%) obtuvo características nutricionales, microbiológicas, tecnológicas, organolépticas y sensoriales aceptables, por lo que se considera una opción pertinente para el desarrollo de productos de panificación con potencial uso en el manejo nutricional de pacientes con EIM y TRCG que llevan BP y GF.

10. RECOMENDACIONES

- ❖ Para el desarrollo de los productos de panificación, se considera pertinente seleccionar los genotipos de yuca que presenten la mejor capacidad de panificación de las materias primas empleados, en este caso del almidón de yuca, harina de yuca, y yuca fresca requeridas para el desarrollo de estos, de manera que se puedan obtener mejores resultados.
- ❖ Teniendo disponibilidad tanto de recursos: cantidad de materias primas, como de tiempo y habilitación del laboratorio, se podría incluir en el análisis proximal la determinación de nutrientes de las materias primas, para precisar la información obtenida. Igualmente, disponer de mayor producción de las formulaciones para aumentar el número de panelistas participantes del análisis sensorial.
- ❖ Debido a la situación pandémica que atraviesa el mundo actualmente, para el desarrollo de la prueba sensorial se debió reducir el número de panelistas, al igual que modificar los criterios de selección para dicha prueba, debido a que los beneficiarios directos del presente proyecto no se consideraban pertinente incluirlos en este momento en la prueba por cuestiones de bioseguridad. De modo, que se propone para próximas pruebas sensoriales considerar la participación de la población objetivo, para conocer la evaluación y percepción del producto desarrollado.
- ❖ Futuros estudios enfocados al análisis específico de nutrientes como aminoácidos y vitaminas permitirán disponer de una composición nutricional acertada, sobre la cual se podrán considerar fortificación de micronutrientes que contribuyan a ofrecer en el producto de panificación propuesto una alternativa alimentaria saludable, completa, nutritiva, adecuada e inocua para los pacientes con EIM de proteínas y TRCG.
- ❖ Realizar reformulaciones a partir de la premezcla que presentó la mejor aceptación y preferencia por parte de los panelistas (*F.1.3°*), en las que se consideren las propiedades texturales y organolépticas, permitirá obtener mejores atributos sensoriales de los productos desarrollados y responder a las exigencias del futuro consumidor.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Agronegocios. (2018, mayo 9). CORPOICA crea genotipos de yuca que mejoran la calidad en la región caribe. *La Republica*, 2. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-produccion-de-yuca-en-colombia-2722465>
- Allem, A. C. (1995). III. Evolutionary relationships in the Brazilian Manihot species. *Proceedings of Cassava Biotechnology Network Second Meeting* .
- Aristizábal, J., García, J. A., & Ospina, B. (2017). Refined cassava flour in bread making: A review. *Ingeniería e Investigación*, 37(1), 25–33. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n1.57306>
- Bajes, F. (1998). *La Yuca: un ingrediente estratégico en la fabricación de alimentos balanceados para animales* (pp. 1–61). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA – ACT Colombia.
<http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7275/BVE19029542e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011>
- Barrera, L., Espejo, Á., Espinosa, E., & Echeverri, O. (2014). *Errores innatos del metabolismo : un abordaje integral del diagnóstico al tratamiento* (E. P. U. Javeriana (ed.); 1a ed.).
<http://hdl.handle.net/10554/42468>
- Bradbury, J. H., & Holloway, W. (1989). Book Review: Chemistry of Tropical Root Crops: Significance for Nutrition and Agriculture in the Pacific. *Food and Nutrition Bulletin*.
<https://doi.org/10.1177/156482658901100202>
- Buitrago, J. (1990). *La yuca en la alimentación animal*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Cadena, M., Villarraga, E., Luján, D., & Salcedo, J. (2006). Evaluación de la agroindustria del almidón agrario de yuca (Manihot esculenta, Crantz) en Córdoba y Sucre. *Temas Agrarios*.
<https://doi.org/10.21897/rta.v11i1.639>
- Castro, P., Giraldo, A., & Castillo, Y. (2019). *Desarrollo de un producto de panadería con inclusión de harina de Cubio morfotipo blanco (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón) y una gente leudante potencializado*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., Alimi, B. A., & Siwela, M. (2020). Dough rheology and loaf quality of wheat-cassava bread using different cassava varieties and wheat substitution levels. *Food Bioscience*. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100529>
- Chuzel G. (1990). Cassava starch: Current and potential use in Latin America. *Cassava Newsletters*, 15, 9–11.
- Consejo Nacional de Producción (CNP). (2016). Ficha Técnica: industrialización de Yuca. *Desarrollo y producción*.

- de Kock, H. L., & Magano, N. N. (2020). Sensory tools for the development of gluten-free bakery foods. En *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102990>
- Echeverry, C., Castillo, Y., & Espinal, M. (2016). *Diseño de un producto de pastelería exento de gluten con inclusión de ibias (oxalis tuberosa molina) provenientes del Municipio de Ventaquemada, Boyacá*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Eduardo, M., Svanberg, U., Oliveira, J., & Ahrné, L. (2013). Effect of cassava flour characteristics on properties of cassava-wheat-maize composite bread types. *International Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1155/2013/305407>
- El-Sharkawy, M. A. (2004). Cassava biology and physiology. *Plant Molecular Biology*, 56(4), 481–501. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-2270-7>
- Eliasson, A. C. (2004). Starch in Food: Structure, Function and Applications. En *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. <https://doi.org/10.1533/9781855739093>
- Elli, L., Ferretti, F., Orlando, S., Vecchi, M., Monguzzi, E., Roncoroni, L., & Schuppan, D. (2019). Management of celiac disease in daily clinical practice. En *European Journal of Internal Medicine* (Vol. 61, pp. 15–24). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2018.11.012>
- Elli, L., Villalta, D., Roncoroni, L., Barisani, D., Ferrero, S., Pellegrini, N., Bardella, M. T., Valiante, F., Tomba, C., Carroccio, A., Bellini, M., Soncini, M., Cannizzaro, R., & Leandro, G. (2017). Nomenclature and diagnosis of gluten-related disorders: A position statement by the Italian Association of Hospital Gastroenterologists and Endoscopists (AIGO). En *Digestive and Liver Disease* (Vol. 49, Número 2, pp. 138–146). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.dld.2016.10.016>
- Encina-Zelada, C. R., Cadavez, V., Monteiro, F., Teixeira, J. A., & Gonzales-Barron, U. (2018). Combined effect of xanthan gum and water content on physicochemical and textural properties of gluten-free batter and bread. *Food Research International*, 111, 544–555. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.070>
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola/ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO/FIDA). (2000). *La economía mundial de la yuca: hechos tendencias y perspectivas*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1991). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1990*. <http://www.fao.org/3/t0366s/t0366s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1994). *Definition and classification of commodities*. Roots and tubers and derived products. <http://www.fao.org/es/faodef/fdef02e.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1999, noviembre). ¡Vuelve el pan de yuca! *Enfoques*, 1. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9911sp1.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *FAOSTAT*. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Franco, C. M. L., Ogawa, C., Rabachini, T., Rocha, T. de S., Cereda, M. P., & Jane, J. (2010).

