

Desarrollo de un pan sin gluten, a base de una mezcla de harinas de haba (*Vicia faba*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L) y maíz capio *Zea mays*, aplicando goma xantán y carboximetilcelulosa (CMC) como mejoradores de las características físicas

Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Alimentación y Nutrición

**Carolina Steffanee Cerón Solarte
Katherin Yohanna Tamayo López**

**Corporación Universitaria Lasallista.
Facultad de Ingenierías
Especialización en Alimentación y Nutrición
Caldas-Antioquia
2021**

Contenido

Resumen	5
Introducción	6
Planteamiento del problema	8
Justificación.....	11
Objetivos	14
General.....	14
Específicos	14
Marco teórico	15
Harina de Haba (<i>vicia faba</i>)	15
Harina de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L).....	15
Harina de Maíz Capiro (<i>Zea mays</i>)	16
Harina de Haba, Harina de frijol y Harina de Maíz Capiro, Como materias primas emergentes en la industria alimentaria.....	16
Aplicaciones actuales en la industria alimentaria de Materias Primas	18
Impacto en la salud de la pre mezcla de Harinas autóctonas	20
Descripción de un pan sin gluten	23
Hidrocoloides: gomas xantana y carboximetilcelulosa (CMC)	24
Índices de consumo de pan en Colombia.....	25
Estandarización de la producción de pan sin gluten.....	26
Metodología.....	31
Materias primas.....	31
Obtención de la mezcla de harinas	31
Mezclado.....	32
Fermentación.....	32
Horneado	32
Enfriamiento	32
Resultados y Discusión	35
Variables físicas del pan molde.....	41
Conclusiones	52
Referencias	55

Lista de tablas

Tabla 1. Cultivos a pequeña escala en el departamento de Nariño. 8

Tabla 2. Formulaciones experimentales de pan sin gluten. 27

Tabla 3. Variables físicas evaluadas en el pan. 33

Tabla 4. Descripción de elaboración pan molde34

Tabla 5. Características físicas del pan molde 35

Tabla 6. Características bromatológicas de las materias primas. 37

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Flujograma de proceso para elaboración de pan libre de gluten a base de harinas autóctonas del departamento de Nariño. 34

Ilustración 2. Resultados peso del pan molde elaborado con goma xantan. 42

Ilustración 3. Resultados peso del pan molde elaborado con carboximetilcelulosa. 42

Ilustración 4. Resultados peso pan molde con carboximetilcelulosa y goma xantan. 43

Ilustración 5. Resultados de variación de la altura en proceso de fermentación en elaboración del pan molde 45

Ilustración 6. Imágenes del pan molde previo a tratamiento térmico. 46

Ilustración 7. Imágenes del pan molde posterior a tratamiento térmico. 46

Ilustración 8. Resultados alto pan molde carboximetilcelulosa, goma xantan. 50

Ilustración 9. Estado de la miga posterior al tratamiento térmico y enfriamiento 50

Resumen

En el mercado actual se encuentran una variedad de alimentos de la línea de panificados poco saludables, por lo que es importante desarrollar alternativas de carácter funcional y económicamente asequibles. Esta investigación analiza el impacto que tiene dos hidrocoloides goma xantan (GX) y carboximetilcelulosa (CMC) en el desarrollo de algunas características físicas de un pan libre de gluten como alternativa a la panificación tradicional, utilizando una mezcla de harinas autóctonas del departamento Nariño; harina de haba, frijol y maíz capio en proporciones idóneas en cuanto a parámetros nutricionales. La valoración composicional experimental en cuanto a macronutrientes es comparable con la registrada en la literatura para cada harina de manera individual, para el mix desarrollado se encuentran valores para grasa para 8,4%, para proteína del 14,32% y fibra del 3,84%. En cuanto a la actividad del hidrocoloide como precursor en la formación de una barrera para retener los productos gaseosos propios de la fermentación, se encuentra una función activa que permitió el desarrollo de algunas características físicas inherentes de un producto panificado tradicional.

Palabras claves: harinas leguminosas, características físicas, pan libre gluten.

Introducción

En la actualidad con los avances técnicos y académicos de la industria alimentaria existe un interés creciente en el desarrollo de alimentos de carácter funcional, en este concepto amplio el desarrollo de productos libres de gluten tiene una tendencia innovadora a nivel mundial, el pan sin gluten se ha convertido en opción de producto panificado con bajo contenido energético y alto en fibra dietética; aún más cuando el consumo de subproductos de harinas refinadas como pasteles, tortas, galletería y otros productos tradicionales de alto contenido calórico va en aumento (López-Martínez et al. 2019).

Se considera que establecer en una alimentación habitual equilibrada nutricionalmente puede ayudar a mejorar los hábitos y estilos de vida como métodos de prevención para el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles. De acuerdo a evidencias científicas es posible obtener un alimento panificado nutritivo cuando se complementa con leguminosas, ya que tienen un alto contenido de proteínas, fibras dietéticas solubles e insolubles, vitaminas y minerales en comparación con los cereales, por ejemplo los frijoles contienen 22 a 24% de proteína y también contiene compuestos fenólicos que representan aproximadamente el 11% del total de semillas(Ganesan and Xu 2017), distintos estudios informan sus beneficios para la salud que incluye la reducción de marcadores lipídicos y la reducción de enfermedad coronaria, el haba como alimento tradicional del departamento de Nariño, es utilizado como fuente proteica, libre de sodio y colesterol, posee Levo- 3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA), compuesto fenólico con potencial antioxidante(Ortiz 2019).

Además, las leguminosas en Colombia por la mayoría de los individuos se consumen en su presentación natural ocasionalmente en cantidades inferiores a las recomendadas por las Guías Alimentarias Basadas en Alimentos-GABA que oscila de 65 a 75 gramos (Arley and Torres 2015), la necesidad de fabricar productos de alta aceptabilidad en el mercado con sustitución de harinas de trigo por leguminosas mejora la calidad nutricional de productos horneados y son económicamente asequibles a todas las comunidades.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación es formular un pan libre de gluten a partir de una mezcla de harinas autóctonas del departamento de Nariño, con adición de carboximetilcelulosa (CMC) y goma xantan (GX) como mejoradores de textura, tiene objeto evaluar parámetros físicos del pan y descripción en macronutrientes de las materias primas.

Planteamiento del problema

En la actual producción agrícola colombiana, se encuentra una alta diversidad de cultivos hortofrutícolas y de cereales, de acuerdo con el tercer censo nacional agropecuario, el área rural dispersa destinada a este fin es tan solo el 7,6% del área total de la extensión territorial que podrán ser aprovechada para dicho fin. Dada esta premisa se infiere que las condiciones productivas a nivel agrícola son limitadas por condicionantes sociopolíticas que han permitido la reducción del cultivo de especies autóctonas que constituyen una cultura ancestral. La zona andina colombiana es un ejemplo vivo de esta problemática, en donde su población predominante está ubicada en el sector rural y caracterizada por una alta diversidad cultural y distribución geográfica.

Dentro de las líneas de producción agrícola de pequeña escala en el departamento de Nariño, se destacan los cultivos de:

Tabla 1 Cultivos a pequeña escala en el departamento de Nariño.

Grupo	Cultivos
Frutales	Aguacate, Banano, Borojó, Breva, Ciruelo, cítricos, Coco, Curuba, Chirimoya, Bananito (Chiro), Chamba, Chontaduro, Durazno, Fresa, Gulupa, Guama, Granadilla, guanábana, Guayaba, Limón, Lulo, Mango, Maracuyá, Mora, Naranja, Papaya, Pepa de Pan, Piña, Patilla, Tomate de árbol, Sandia, Pitaya, Uchuva, Uva, Zapote.

Hortalizas	Ajo, Acelga, Brócoli, Cebolla Junca, Cebolla cabezona, Cilantro, Coliflor, Lechuga, Col, Pepino, Pimentón, Pepino, Repollo, Tomate, Remolacha, Rábano, Zanahoria, Remolacha,
Tubérculos y Plátano	Achira, Arracacha, Ñame, Batata, Papa china, Plátano, Yuca, Olluco.
Leguminosas	Arveja, Frijol, Haba, Habichuela, Maní

Fuente: Plan departamental de extensión agropecuaria del departamento de Nariño PDEA Nariño documento técnico de formulación 2019.

Este tipo de productos han sido cultivados por pobladores étnicamente diferenciados, pretendiendo satisfacer la demanda alimentaria de sus pobladores nativos y de tal forma se relacionan con una economía poco emergente sin valor agregado a nivel industrial, pero representativo del entorno sociocultural de los pobladores, asumiéndose como una costumbre ancestral.

Una producción localizada que ha quedado relegada al cultivo empírico es la producción del haba y del frijol, limitando su estudio, explotación y transformación industrial a pesar de su importancia local, dada la creciente reducción de la población nativa productora y la introducción de otros cultivos de mayor interés económico.

Uno de los productos derivados de estas leguminosas son las harinas provenientes de su molienda, condición que mejora su conservación y versatilidad para una aplicación industrial, la consecución de una matriz alimentaria proveniente dichas harinas autóctonas del departamento de Nariño, podría llegar a ser un desarrollo innovador que permita transformar y trascender el uso

tradicional de estos cultivos y que además considere las demandas emergentes del consumidor entorno a una alimentación equilibrada, teniendo en cuenta las características nutricionales de estas leguminosas; inicialmente se ubica el haba con un alto contenido en proteínas, carbohidratos complejos, fibra dietética, colina, lecitina y compuestos fenólicos (Etemadi et al. 2019), seguidamente el frijol con alto contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y proteína (Pérez-Pérez et al. 2019) y el maíz capio con su alto contenido de metabolitos secundarios como los esteroides (Guerrero, Apráez, and Calderón 2017).

Siendo estas las fuentes primarias para el desarrollo de una matriz alimentaria de alto impacto social ¿Las harinas autóctonas de haba, frijol y maíz capio del departamento de Nariño podrían ser el precursor idóneo para la creación de un pan libre sin gluten de características físicas estables?

Justificación

Los cereales enteros, tostados y molidos, constituyen la base una alimentación natural y son, quizás, el grupo de alimentos más importante (Guerrero et al. 2017), la tendencia actual de buscar nuevas alternativas de alimentación, encaminadas a reducir la utilización de alimentos concentrados, ha llevado al uso de múltiples fuentes alimenticias, en especial de origen vegetal, por considerarse materias primas de bajo costo y aceptable valor nutricional (Olalla 2019).

En Colombia existen numerosos estudios que reconocen las propiedades nutricionales de productos nativos del departamento de Nariño, dentro de estos productos de relevancia cultural se destacan, el haba (*Vicia faba L*), el frijol (*Phaseolus vulgaris L*) y el maíz capio (*Zea mays*). Históricamente se han identificado atributos de calidad nutricional en las tres matrices objeto de este estudio, brindando conocimientos previos para el desarrollo de productos alimenticios funcionales. Dentro de las características de composición nutricional que se han identificado, se encuentra: alto contenido de almidones y compuestos bioactivos como proteínas, antioxidantes tipo antocianinas, colina, levo-di hidroxifenilalanina (L- dopa) y fibra (Pasqualone, Abdallah, and Summo 2020) los cuales constituyen un importante insumo para desarrollo e innovación en la industria alimentaria.

En la actualidad la proyección productiva del haba y del maíz capio, ha presentado una disminución progresiva en el área de cultivo, dada la introducción de productos de mayor relevancia económica, ocasionando además una pérdida sustancial de identidad cultural.