- Effect of lactic acid and UV irradiation on the cassava and corn starches. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(2), 443–454. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000200025>
- Gil, J. L., & Buitrago, J. A. (2002). La yuca en la Alimentacion Animal. En *La Yuca en el Tercer Milenio*.
- Gobbetti, M., Pontonio, E., Filannino, P., Rizzello, C. G., De Angelis, M., & Di Cagno, R. (2018). How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Research International*, 110, 22–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.010>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. En *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Güemes-Vera, N., Díaz, E., Soto- Semental, S., Reyes-Santamarina, M., Quintero-Lira, A., & Totosaus-Sánchez, A. (2005). *Análisis de perfil de textura en masas y panes dulces de harina de trigo fortificadas con lacto suero*. Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, 1–5. www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/2005/ee-13-2005/documentos/cna21.pdf.
- Häberle, J., Boddaert, N., Burlina, A., Chakrapani, A., Dixon, M., Huemer, M., Karall, D., Martinelli, D., Crespo, P. S., Santer, R., Servais, A., Valayannopoulos, V., Lindner, M., Rubio, V., & Dionisi-Vici, C. (2012). Suggested guidelines for the diagnosis and management of urea cycle disorders. En *Orphanet Journal of Rare Diseases*. <https://doi.org/10.1186/1750-1172-7-32>
- Horstmann, S., Lynch, K., & Arendt, E. (2017). Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. *Foods*, 6(12), 29. <https://doi.org/10.3390/foods6040029>
- Hudson, B. J. F., & Ogunsua, A. O. (1974). Lipids of cassava tubers (*Manihot esculenta crantz*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740251210>
- Hurley, J. J., Lee, B., Turner, J. K., Beale, A., Jenkins, H. R., & Swift, G. L. (2012). Incidence and presentation of reported coeliac disease in Cardiff and the Vale of Glamorgan: The next 10 years. *European Journal of Gastroenterology and Hepatology*. <https://doi.org/10.1097/MEG.0b013e328350f888>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2015). *Encuesta de Situación Alimentaria y Nutricional (ENSIN)*.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2018). Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (TCAC). En *Instituto Colombiano del Bienestar Familiar (ICBF)*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2005). *Norma Técnica Colombiana (NTC) 1363. Pan: Requisitos Generales*. (Núm. 1363).
- Jacquot, R. (1957). Les facteurs d'efficacité alimentaire. In: . Tome 1, AO editions. Rome , Italy : FAO. *Nutrition et alimentation tropicales*, 1.
- Jensen, S., Skibsted, L. H., Kidmose, U., & Thybo, A. K. (2015). Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation. *LWT - Food Science and Technology*.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.037>

- Jurecki, E., Ueda, K., Frazier, D., Rohr, F., Thompson, A., Hussa, C., Obernolte, L., Reineking, B., Roberts, A. M., Yannicelli, S., Osara, Y., Stembridge, A., Splett, P., & Singh, R. H. (2019). Nutrition management guideline for propionic acidemia: An evidence- and consensus-based approach. En *Molecular Genetics and Metabolism*.
<https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2019.02.007>
- Kölker, S., Cazorla, A. G., Valayannopoulos, V., Lund, A. M., Burlina, A. B., Sykut-Cegielska, J., Wijburg, F. A., Teles, E. L., Zeman, J., Dionisi-Vici, C., Barić, I., Karall, D., Augoustides-Savvopoulou, P., Aksglaede, L., Arnoux, J.-B., Avram, P., Baumgartner, M. R., Blasco-Alonso, J., Chabrol, B., ... Burgard, P. (2015). The phenotypic spectrum of organic acidurias and urea cycle disorders. Part 1: the initial presentation. *Journal of Inherited Metabolic Disease*, *38*(6), 1041–1057. <https://doi.org/10.1007/s10545-015-9839-3>
- Lacerda, I. C. A., Miranda, R. L., Borelli, B. M., Nunes, Á. C., Nardi, R. M. D., Lachance, M. A., & Rosa, C. A. (2005). Lactic acid bacteria and yeasts associated with spontaneous fermentations during the production of sour cassava starch in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, *105*(2), 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.04.010>
- Liu, R., Sun, W., Zhang, Y., Huang, Z., Hu, H., & Zhao, M. (2019). Preparation of starch dough using damaged cassava starch induced by mechanical activation to develop staple foods: Application in crackers. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.202>
- Ludvigsson, J. F., Leffler, D. A., Bai, J. C., Biagi, F., Fasano, A., Green, P. H. R., Hadjivassiliou, M., Kaukinen, K., Kelly, C. P., Leonard, J. N., Lundin, K. E. A., Murray, J. A., Sanders, D. S., Walker, M. M., Zingone, F., & Ciacci, C. (2013). The Oslo definitions for coeliac disease and related terms. *Gut*. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-301346>
- MacDonald, A., van Rijn, M., Feillet, F., Lund, A. M., Bernstein, L., Bosch, A. M., Gizewska, M., & van Spronsen, F. J. (2012). Adherence Issues in Inherited Metabolic Disorders Treated by Low Natural Protein Diets. *Annals of Nutrition and Metabolism*, *61*(4), 289–295.
<https://doi.org/10.1159/000342256>
- Maldonado, P., Grosmaire, L., Dufour, D., Giraldo, A., Sánchez, T., Calle, F., Moreno, M. A., Ceballos, H., Delarbre, J. L., & Tran, T. (2013). Combined effect of fermentation, sun-drying and genotype on breadmaking ability of sour cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, *98*(1), 1137–1146. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.012>
- Medina, D. E., & Martínez, M. A. (2018). *Desarrollo de un producto alimentario panificable tipo pan blando a partir de harina de trigo, yuca y quinua*. Universidad de Sucre.
- Mestres, C., Bertolini, A. C., Lourdin, D., Valle, G. Della, & Colonna, P. (2001). Relationship between thermomechanical properties and baking expansion of sour cassava starch (Polvilho azedo). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200103\)81:4<429::AID-JSFA833>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200103)81:4<429::AID-JSFA833>3.0.CO;2-2)
- Milde, L. B., Chigal, P. S., Olivera, J. E., & González, K. G. (2020). Incorporation of xanthan gum to

- gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes. *LWT*, 131, 109674. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109674>
- Ministerio de la protección social. (2011). Resolución 333 de 2011. *Reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano*.
- Ministerio de la Protección Social. (2005). Resolución 5109 de 2005. *Reglamento técnico que indica los requisitos que deben cumplir los rótulos o etiquetas de los envases o empaques de alimentos para consumo humano envasados o empacados*.
- Ministerio de salud y protección social. (2013). Resolución 2674 de 2013. *Por la cual se establecen los requisitos sanitarios que deben cumplir las personas que manipulen alimentos*, 2, 37.
- Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(3), 181–194. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>
- Monthe, O. C., Grosmaire, L., Nguimbou, R. M., Dahdouh, L., Ricci, J., Tran, T., & Ndjouenkeu, R. (2019). Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours. *LWT*, 101, 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.051>
- Nyembwe, P. M., de Kock, H. L., & Taylor, J. R. N. (2018). Potential of defatted marama flour-cassava starch composites to produce functional gluten-free bread-type dough. *LWT*, 92, 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.062>
- Oluba, O. M., Oredokun-Lache, A. B., & Odutuga, A. A. (2018). Effect of vitamin A biofortification on the nutritional composition of cassava flour (gari) and evaluation of its glycemic index in healthy adults. *Journal of Food Biochemistry*, 42(4), 12450. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12450>
- Onitilo, M. O., Sanni, L. O., Oyewole, O. B., & Maziya-Dixon, B. (2007). Physicochemical and functional properties of sour starches from different cassava varieties. *International Journal of Food Properties*. <https://doi.org/10.1080/10942910601048994>
- Onyango, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. G. (2009). Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.04.011>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1995). Codex Alimentarius. Norma general para los aditivos alimentarios (Codex Stan 192-1995). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Ospina, B., & Ceballos, H. (2002). La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. En *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*.
- Ozuna, C. V., & Barro, F. (2018). Characterization of gluten proteins and celiac disease-related immunogenic epitopes in the Triticeae: cereal domestication and breeding contributed to

- decrease the content of gliadins and gluten. *Molecular Breeding*, 38(3).
<https://doi.org/10.1007/s11032-018-0779-0>
- Pérez, E., Mahfoud, A., Domínguez, C., & Guzmán, R. (2013). Roots, Tubers, Grains and Bananas; Flours and Starches. Utilization in the Development of Foods for Conventional, Celiac and Phenylketonuric Consumers. *Journal of Food Processing & Technology*, 04(03).
<https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000211>
- Pizarro, M., Sanchez, T., Ceballos, H., Morante, N., & Dufour, D. (2016). Diversificación de los Almidones de Yuca y sus Posibles Usos en la Industria Alimentaria. *Revista Politécnica*, 37(2), 1.
- Rawel, H. M., & Kroll, J. (2003). Die bedeutung von Cassava (*Manihot esculenta crantz*) als hauptnahrungsmittel in tropischen ländern. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*.
- Rico-Fontalvo, H. M., & Peralta-Miranda, P. E. (2020). Comportamiento del consumidor frente a productos derivados de la yuca. *Innovar*, 30(75), 9–18.
<https://doi.org/10.15446/innovar.v30n75.83235>
- Román, Y., Techeira, N., Yamarte, J., Ibarra, Y., & Fasendo, M. (2015). Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón de musáceas, raíces y tubérculos. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*.
- Rosales-Juárez, M., González-Mendoza, B., López-Guel, E. C., Lozano-Bautista, F., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G., Farrera-Rebollo, R., & Calderón-Domínguez, G. (2008). Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. *Food and Bioprocess Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s11947-007-0004-3>
- Ruiz, M., Sánchez-Valverde, F., Dalmau, J., & López, L. (2007). Tratamiento nutricional de los errores innatos del metabolismo. En *Acta Pediátrica Española*.
- Sapone, A., Bai, J. C., Ciacci, C., Dolinsek, J., Green, P. H. R., Hadjivassiliou, M., Kaukinen, K., Rostami, K., Sanders, D. S., Schumann, M., Ullrich, R., Villalta, D., Volta, U., Catassi, C., & Fasano, A. (2012). Spectrum of gluten-related disorders: Consensus on new nomenclature and classification. *BMC Medicine*, 10. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-10-13>
- Suarez, L., & Mederos, V. (2010). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Tendencia Actuales. *Cultivos Tropicales*.
- Sur, L. M., Dascăl, L., Sur, G., Sur, D. G., Floca, E., Aldea, C., Lupan, I., & Samasca, G. (2019). Diagnosis of gluten-related disorders: A new and challenging public health problem. En *Autoimmunity Reviews* (Vol. 18, Número 6, pp. 645–646). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.autrev.2019.02.008>
- Tappiban, P., Smith, D. R., Triwitayakorn, K., & Bao, J. (2019). Recent understanding of starch biosynthesis in cassava for quality improvement: A review. En *Trends in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.019>
- Tappiban, P., Ying, Y., Pang, Y., Sraphet, S., Srisawad, N., Smith, D. R., Wu, P., Triwitayakorn, K.,