El haba y el maíz capio poseen una complementación de aminoácidos esenciales, por su parte el haba posee un alto contenido en lisina y los cereales como el maíz son buena fuente de metionina (Molina et al. 2016) (Khazaei and Vandenberg 2020), esta propiedad hace que la mezcla de ambos sea idónea para propuestas de desarrollo tecnológico. Es frecuente encontrar desarrollos en la industria de alimentos donde incorporen el haba como sustituto de la harina de trigo debido a su contenido de proteínas entre ellas la albuminas y globulinas las cuales confieren propiedades funcionales a las diferentes aplicaciones industriales entre las que sobresalen la capacidad de gelificación, emulsificación y elasticidad. Dentro de los desarrollos más sobresalientes a partir del haba encontramos la elaboración de galletas (Alegre and Asmat 2016a), croissant (Octavio 2013), snack (Olalla 2019), y pastas (Montalbetti 2018) ; caso contrario es el maíz capio, el cual por ser un recurso autóctono no ha sido explorado en el medio industrial, seguidamente el frijol no es una materia prima alejada de inclusión industrial, aunque su aplicación está limitada a un consumo en su forma natural determinada por el entorno cultural, pocos estudios han observado su potencial aplicación en distintas matrices alimentarias, ejemplo de ello ha sido el desarrollo de compotas utilizando su almidón como espesante (Alejandro et al. n.d.) y en mezclas con diversas harinas para el desarrollo de pastas (Torres 2003).

La tendencia en alimentación está en constante búsqueda que propuestas alimentarias que cubran las necesidades individuales de un público que, cada vez es más consciente de lo que consume, y que está habituando dicho consumo a alternativas que beneficien su salud; por consiguiente la sustitución de harinas de cereales tradicionales como el trigo por harinas de leguminosas consolidan una alternativa en alimentación para

personas con patologías gastrointestinales de clasificación autoinmune (Octavio 2013) y población en general.

Objetivos

General

Diseñar un prototipo de pan sin gluten a base de una mezcla de harinas de haba (*Vicia faba*), frijol (*Phaseolus vulgaris* L) y maíz capio *Zea mays*.

Específicos

- Identificar mediante una revisión bibliográfica los compuestos bioactivos presentes en las harinas de haba, frijol y maíz capio, que brindan características funcionales a la matriz.
- Evaluar el efecto de los hidrocoloides sobre las propiedades fisicoquímicas de la masa y pan sin gluten.
- Determinar propiedades bromatológicas de las harinas utilizadas en la elaboración de la matriz.

Marco teórico

Harinas autóctonas del departamento de Nariño

Harina de Haba (*vicia faba*)

Es un producto que se consigue mediante el proceso de cocción, secado y molienda del haba (*Vicia faba*) logrando obtener un polvo fino o en este caso una harina homogénea apta para el consumo (Menoscal, J. Palma 2019), se caracteriza por su alto contenido en lecitina que le proporciona un efecto emulsionante, se adiciona como mejorante en mezclas de panadería, generalmente un 0.3% a la harina base. La harina de haba contiene una cantidad ejemplar de carbohidratos y proteínas, por lo que se destaca como una fuente importante de almidones y aminoácidos. Además, es un alimento con un contenido significativo de minerales (Fosforo y hierro) y de vitamina B1, es importante fuente fibra soluble e insoluble (Montes 2014).

Harina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L)

En el área investigativa donde se ha obtenido harina de frijol seco se requiere inicialmente el tratamiento térmico en un horno antes de proceder a la molienda hasta obtener un polvo fino, especialmente se requiere un molino de cuchillas comercial equipado con un tamiz de 0.5 mm. Las harinas de frijol se almacenan en la oscuridad a 4 °C (50 - 60% de humedad relativa).

Harina de Maíz Capiro (*Zea mays*)

Esta variedad de maíz criolla una vez cosechado se realiza una selección de la mazorca por tamaño, de tal manera que se desgrana a mano y se aparta para almacenar los granos de la parte central de la mazorca. La semilla se guarda en costales con cal o ceniza para protegerla de los gorgojos y se depositan en un lugar protegido de roedores y de la humedad, en donde puede permanecer hasta un año antes de pasar por un proceso térmico (Fundación Swissaid y Grupo Semillas 2004). El maíz capio hace parte de la cosmovisión de los territorios indígenas por tanto su procesamiento para la obtención de harina se hace partir de un secado en vasija de barro y luego molienda en molino de piedra (FUNDACIÓN SWISSAID 2017).

Harina de Haba, Harina de frijol y Harina de Maíz Capiro, Como materias primas emergentes en la industria alimentaria

Las leguminosas son producidas en diferentes cultivares a nivel mundial y se han convertido en una fuente importante de proteínas para millones de personas que viven en América Latina, África y el Caribe (Wiesinger et al. 2020). Las leguminosas secas son especialmente ricas en ácido fólico, hierro, zinc y compuestos antioxidantes (Rebello et al. 2014), Estos son importantes micronutrientes dietéticos para niños, adolescentes y mujeres en todo el mundo, son una fuente abundante de fibra dietética y fitoquímicos, como oligosacáridos y polifenoles (Ganesan and Xu 2017).

Las leguminosas suelen estar disponibles para los consumidores como semillas enteras secas o productos empaquetados o en lata. Durante el proceso de calentamiento, los gránulos de almidón se gelatinizan y los cuerpos proteicos se

desnaturalizan dentro de las células del cotiledón para volverse comestibles (Wiesinger et al. 2020). Los cuerpos proteicos son modificados para que se optimice su digestibilidad por el contrario los gránulos de almidón permanecen encapsulados detrás de una pared de cotiledón insoluble después de que se hierven los granos previamente remojados o sin remojar (Dhital 2016), además se le ha atribuido la baja respuesta de glucosa en sangre postprandial se atribuye al atrapamiento del contenido celular detrás de las paredes celulares intactas, que impiden que las enzimas digestivas en el estómago y el intestino delgado accedan a los gránulos de almidón gelatinizado durante la digestión (Dhital 2016).

A medida que los consumidores aprenden sobre los beneficios nutricionales de consumir leguminosas secas, la industria alimentaria busca expandir su uso en subproductos alimenticios al procesarlos en harina (Havemeier, Erickson, and Slavin 2017), las técnicas de procesamiento influyen en las propiedades fisicoquímicas de las leguminosas especialmente la concentración de compuestos fenólicos totales, se sabe que la inestabilidad y sensibilidad de los compuestos fenólicos en plantas suelen estar relacionado a ciertos tratamientos de secado (Ortiz 2019).

En general los resultados de Ortiz mostraron que el método de secado en estufa a 38°C presento contenidos más altos de compuestos fenólicos en relación a las muestras secadas por liofilización a -80°C, por tanto para promover la comercialización de productos a base de leguminosas y fundamentar sus propiedades se necesita investigaciones para examinar sus procesamiento industrial, en una reciente investigación de Wiesinger y coautores muestra que la molienda de frijoles crudos tratados térmicamente altera el tejido de la semilla y abre las estructuras celulares en la

matriz alimentaria, independiente del color de la semilla según variedad, siendo así los contenidos intracelulares de micronutrientes como el hierro, ahora pueden interactuar libremente con los polifenoles de las cubiertas de las semillas de los frijoles que también se rompen durante el procesamiento (Rousseau 2020)

Estos podrían incluir interacciones con grupos especializados de polifenoles como compuestos de Kaempferol en los frijoles amarillos que han demostrado promover la absorción de hierro. Estos grupos de polifenoles también tienen actividades antioxidantes y antiinflamatorias que ayudan a proteger contra enfermedades degenerativas que incluyen diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Ganesan and Xu 2017).

Aplicaciones actuales en la industria alimentaria de Materias Primas

Las materias primas referidas en el presente trabajo de grado, son principalmente alimentos poco industrializados dada su baja exploración y reconocimiento de propiedades fisicoquímicas, estas han sido relegadas en Colombia en gran proporcionalidad al consumo de comunidades étnicas y entornos comunitarios, en el caso del maíz capio, este obedece principalmente a una tradición espiritual, considerado un alimento representativo de los aborígenes colombianos, su sistema de producción es de características tradicionales siendo parte de rituales religiosos, las preparaciones ancestrales son sopas y mazorca azada; cuando está sarazo se hacen tortillas y envueltos, cuando ya está maíz se utiliza para la elaboración de mote, champús, chicha y sopa. Del mote se hacen tamales y harina para las arepas (Fundación Swissaid y Grupo Semillas 2004). Particularmente el frijol en aplicaciones alimentarias ha sido parte de algunos desarrollos industriales en preparaciones como sopas y conservas, pero la carga

nutricional identificada en este alimento lo ha hecho foco de atención para la investigación de su inclusión en matrices alimentarias en forma de harina como sustituto parcial de las tradicionales, en la industria de la panificación y galletería se encuentran estudios donde se ha identificado como sustituto ideal en snack funcionales con alto contenido proteico y libres de gluten (Fathonah et al. 2020) y como estabilizante de textura, en donde se ha concluido que el almidón de frijol en productos que requieren elevadas temperaturas de procesamiento, es totalmente viable y seguro como agente espesante.(Alejandro et al. 2017.).

Continuando con la descripción aplicativa de las materias primas, el haba ha sido utilizada como un ingrediente de sustitución parcial en formulaciones de alimentos indulgentes o de consumo masivo con el objetivo de conferir una alternativa nutritiva a los productos estándar del mercado que generalmente son de alto contenido calórico y bajo contenido proteico, las propuestas investigativas han sido; tortillas tipo snacks elaboradas a partir de una mezcla de leguminosas y/o cereales (López-Martínez et al. 2019), (Olalla 2019), galletas artesanales con sacarosa o edulcorantes no calóricos (Alegre and Asmat 2016b), (Ibarra 2017), Pastas alimenticias fortificadas (Hurtado 2016), alimentos de panadería como el croissant (Menoscal, J. Palma 2019). Además existen propuestas de gran impacto de optimización de producción alimentaria y efectos en salud como la sustitución de proteica en embutidos (Perugachi 2014) a propósito las formulaciones de sustitución se relacionan con valores cercanos al 60% en relación con la otra materia prima utilizada ya sea cereal o leguminosa.

Impacto en la salud de la pre mezcla de Harinas autóctonas

La diversificación en las especies nativas de leguminosas como el frijol, haba y la soja, puede estimular uso en la producción alimentaria, postulándose en cultivos esenciales para lograr una seguridad alimentaria sostenible en términos de costo eficiente y calidad nutricional(Jahanzad 2014), en las últimas décadas la deficiencia de micronutrientes es una problemática de categoría global, y es reconocida como hambre oculta.

Las semillas de leguminosas suelen ser ricas en micronutrientes como hierro y zinc, siendo esenciales para el sustento y la función fisiológica óptima de todas las formas de vida del planeta (Huang et al. 2017), por tanto se comprende que las habas están ampliamente disponibles y se utilizan como fuente de proteínas y añaden carbohidratos complejos, fibra soluble y vitaminas y minerales esenciales a la dieta, pero son bajas en grasas, sodio y libres de colesterol (Gallegos 2013). Son una fuente de Levo- 3,4-dihidroxi-fenilalanina (L-DOPA), un ingrediente importante en los medicamentos que se utilizan para tratar a los pacientes con enfermedad de Parkinson(Ramírez-Moreno et al. 2015), este compuesto bioactivo es un aminoácido no proteico, tiene estructura de un ácido fenólico con potencial de funcionar como antioxidante para atrapar a los radicales libres generados en el proceso de estrés oxidativo. Además L-DOPA es el principal precursor del neurotransmisor dopamina, siendo esta la razón por que se utiliza comúnmente en el tratamiento de la enfermedad de párkinson (Ortiz 2019) L-DOPA de fuentes naturales reduce los efectos secundarios en los pacientes, además de tener un costo bajo y retardar la progresión de la enfermedad en relación con la L-DOPA sintetizada químicamente (Ramírez-Moreno et al. 2015)