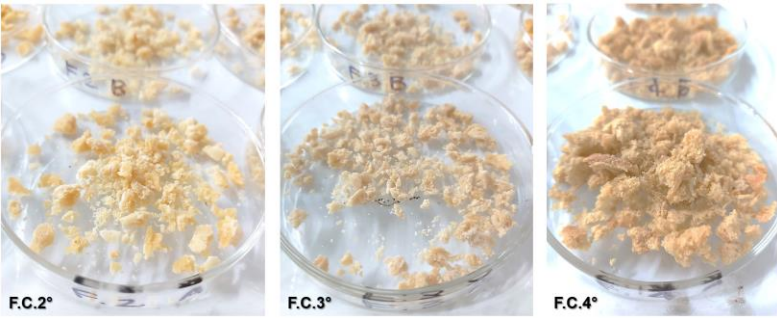
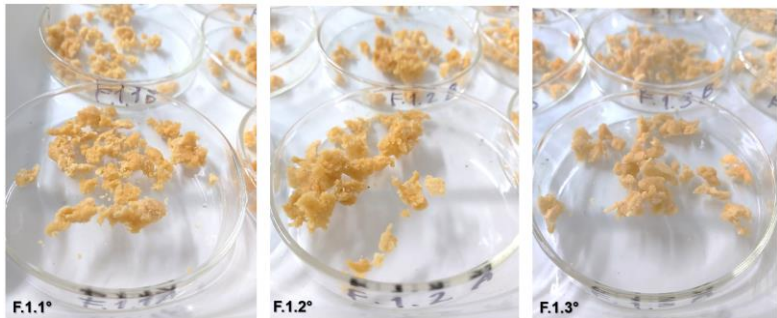
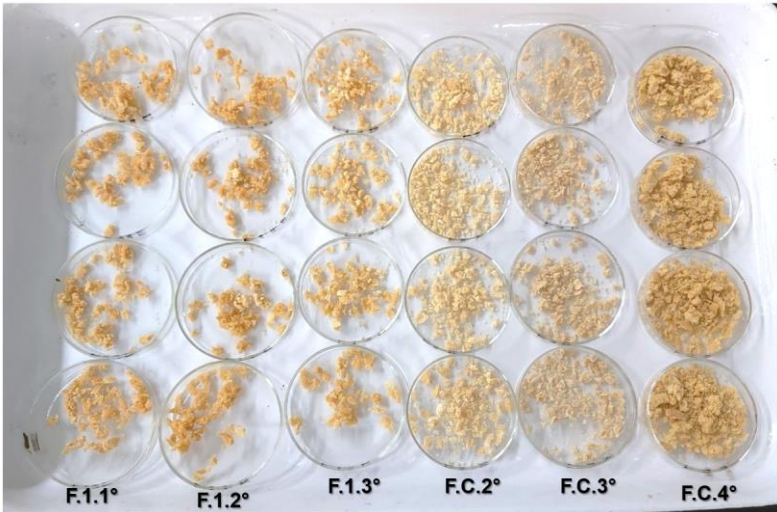
- & Bao, J. (2020). Gelatinization, pasting and retrogradation properties and molecular fine structure of starches from seven cassava cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.119>
- Tewe, O., & Lutaladio, N. (2004). *Cassava for livestock feed in sub-Saharan Africa*.
- Vargas- Aguilar, P., & Hernández-Villalobos, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1120>
- Villani, G. R. D., Gallo, G., Scolamiero, E., Salvatore, F., & Ruoppolo, M. (2017). “Classical organic acidurias”: diagnosis and pathogenesis. *Clinical and Experimental Medicine*, 17(3), 305–323. <https://doi.org/10.1007/s10238-016-0435-0>
- Wasim, M., Awan, F. R., Khan, H. N., Tawab, A., Iqbal, M., & Ayesha, H. (2018). Aminoacidopathies: Prevalence, Etiology, Screening, and Treatment Options. *Biochemical Genetics*, 56(1), 7–21. <https://doi.org/10.1007/s10528-017-9825-6>
- World Gastroenterology Organization (WGO). (2012). *Guías Mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología, Enfermedad celíaca*. <https://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/ceeliac-disease-spanish-2013.pdf>

12. ANEXOS

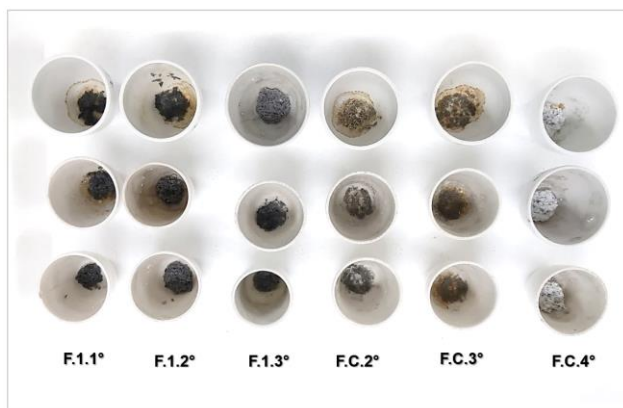
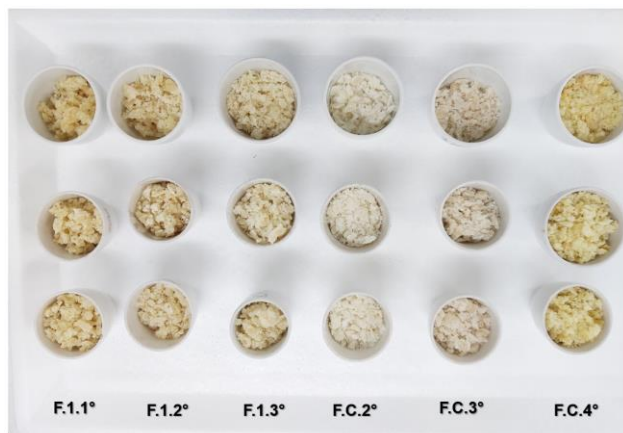
Anexo 1. Desarrollo de productos



Anexo 2. Análisis proximal: Determinación de Humedad



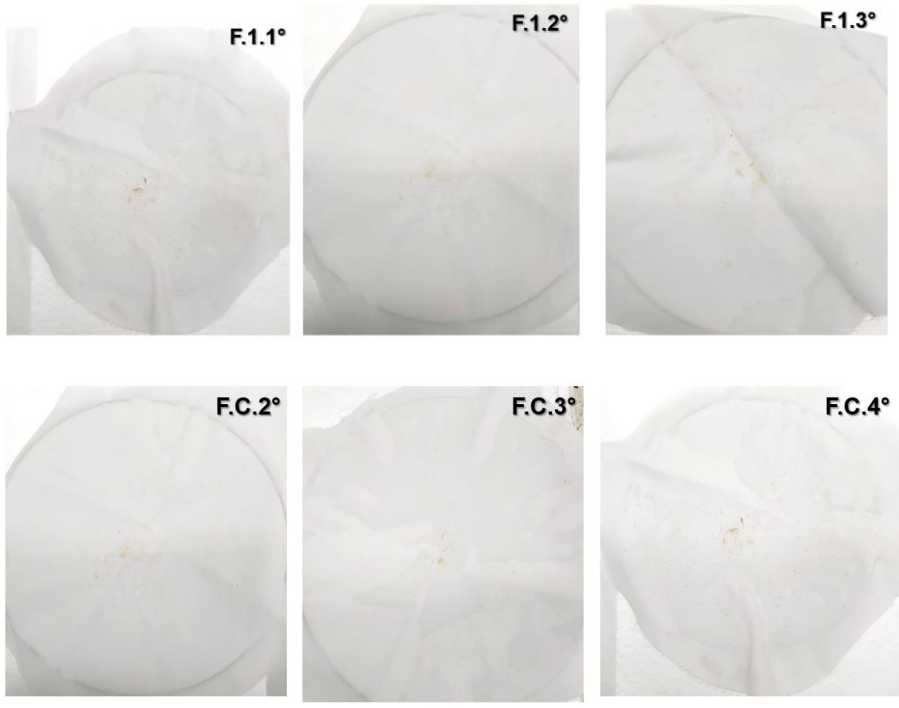
Anexo 3. Análisis proximal: Determinación de Cenizas