En recientes estudios de composición proximal para el haba se difieren los siguientes resultados, proteína: 20,8 g/100 g, carbohidratos 50,22 g/100g, fibra dietética 9,5 g/100 g, lípidos 2,71 g/100g además establece un perfil de aminoácidos, Histidina (2,99 mg), Serina (2,9 mg), Arginina (5,56 mg), Glicina (5,21 mg), Acido aspártico (9,11 mg), Metionina (0,99 mg), Acido glutámico (9,34 mg), Treonina (2,23 mg), Alanina (3,45 mg), Prolina (3,4 g), Cisteína (1,12 mg), Lisina (6,75 mg), Tirosina (2,1 mg), Valina (4,51 mg), Isoleucina (4,22 mg), Fenilalanina (4,05 mg) y Leucina (8,45 mg) (López-Martínez et al. 2019), en características químicas como; compuestos fenólicos totales 106,3 mg/g, L-DOPA en grano de 58,95 mg/g (Ganesan and Xu 2017).

El frijol en estudios experimentales en animales demostraron que el polifenol en el frijol común posee propiedades antioxidantes y tiene diversas actividades biológicas que incluyen antidiabético, anti obesidad, antiinflamatorio, antimicrobiano, anticanceroso, hepatoprotector, cardioprotector, neuroprotector, y osteoprotector, estos beneficios para la salud de los frijoles generalmente se adquieren de metabolitos secundarios incluido el contenido de compuestos fenólicos que aproximadamente son 145 mg/g y representan aproximadamente el 11% del total de semillas (Ganesan and Xu 2017). Además en análisis proximales realizados en diferentes investigaciones reportan resultados muy similares para macronutrientes de las materia primas de interés para este estudio, en el caso del frijol, los valores de estos están alrededor de: proteína del 22,8% , carbohidratos 63%, fibra dietaría 15% y lípidos 2,1% (López-Martínez et al. 2019) aunque se encuentran diferencias significativas entre reportes bibliográficos para el contenido de carbohidratos, donde algunos reportes arrojan resultados de un contenido de hasta el 47% (Torres 2003), en cuanto al aporte de aminoácidos, se encuentra que el frijol posee

un contenido de: 3,98 mg de Histidina, 2,5 mg de serina , 6,8 mg de arginina, 4,5 mg de glicina , 9,2 mg de ácido aspártico , 1,55 mg de metionina , 15,2 mg de ácido glutámico , 3,6 mg de treonina , 4,4 mg de alanina , 5,2 mg de prolina , 2,0 mg de cisteína, 6,9 mg de lisina , 2,2 mg de tirosina , 4,9 mg de valina , 5,5 mg de isoleucina , 8,2 mg de leucina, 5,1 mg de fenilalanina. (López-Martínez et al. 2019). El maíz capio, en la investigación de Martínez se demuestra que la composición química del grano es similar a otros tipos de maíz, no obstante, difiere en el bajo contenido de almidón comparado con otras variedades. Almidón (68, 8%), Azúcares totales (1,4 %), Calcio (128,4 mg/kg), Cenizas (1,5 %), Fibra ácido detergente (4,5 %), Fibra cruda (1,9 %), Fibra neutro detergente (9,4 %), Fosforo (0,32 %), Grasa (4,13 %), Materia seca (90 %), Potasio (0,2 %), Proteína cruda (11,9 %) (Guardia, MM, Palacios, IP y Arroyo 2016), de acuerdo a lo anterior el maíz presenta en su composición química un alto contenido de compuestos lípidos, alrededor de un 5%, la concentración de ácidos grasos saturados como el palmítico y esteárico es relativamente bajo con relación a la concentración de ácidos grasos no saturados como el oleico y linoleico, compuestos lipídicos esenciales en la nutrición humana, en cuanto al contenido de micronutrientes el maíz contiene vitaminas liposolubles como la vitamina A y la vitamina E y la mayoría de las vitaminas liposolubles. Dentro de los minerales más predominantes en el maíz se encuentra el fosforo y el azufre, este último contenido en forma orgánica como parte los aminoácidos metionina y cisteína, finalmente en cuanto a su contenido mineral, cabe resaltar su contenido de hierro, el cual puede variar entre 0,1 y 10 mg/100g de maíz, por lo cual un consumo promedio de 250 gramos de maíz con alto contenido de hierro podría cubrir hasta el 50% de los requerimientos diarios de este mineral.(Paz 2009)

Descripción de un pan sin gluten

En Colombia, desde 1988, la harina de trigo que se produce está fortificada con hierro, vitamina B y ácido fólico (Decreto 1944 de 1996, Ministerio de Salud y Protección Social), pero esta práctica no compensa la calidad y la cantidad de los micronutrientes que se obtienen del grano entero y que se pierden con el proceso de refinación. (Tabares 2016)

El gluten de la harina de trigo es responsable de muchas de las características de los productos panificados, como la naturaleza viscosa y elástica necesaria para el procesamiento de la masa, además de proveer la matriz proteica tridimensional que impide la difusión del gas y permitir la formación y estabilización de las paredes alveolares en el pan horneado. Por este motivo, obtener un pan sin el aporte de las propiedades del gluten es todo un desafío (Sciarini, Steffolani, and León 2016).

Sin embargo, la industria alimentaria propone reemplazar el gluten en el pan horneado a través del uso de una mezcla de hidrocoloides, fibras e ingredientes lácteos para que esta mezcla otorgue la funcionalidad necesaria; estas materias tienen mayor capacidad de absorción de agua en relación con la harina de trigo, por tanto, el tiempo de horneado es relativamente más alto, otros factores a considerar durante el proceso de elaboración serían el cambio de amasadora convencional por batidora, y un tiempo de fermentación que oscila entre 60 y 75 minutos

Hidrocoloides: gomas xantana y carboximetilcelulosa (CMC)

Los hidrocoloides se han utilizado ampliamente en productos alimenticios para modificar la textura, mejorar la retención de humedad, controlar la movilidad de agua y mantener la calidad general del producto durante el almacenamiento. Se utilizan con frecuencia en la panificación sin gluten para imitar las propiedades viscoelásticas del gluten aumentando así la retención de gases durante la fermentación y el horneado; por lo tanto mejoran el volumen específico de la masa. (Encina-zelada, Cadavez, and Teixeira 2019).

Goma xantana

La goma xantana (XG), polisacárido producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*, también se utiliza en la panificación, ya que contribuye a la obtención de espumas estables basadas en la interacción proteína-goma, con propiedades reológicas propias de los sólidos viscoelásticos. (Encina-zelada et al. 2019), mejora volumen y textura de la miga.

Carboximetilcelulosa

Es una goma funcional compuesta por unidades de β - glucopiranososa (1-4), es una molécula lineal blanca y cremosa, iónica, sintética y con capacidad de suspensión en agua no tiene olor y puede ser fermentada. (Amer 2019), las variaciones en su concentración aumenta la firmeza de la miga, con afinidad por la fase no polar de la masa, por consiguiente, la afinidad neta de las fases acuosa y no acuosa de la masa ayuda a mantener la uniformidad y la estabilidad de la emulsión de la masa. Esto induce propiedades adicionales, como un aumento de la actividad interfacial en los límites de

los alveolos de gas en expansión, lo que resulta en masas más firmes. (Martínez Jiménez, Rodríguez Sandoval, and Hernández Gómez 2015).

Índices de consumo de pan en Colombia.

Los productos panificados han sido en la historia uno de los derivados de los cereales más consumidos por todos los grupos de edades, tradicionalmente son hechos a partir de harina de trigo u otras especies de harinas enteras o refinadas, se caracteriza por su composición nutricional balanceada ya que se considera fuente de energía por su contenido de carbohidratos y dependiendo de su base de elaboración poseen contenido variable de proteínas, vitaminas del complejo B, minerales y fibra dietética. En Colombia durante la última década, el consumo per cápita de trigo ha sido estable, según la Cámara FEDEMOL el consumo de este cereal esta alrededor de los 31 kilogramos per cápita promedio, al igual que el consumo de harina de trigo cercano a los 22 kilogramos per cápita promedio. Según el DANE, la industria de galletería y productos de panadería en Colombia aportó al valor agregado de la elaboración de productos de panadería y molinería un total de \$3.16 billones en 2015. Esta actividad productiva en particular registró un crecimiento de 4,3% en 2015 frente a 2014. La categoría de panes, con una participación de 59,7%, lideró este importante segmento del mercado de galletería y productos de panadería en Colombia. (Alcaldía de Medellín 2019). Por consiguiente el crecimiento económico de este sector se relaciona con las practicas alimentarias de la población colombiana de 18 a 64 años de edad, este planteamiento se observa en la encuesta nacional de situación nutricional de Colombia (ENSIN 2015), donde existe una prevalencia de consumo de pan de 88.2% y una frecuencia / día de 1.6 (84 g) y por

regiones para el consumo de pan, la menor prevalencia se encontró en la región central con 85.1% , la región pacífica 85,5% y la región Orinoquia-Amazonia 85,7% y la mayor prevalencia en la región de Bogotá 93%. Según el análisis poblacional, los sectores que conforman el cuartil de riqueza alto reportan el mayor consumo de pan con respecto al nivel más bajo.

Estandarización de la producción de pan sin gluten

Dentro de la estandarización de procesos productivos de alimentos panificables, la industria puede hacer uso de diferentes modelos de formulación, uno de ellos es el método más general en donde a cada insumo le corresponde un porcentaje del valor global, aunque esta metodología no es la más utilizada para esta línea de productos, un segundo método es en donde la base de la formulación es el total de la harina, constituyendo así el 100% de la mezcla y con base a este valor se determinan los porcentajes de los demás componentes.

Estudios recientes evalúan la sustitución total o parcial de la harina de trigo en estas formulaciones por otros tipos de harinas, que presentan un comportamiento similar a esta y dan productos con características sensoriales similares a las que caracterizan los productos tradicionales.

Tabla 2. Formulaciones experimentales de pan sin gluten.

Referencia	(Encina- zelada et al. 2019)	(Martínez Jiménez et al. 2015)	(Mohammadi et al. 2014)	(Mohammadi et al. 2015)	(Encina- Zelada et al. 2018)
HARINA	Maíz 50% arroz 30%, quinua blanca 20%).	Arroz 47 %, almidón modificad o de yuca 23%, almidón de maíz 23%, proteína de soya 5%.	Almidón de maíz 1750 g; harina de arroz 750 g; harina de soya sin grasa 500 g, almidón de maíz pregelatinizad o 100 g.	Almidón de maíz 37,5 % harina arroz 50%, harina de soya 12,5 %.	Harina de arroz 50%, harina de maíz 30%, harina de quinua 20%
AGUA	100%	28%	NA	NA	110%
	Aceite de girasol	Margarin a	Aceite vegetal 3%	Aceite vegetal	Aceite de girasol

MATERIA GRASA	6%	28%		5%	6%
AZUCAR BLANCO	3%	5%	2%	5%	3%
SAL REFINADA	1.5%	2%	2%	1.8%	1.5%
LEVADURA INSTANTANEA	3%	3%	1.3%	1.8%	3%
HUEVO	NA	NA	2%	NA	NA
MEZCLA DE HIDROCOLOID E	4%	(CMC + DATEM) 0.5%	(Goma Xantana y CMC entre 5 - 15 g/100g individual)	DATEM 1 g Goma guar 30 g /100 g de harina, glutaminasa 10 ug /1g de proteína básica de	Goma xantana entre 1,5 y 2,5 %

				cada fórmula.)	
CONSERVANT E / OTROS	NA	Propionat o de Ca 0.5%	Lactilato de estearoilo de sodio (Emulsificante) 0.5%	Inulina 2,5% caseinato de sodio 1 %	NA
CONDICIONES DE FERMENTACIÓ N	T°= 30°C Tiempo= 70 minutos	T°= 35 - 38°C Tiempo= 30 minutos	T°= 38°C Tiempo=40 minutos	T°= 30°C Tiempo=45 minutos	T°= 30°C Tiempo=60mi nutos
HORNEADO	T°= 190°C Tiempo= 60 minutos	T°= 200°C Tiempo= 25 minutos	T°= 260°C Tiempo=14 minutos	T°= 230°C Tiempo=30 minutos	T°= 190°C Tiempo=60 minutos