Anexo 4. Análisis proximal: Determinación de Grasa



Anexo 5. Análisis proximal: Determinación de Fibra Cruda



Anexo 6. Análisis proximal: Determinación de Proteína

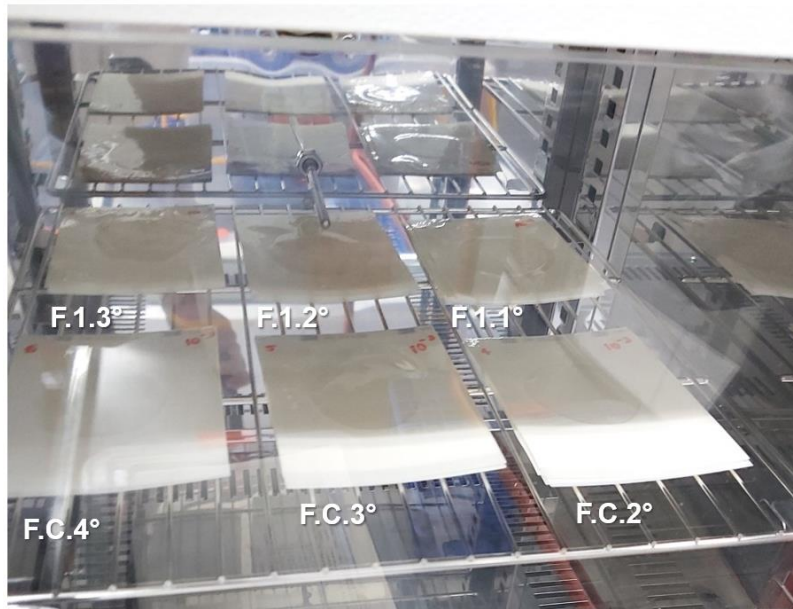
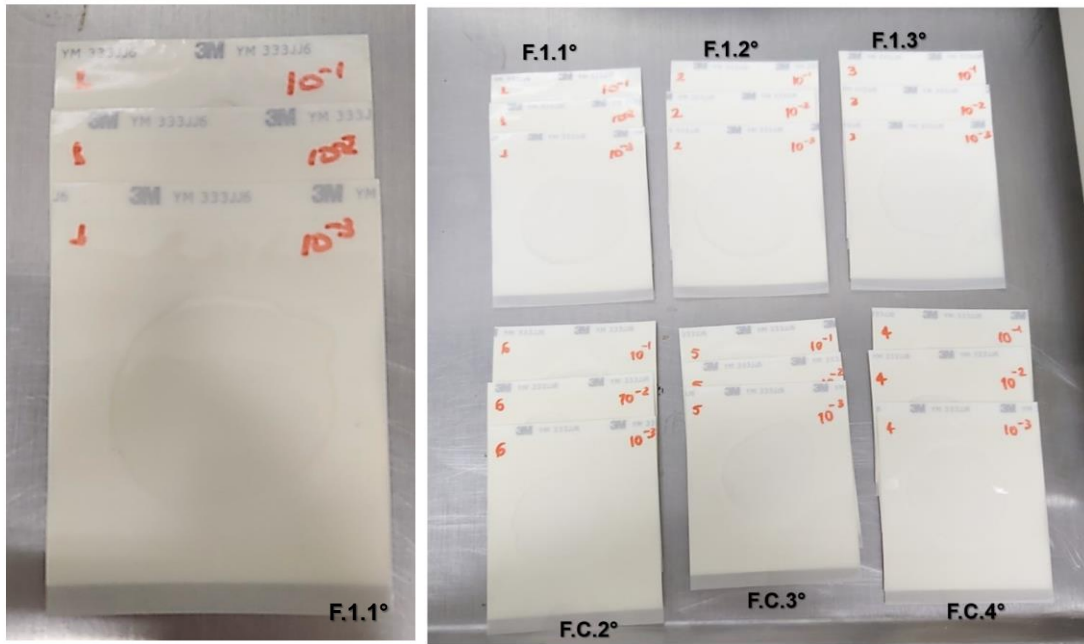
Fase de Digestión



Fase de Destilación y Titulación



Anexo 7. Análisis microbiológico



Anexo 8. Guía de análisis proximal para determinación de proteína.

**Análisis proximal de alimentos:
Determinación de Proteína**

Objetivo general: Determinar el contenido total de proteína de un alimento por el método Kjeldahl, en el contexto del análisis proximal de alimentos.

Objetivos específicos:

1. Estudiar los fundamentos del método de Kjeldahl.
2. Comparar los resultados obtenidos con los valores en las tablas de composición de alimentos.

Metodología

Materiales y equipos

1. Alimentos (secos y desengrasados).
2. Ácido sulfúrico (H₂SO₄, concentrado 96%-98%).
3. Ácido bórico (H₃BO₃, 4% p/v).
4. Ácido clorhídrico (HCl, 0,1 N)
5. Agua destilada
6. Hidróxido de sodio (NaOH, 30%- 35% p/v).
7. Verde de bromocresol
8. Rojo de Metilo
9. Sistema de digestión y destilación de Kjeldahl, incluyendo el catalizador de Kjeldahl.
10. Erlenmeyer de 250 mL (3).
11. Beaker de 250 mL (3).
12. Vidrio de reloj.
13. Balanza analítica.

Determinación del contenido total de proteína:

A. Etapa de digestión y refrigeración:

Alistamiento:

1. Vaciar el agua destilada de la bomba de agua, limpiar esta con un paño húmedo de agua destilada.
2. Disponer agua destilada en la bomba de agua hasta el límite máximo que se indica en la misma.

Análisis:

1. Disponer 1000ml (1L) de ácido clorhídrico (HCl) en su respectivo recipiente perteneciente al sistema de digestión.

2. Disponer 300 ml de agua destilada en su recipiente correspondiente perteneciente al sistema de digestión.
3. Pesar 2 g de la muestra seca y desengrasada con +/- 0,1 mg.
4. Transferir la totalidad de la muestra a los tubos de ensayo.
5. Por cada muestra añadir en el tubo de ensayo: 2 pastillas del catalizador de Kjeldahl y 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado (96% -98%).
6. Ubicar la base que contiene los tubos de manera cuidadosa al sistema de digestión.
7. Encender el equipo correspondiente a la Fase de digestión, el cual estará ejecutando el proceso de calentamiento durante dos horas aproximadamente a 420°C.
8. A lo largo de este, se comenzará a calentar cada uno de los tubos hasta obtener un líquido translúcido de color amarillo o verde esmeralda.
9. Pasado el tiempo, el equipo indicará que el proceso ha finalizado. Para iniciar la fase de Refrigeración, deberá dejar que los tubos de ensayo se enfríen a 50-60 ° C. Deberá subir la base del sistema de destilación y esperar a que los tubos se enfríen para continuar con la etapa de destilación.

B. Etapa de destilación y titulación:

Alistamiento:

1. Registrar en el sistema de destilación y titulación rápida del equipo los parámetros exigidos por este para continuar con el análisis (Nombre de la persona, peso de las muestras, tipo de método de análisis, y modo de análisis a realizar.
2. Programar el proceso de lavado del equipo, el equipo le deberá indicar el momento de inicio y final. Una vez culminado este lavado se recomienda realizar este 2 veces más, para una totalidad de tres lavados, para evitar que se encuentren residuos de reactivos pasados que interfieran en el análisis
3. Programar para la bureta, el llenado de 25 ml con ácido clorhídrico (HCl).
4. Disponer las cuatro mangueras correspondientes en cada una de las canecas respectivas: (desechos de residuos, desecho de reactivos, agua destilada, ácido bórico (H₃BO₃) y hidróxido de sodio (NaOH) , las cuales deben disponer cada una su solución correspondiente tanto para el agua destilada y los reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH) al 30%- 35% p/v), y ácido bórico (H₃BO₃) al 4% p/v.
 - ❖ Para la preparación de la solución de Ácido bórico (H₃BO₃) al 4%: Prepare por cada 40g de ácido bórico un 1 litro de agua destilada.
 - ❖ Para la preparación de la solución los indicadores Verde de bromocresol y Rojo de Metilo: Prepare para un litro al 4% de Ácido bórico (H₃SO₃) adicione los siguientes volúmenes:
 - 10 ml de solución de verde de bromocresol
 - 7 ml de solución de rojo de metilo
 - ❖ Para la preparación de las soluciones de cada uno de los indicadores:

- Disuelva en 100 ml de etanol 0.1000g de verde de bromocresol
- Disuelva en 100 ml de etanol 0.1000g de rojo de metilo

**Recuerde que las canecas deben estar siempre con su solución correspondiente para que el equipo funcione adecuadamente y se pueda desarrollar el análisis respectivo. No deje que se vacíen ninguna de las canecas que requieren la solución correspondiente.

Análisis:

1. Colocar el tubo de ensayo con la muestra digerida en la unidad UDK 169
2. Seleccione el método predefinido y presione START
3. Considere cada uno de los parámetros analíticos memorizados en el instrumento. Recuerde que estos varían de acuerdo con el método predefinido seleccionado para cada análisis correspondiente.
4. Analice cada una de las pruebas que desea de los tubos de ensayos que dispone para el análisis, el registro de cada uno de estos se irá archivando en el equipo.
5. Cuando finalice los análisis programe 3 lavados para limpiar el equipo de los residuos empleados en el análisis.

Anexo:

Métodos Analíticos Predefinidos para Comida

1. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en la leche y productos derivados - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 991.20, FIL 20, 20-1, ISO 8968-1: 2014
2. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en almendras, nueces, avellanas - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 950.48
3. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en los cocos - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 950.48
4. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en el maní y las nueces de Brasil - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 950.48
5. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en la cerveza - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 920.53
6. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en la malta de cebada - Referencia: AOAC (1990), Official Methods of analysis, vol.2, método 950.09
7. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en la alimentación animal - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 984.13
8. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en el trigo - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 979.09; AACC 46,11 A; Métodos estándar ICC 105-2.

9. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en avena, cebada, maíz, arroz, centeno- Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 979.09; AACC 46,11 A; Método estándar ICC 105-2.
10. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en habas de soja y altramuces - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 920.87 (945.39 y 979.09).
11. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en alimentos enlatados para gatos / perros - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 984.13
12. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteína en forrajes y paja - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 978.04.
13. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en tocino, jamón, perro caliente, salami, salchicha - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 981.10.
14. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en la carne y productos derivados - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 981.10.
15. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en pan y productos horneados. - Referencias: AOAC, Métodos Oficiales de análisis, método 950.36.
16. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en levaduras comprimidas y granulares - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 962.10.
17. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en el paté de hígado - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 981.10.
18. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en azúcar, jarabe, melaza - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 945.23.
19. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en espaguetis y macarrones de trigo, pasta de huevo - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 930.25.
20. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en espaguetis y macarrones con granos. Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 930.25.
21. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en plantas (hortalizas) - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 978.04.
22. Método Kjeldahl para determinar el contenido de proteínas en hongos - Referencia: AOAC, Métodos oficiales de análisis, método 976.06.

Anexo 9. Rotulado General

<p>PAN DE YUCA</p> <p>100% Yuca Colombiana</p> <p>Bajo en proteína Bajo en grasa Libre de gluten Sin azúcares añadidos Muy bajo en sodio Libre de grasa saturada, grasa trans y colesterol</p> <p>Contenido neto: 50 g</p> <p>Industria Colombiana</p>	<p>Ingredientes:</p> <p>Harina de yuca, Almidón fermentado de yuca, Pure de yuca fresco, Agua, Aceite de oliva extravirgen, Goma Xanthan, Sal, Levadura seca.</p> <p>Instrucciones de conservación: Después de abierto consumir en el menor tiempo posible. Conservar el producto dentro del empaque bien cerrado, en un lugar limpio, fresco y seco, alejado de sustancias que interfieren en las características propias del mismo.</p> <p>Instrucciones de preparación: Calentar en el horno a 180°C durante 10 minutos aproximadamente.</p> <p>Elaborado por: Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.</p> <p>Fecha de elaboración: 12/11/2020 Fecha de vencimiento: 27/11/2020</p> <p>Registro Sanitario : RS2020A34ACDG</p>
--	--

Anexo 10. Rotulado Nutricional

Información Nutricional		
Tamaño por porción: 2 unidades (50g)		
Porciones por envase 2		
Cantidad por porción		
Calorías 120	Calorías de grasa 0	
Valor Diario*		
Grasa Total	0,5 g	1 %
Grasa Saturada	0 g	0 %
Grasa Monounsaturada	0,5 g	
Grasa Poliinsaturada	0 g	
Grasa Trans	0 g	0 %
Colesterol	0 mg	0 %
Sodio	10 mg	0 %
Carbohidratos Totales	30 g	10 %
Fibra dietaria	0 g	0 %
Azúcares	0 g	
Proteína	0 g	0 %
Vitamina A 0%	Vitamina C 10%	
Calcio 4%	Hierro 1%	
*Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.		
	Calorías	2000 2500
Grasa Total	Menos de	65 g 80 g
Grasa Saturada	Menos de	20 g 25 g
Colesterol	Menos de	300 mg 300 mg
Sodio	Menos de	2400 mg 2400 mg
Carbohidratos Total		300 g 375 g
Fibra Dietaria		25 g 30 g
Calorías por gramo:		
Grasa 9	Carbohidrato 4	Proteína 4

Anexo 11. Invitación a la participación de la prueba sensorial



¿Conoces un **pan bajo en proteína y libre de gluten** elaborado a partir de **yuca** como **raíz** nativa de Colombia?
¿Qué cuenta con ingredientes **100% naturales** y de **origen vegetal** ?