Las etapas siguientes son posteriores a la consecución del producto terminado, en donde sus variables de control son decisivas para el aseguramiento de la calidad y eficiencia del proceso de esta etapa inicial, con el proceso de enfriamiento a temperatura ambiente por un tiempo aproximado de 45 minutos, posteriormente se realiza el empaclado y etiquetado para continuar con el almacenamiento en un ambiente limpio, fresco; a temperatura ambiente, Finalmente se determinan las variables fisicoquímicas mas relevantes del producto terminado.

Metodología

Materias primas

Las materias primas utilizadas en la elaboración de las galletas fueron: harina de haba, harina de frijol, harina de maíz capio (obtenidas del mercado local Pasto en la plaza principal Proterillo), mantequilla sin sal, huevo, azúcar, CMC, goma xantana y levadura.

Obtención de la mezcla de harinas

El Fundamento de la preparación de mezclas de leguminosas y cereales es la complementación de los aminoácidos de ambos productos de tal manera de elevar el cómputo químico, trayendo como consecuencia una mayor digestibilidad (Auquiñivin Silva and Castro Alayo 2016) entonces el proceso se lleva a cabo por el pesado en balanza digital, para obtener la cantidad adecuada de compuestos nutricionales de cada tipo de harina.

- Harina de haba
- Harina de frijol
- Harina de maíz capio

El mezclado se realiza de forma manual por aproximadamente 5 minutos.

Formulación pan sin gluten

Pesado y mezcla de harinas (base 100%)

Harina de frijol: 38%

Harina de haba:25%

Harina de maíz: 12%

Almidón de maíz/ yuca: 25%

Huevo: 2%

Sal: 2%

Activación de la levadura seca (Con respecto al 100% de la mezcla de harinas)

Levadura: 1.5%

Agua: 95%

Azúcar: 2.5%

Miel: 3.8%

Disposición hidrocoloide (Con respecto al 100% de la mezcla de harinas)

Aceite: 3%

Hidrocoloide: Entre 5 – 15 %

Mezclado

Fermentación

80 minutos a temperatura ambiente.

Horneado

Condiciones Temperatura: 260°

Tiempo: 60 min

Enfriamiento

Hasta alcanzar temperatura interna de 32°C.

Variables físicas evaluadas en el pan.

A continuación, se describen las variables a medir en el pan molde libre de gluten

Tabla 3. Variables físicas evaluadas en el pan.

Variable	Rendimiento	Altura (H)	Volumen específico	Estructura de la miga
Equipo	Balanza	Pie de rey	Pie de rey y balanza	Observación de la formación de la miga
Estimación	Relación masa antes de fermentación / masa producto terminado.	Promedio de las alturas de los extremos y de la mitad de la muestra.		Diferencial de peso inicial y final.

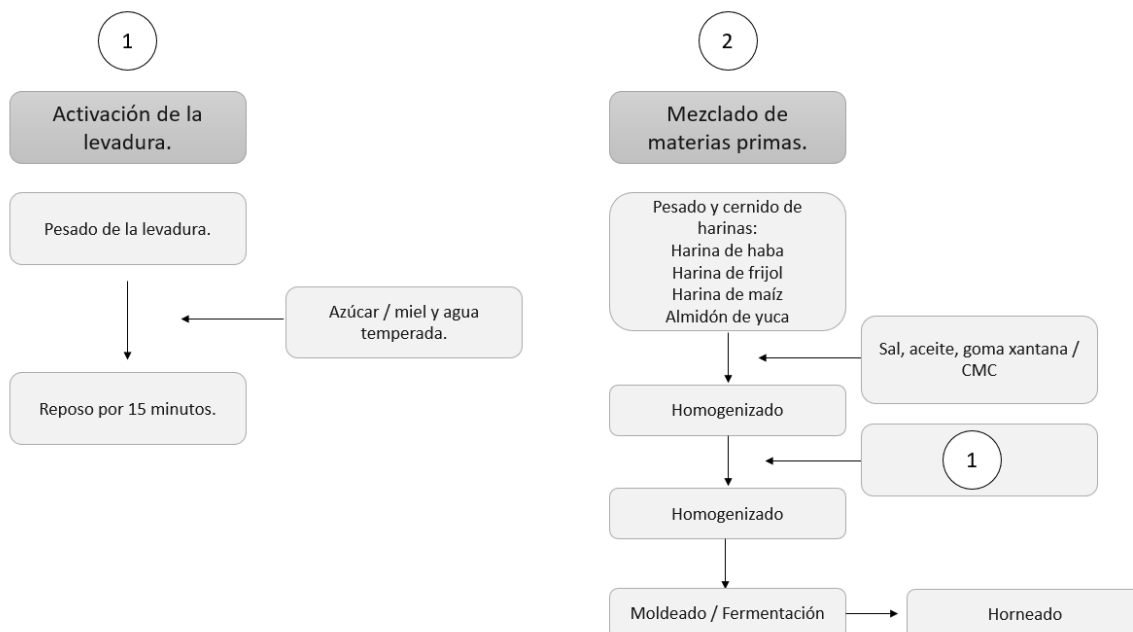


Ilustración 1. Flujograma de proceso para elaboración de pan libre de gluten a base de harinas autóctonas del departamento de Nariño.

Fuente: Presente investigación.

Descripción del procedimiento

A continuación, se indica los ingredientes, la cantidad en porcentaje (%) y gramos, la propuesta del producto se ejecuto teniendo en cuenta la revisión metodológica de estudios experimentales previos.