TE INVITAMOS A QUE LO CONOZCAS !

ACOMPÁÑANOS EN LA PRESENTACIÓN DE ESTE PRODUCTO DE PANIFICACIÓN EL 18 DE NOVIEMBRE, 2020 A LAS 2:00 PM

 **PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**
Ed. 52. Laboratorio de Alimentos

—
Te esperamos !



Anexo 12. Consentimiento Informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Parte 1: Información acerca del proyecto de investigación.

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“Desarrollo de un producto de panificación bajo en proteína a partir de una premezcla de almidón de yuca con potencial terapéutico nutricional.”

NÚMERO DE PROTOCOLO: 1

NOMBRE DE LOS INVESTIGADORES:

Estudiante Investigador: Andrea Carolina Delgado.

Docentes Investigadores: Angela Johana Espejo, Andrés Giraldo Toro

INTRODUCCIÓN:

Los errores innatos del metabolismo son enfermedades de origen genético de baja frecuencia (enfermedades raras). Es decir, que de acuerdo a la legislación de nuestro país, estas enfermedades afectan a menos de 1 por cada 5.000 personas (Ley 1392 de 2010/Ley 1438 de 2011). La principal alternativa de tratamiento de estos pacientes involucra una restricción en la ingesta de proteínas y el consumo de leches de fórmula carentes de los aminoácidos que no son metabolizados de forma adecuada.

En la actualidad en el país no se encuentran sustitutos con bajo contenido de proteínas que puedan ser incluidos en la dieta de pacientes con restricciones de ingesta de este nutriente. El presente proyecto busca desarrollar premezclas base con inclusión de harina de yuca y almidón para la formulación de productos alimenticios fortificados, con bajo contenido de proteínas, para su uso potencial en el manejo nutricional de pacientes con errores innatos del metabolismo de las proteínas.

¿POR QUÉ SE ESTÁ HACIENDO ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

Existe un número importante de pacientes que tienen la necesidad de contar con sustitutos con bajo contenido de proteínas que les permitan realizar un adecuado manejo dietario, así como también poder contar con una mayor oferta de productos. Este último punto puede jugar un papel muy importante en la adherencia al tratamiento por parte de los pacientes, favoreciendo un manejo adecuado de la enfermedad. Sin embargo, los pacientes cuentan con opciones limitadas de productos alimenticios que permitan diversificar sus dietas. Dentro de estas alternativas, el desarrollo de una premezcla basada en una harina fortificada baja en proteínas representaría una opción muy interesante para ampliar las posibilidades dietarias de este grupo de pacientes. Sin embargo, hasta el momento no se han desarrollado este tipo de productos en el país y estos deben ser importados con altos precios, por lo que su acceso es limitado. Considerando los resultados obtenidos en el marco del proyecto de tubérculos andinos, desarrollado en la Pontificia Universidad Javeriana, se observa que estos productos representan una opción viable para la obtención de harinas con bajo contenido de proteínas. Sin embargo, aún es necesario evaluar su capacidad para la obtención de productos de repostería que, dada su composición nutricional, puedan ser incluidos en la dieta de pacientes con errores innatos del metabolismo.

¿EN QUÉ CONSISTE ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

Este proyecto busca desarrollar premezclas base con inclusión de harina y almidón de yuca para la formulación de productos alimenticios fortificados con uso potencial en el manejo nutricional de pacientes que requieren una dieta baja en proteínas y libre de gluten, como lo son pacientes con errores innatos del metabolismo de proteínas y/o con trastornos relacionados con el gluten. Para esto se realizarán tres objetivos: 1) Formular dos premezclas base para la elaboración de productos

de panadería con la inclusión de harina y almidón de yuca, 2) Proponer alternativas para la transformación y procesamiento de las premezclas desarrolladas para la obtención de productos de panadería, y 3) Evaluar la calidad nutricional, sensorial y microbiológica de los productos desarrollados. Durante el desarrollo del proyecto se llevará a cabo la evaluación sensorial (prueba de aceptabilidad) de los productos desarrollados.

¿QUÉ SE HACE SI PARTICIPAMOS EN ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

Si el panelista o consumidor accede a participar en este estudio, se le pedirá participar activamente en la sesión de degustación y evaluación sensorial de los productos de panificación elaborados con las premezclas. Se le pedirá degustar cada una de las muestras de los productos de panificación y por medio del formato entregado con instrucciones por escrito, indicar según una escala, la puntuación de cada una de las propiedades organolépticas (sabor, olor, color, apariencia general, textura) de los productos presentados.

¿CUÁNTOS CONSUMIDORES PARTICIPARÁN EN ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN? Y ¿CUANTO TIEMPO ESTAREMOS EN ESTE PROYECTO?

Para dicho proyecto, se contará con la participación de mínimo 10 consumidores, los cuales estarán vinculados en una sesión de 30 – 45 minutos el día de hoy. Para ser seleccionado como participante de los productos desarrollados en la categoría consumidor, el participante debe tener un rango de edad entre 18 a 40 años, no debe haber consumido alcohol, café o especias el mismo día o un día antes de la prueba y no puede presentar alguna de las siguientes enfermedades: ceguera, disgeusia (incapacidad para detectar olores), enfermedades de la cavidad oral o diabetes, alergias al huevo o algún trastorno relacionado con el consumo del gluten.

¿PODEMOS RETIRARNOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE MANERA VOLUNTARIA EN CUALQUIER MOMENTO?

Cada persona estará en la libertad de retirarse del proyecto en cualquier momento si así lo desea.

¿POR QUÉ PODRÍA EL INVESTIGADOR PRINCIPAL RETIRARNOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TEMPRANAMENTE?

El investigador principal podría en algún caso, pedirles el abandono del proyecto si no llegara a completar en su totalidad, las actividades dispuestas para este proyecto.

¿CUÁLES SON LOS RIESGOS O INCOMODIDADES ASOCIADOS A ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

Según la normatividad colombiana vigente (Resolución 8430 de 1993), se considera el proyecto de investigación a realizar como de *riesgo mínimo*, puesto que se trabajará con la indagación sobre temas relacionados con la evaluación de las características organolépticas de los productos de panadería derivados de las premezclas.

¿OBTENDREMOS ALGUN BENEFICIO AL PARTICIPAR EN ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN? Y/O ¿TIENE ALGÚN COSTO LA PARTICIPACIÓN EN ESTE PROYECTO?

Al participar en esta investigación, no se concederá ningún beneficio económico o compensación, así como tampoco los asociados tendrán que pagar ningún monto de dinero. En caso de que exista algún gasto adicional relacionado con la prueba sensorial será cubierto por los investigadores.

¿QUE BENEFICIOS OBTENDRA LA COMUNIDAD POR ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?

Es posible que no existan beneficios directos para usted o su familia derivados de la participación en este estudio. Sin embargo, los resultados de este estudio sí podrían ayudar a otros niños y jóvenes en el futuro.

¿CÓMO SE VA A MANEJAR LA PRIVACIDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS DATOS PERSONALES Y FAMILIARES?

• PROTECCIÓN DE DATOS

De conformidad con lo establecido en el Art. 5 de la Ley Orgánica 15/1999 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal, por el que se regula el derecho de información en la recogida de datos le informamos lo siguiente:

- Los datos de carácter personal que nos ha suministrado serán objeto de tratamiento exclusivamente académico.
- Usted tiene la posibilidad de solicitar acceso, rectificación, cancelación y oposición de conformidad con lo establecido en la Ley 15/1999 ante el investigador principal como responsable de la investigación. Los derechos mencionados los puede hacer valer a través de los siguientes medios: Angela Johana Espejo, Profesora Asistente, Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 43-82 Edificio (54), Instituto de Errores Innatos del Metabolismo, Laboratorio 305A. Tel: 3208320 - ext. 4099, correo electrónico: aespejo@javeriana.edu.co ; Andrés Giraldo Toro, Profesor Asistente, Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 43-82 Edificio (52), Departamento de Nutrición y Bioquímica, Oficina 602. Tel: 3208320 - ext. 4065, correo electrónico: giraldot.a@javeriana.edu.co

¿QUÉ HACEMOS SI TENEMOS ALGUNA PREGUNTA O PROBLEMA?

Si algún participante tiene alguna duda sobre este proyecto de investigación, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación en él. Si alguna de las preguntas le parece incómoda, tiene el derecho de hacérselo saber los investigadores.

¿CUÁLES SON LOS DERECHOS COMO SUJETO DE INVESTIGACIÓN?

Cada persona tiene derecho a realizar todas las preguntas que tenga para asegurarse de que se entiende los procedimientos del proyecto de investigación, incluyendo los riesgos y los beneficios. El propósito de este documento es proveer a los participantes de esta investigación una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participantes.

Este documento ha sido aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana, para su uso entre febrero de 2020 y enero junio de 2021:

Desde ya le agradecemos su participación.

INFORMACIÓN DE CONTACTO

Estudiante Investigador:

- Andrea Carolina Delgado, Estudiante de la Carrera de Nutrición y Dietética, Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 43-82, Departamento de Nutrición y Bioquímica, correo electrónico: andrea.delgado@javeriana.edu.co

Docentes Investigadores:

- Angela Johana Espejo, Profesora Asistente, Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 43-82 Edificio (54), Instituto de Errores Innatos del Metabolismo, Laboratorio 305A. Tel: 3208320 - ext. 4099, correo electrónico: aespejo@javeriana.edu.co
- Andrés Giraldo Toro, Profesor Asistente, Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 43-82 Edificio (52), Departamento de Nutrición y Bioquímica, Oficina 602. Tel: 3208320 - ext. 4065, correo electrónico: giraldot.a@javeriana.edu.co

Parte 2: Formulario de Firmas.

Yo he sido invitado (a) a participar en el proyecto de investigación *“Desarrollo de un producto de panificación bajo en proteína a partir de una premezcla de almidón de yuca con potencial terapéutico nutricional”*.

Entiendo que mi participación consistirá en:

He leído y entendido este documento de Consentimiento Informado o el mismo se me ha leído o explicado. No tengo ninguna duda sobre mi participación, por lo que estoy de acuerdo en hacer parte de este proyecto de investigación. Cuando firme este documento de Consentimiento Informado recibiré una copia del mismo (Parte 1 y 2). Autorizo el uso y la divulgación de la información a las entidades mencionadas en este Consentimiento Informado para los propósitos descritos anteriormente.

Marque con una equis (x):

Acepto () / No acepto () participar voluntariamente:

Nombre del participante: _____
 CC : _____
 Firma: _____
 Fecha: _____

Nombre del Docente: _____
 Firma: _____
 Fecha: _____

Nombre del Docente: _____
 Firma: _____
 Fecha: _____

Nombre del estudiante: _____
 Firma: _____
 Fecha: _____

Anexo 13. Formato de prueba sensorial afectiva

FORMATO DE PRUEBAS SENSORIALES AFECTIVAS

Nombre del responsable: Andrea Carolina Delgado G

Nombre del participante: _____ Fecha: _____

1. Prueba escalar hedónica

A continuación, se presentan 4 muestras de pan, las cuales se encuentran codificadas con tres números cada una.

- Deguste cada una de las 4 muestras
- Para el intercambio de cada una de las muestras, ingiera un poco de agua para limpiar el sabor anterior y manténgalo en su boca hasta que el sabor de la muestra ya no esté.
- Espere 30 segundos y continúe con la siguiente prueba hasta completar la degustación de las 4 muestras totales.

Durante la prueba de las muestras califique los atributos: Apariencia, aroma, textura, sabor y color, de cada una de las degustaciones según su preferencia según la escala. (Marque con una equis (x) según su preferencia).

Código/ Muestra	Atributo	Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho
263	Apariencia					
	Aroma					
	Textura					
	Sabor					
	Color					
495	Apariencia					
	Aroma					
	Textura					
	Sabor					
	Color					
514	Apariencia					
	Aroma					
	Textura					
	Sabor					

	Color					
723	Apariencia					
	Aroma					
	Textura					
	Sabor					
	Color					

Marque con una equis (X) la muestra preferida por usted:

263	495	514	723

Si el producto elegido se encontrará disponible para la venta, ¿usted lo compraría?
 Si _____ No _____

Observaciones (Escriba la razón se su preferencia y/o rechazo):

Agradezco su amable colaboración y participación,
 Gracias.

FORMATO DE PRUEBAS SENSORIALES AFECTIVAS

Nombre del responsable: Andrea Carolina Delgado G

Nombre del participante: _____ Fecha: _____

1. Prueba escalar hedónica

Tiene 4 muestras de pan, las cuales se encuentran codificadas con tres números cada una. Deguste cada una de las muestras, y en el intercambio de cada prueba, ingiera un poco de agua y manténgalo en su boca hasta que el sabor de la muestra ya no esté. A continuación, pruebe la siguiente prueba hasta completar la degustación de las tres muestras totales.

Durante la prueba de las muestras califique a su preferencia cada una de las muestras degustadas según la escala expuesta (Marque con una equis (x) según su preferencia total).

Código/ Muestra	Me gusta mucho	Me gusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta	Me disgusta mucho
263					
495					
514					
723					

Observaciones (Escriba la razón se su preferencia o rechazo):

Agradezco su amable colaboración y participación,
Gracias.