Tabla 4. Descripción de elaboración pan molde

FORMULACIÓN BASE		
MIX DE HARINAS	%	(g)
Harina de haba	60	360
Harina de frijol	20	120
Harina de maíz	20	120
ADITIVOS	%	(g)
Fécula de maíz	5	15
Hidrocoloide	2	6
Sal	1,5	4,5
Aceite	3	9

Levadura	1,5	4,5
Agua	100	300
Azucar	3	9
Miel	4	12

CONDICIONES DE FERMENTACIÓN

Método directo
T°: 35°C
HR: 80%
Tiempo: 40 min

CONDICIONES DE HORNEO

CMC	Temperatura	160°C
	Tiempo	35 min

Goma xantan	Temperatura	160°C
	Tiempo	35 min

GX + CMC	Temperatura	170°C
	Tiempo	40 min

Fuente: Presente investigación.

Resultados y Discusión

Tabla 5. Características físicas del pan molde

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	GX		CMC		GX-CMC		CONTROL	
	I1	F1	I1	F1	I1	F1	I1	F1
Masa (g)	647,5	638,5	650,2	639,9	651	615	623	615
Alto (cm)	3,7	5,8	4,7	5	5	5,3	4,5	3,2
Ancho (cm)	11	11	11	11	11	11	11	10,2
Largo (cm)	11,4	11,8	11,1	10,3	11	10	18,5	19,9

	GX	CMC	GX-CMC
--	----	-----	--------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	I2	F	F	F
Masa (g)	65	64	55	54
Alto (cm)	3,	5,	4	6,
Ancho (cm)	11	11	10	10
Largo (cm)	11	11	11	15

I1: Característica física antes del horneado de la muestra 1

I2: Característica física antes del horneado de la muestra 2

F1: Característica física después del horneado de la muestra 1

F2: Característica física después del horneado de la muestra 2

GX: Goma Xantan

CMC: Carboximetilcelulosa

Fuente: Presente investigación.

Tabla 6. Características bromatológicas de las materias primas.

Característica	Harina de haba	Harina de frijol	Harina de Maíz Capio	Mix Harinas
Humedad (%)	7,45	7,12	6,67	7,27
Cenizas (%)	1,03	1,01	1,04	1,02
Proteína Total (%)	13,22	20,91	9,65	14,32
Fibra cruda (%)	2,87	5,72	1,98	3,84
Grasa Total (%)	-	-	10,4	8,4

* Los valores en esta tabla presentan a la media de 1 réplica de cada harina con 2 u 3 mediciones.

Fuente: Presente investigación.

Humedad

Como es indicado la humedad de la harina de haba detectada representa un valor inferior en comparación con lo obtenido por (Calixto 2020) 11,87% de humedad, de igual manera en los resultados de autores como (Olalla 2019) reportan para humedad un valor de 7,38 %, no obstante, cabe recalcar que existen reportes con estándares significativos de variación en tanto que el año 2017 (Perugachi 2020) mencionan un valor promedio de 10,47 % y 11,26 % respectivamente. Conforme a lo anterior se difiere que el contenido de humedad varía entre 7,38% y 11,87% : siendo el 7,38% el valor más

cercano a lo obtenido; en la harina de frijol se identifica en la revisión bibliográfica un valor de 9,37% resultado experimental de(Valencia 2020), Romero (2020) reporta un 9% así mismo el autor (Escobeto 2021) reporta valores entre el 9 y 12%, Para el maíz Capiro no se obtiene antecedentes, según (Guardia 2016) esta raza de maíz es el producto de la hibridación entre las especies maíz Confite (proveniente de Perú) y Tripsacum, con alguna influencia de otras razas colombianas que crecen en la parte norte del Chocó y regiones contiguas de Panamá (Guardia, MM, Palacios, IP y Arroyo 2016) por tanto se considera un producto primitivo y endémico, En la mezcla de las tres harinas se obtiene un valor similar a las harinas en su análisis particular, en general cabe mencionar que la variación en el contenido de componentes químicos depende de la variedad, zona y las condiciones de cultivo, cosecha, postcosecha de la leguminosa que intervienen directamente en fresca al momento de ser procesados para la obtención de la harina

Cenizas

Como es demostrado por (Olalla 2019) la harina de haba posee un 2,35% ,en tanto que este valor es apartado a lo resultante en la presente investigación, ahora bien los valores obtenidos por (Quicaliquín 2019) 4,65 %, en referencia es relativamente superior a valor reportado por (Alvarado 2017), referente a lo anterior existe consistente variabilidad en los resultados, en el frijol, (Valencia 2020) describe cifras entre el 3 a 6,8 %, por otro lado (Fernández 2017) da valores que oscilan de 2,53% a 8,24%, en maíz Capiro para (Guardia 2016) muestra un valor obtenido de 1,21% cifra cercana a los resultados propios, de igual forma para la mezcla de harinas existe valores similares a lo anterior descrito para el maíz.

La discrepancia representa que las cenizas hacen colación a un término analítico que puede variar dependiendo de las características del suelo de cultivo, así como la genética del cultivar, además se considera un equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica en otras palabras compacta minerales contenidos en una muestra influidos, en tal caso por el potencial biológico de abonos y sustancias alelopáticas contenidas en el suelo, que generan cambios evidentes en subproductos como la harina.

Proteína

La proteína en el grano de haba (13,22 %), fue inferior (25 %) en relación a valores reportados por por (Quicaliquín 2019), de modo similar (Alvarado 2017) 23,1 % en haba seca, de acuerdo con lo identificado por (Ganesan and Xu 2017) el valor referente a la composición de este macronutriente oscila entre el 22 y 20%, siendo así los resultados indican variedad en los diferentes estudios encontrados y esta diferencia se debe a la influencia de los factores ambientales (clima, naturaleza del suelo, intensidad y calidad de luz, temperatura a la que el cultivo está expuesto, cantidad de CO₂ en el ambiente), genéticos de la leguminosa (variedad), y fisiológicos (estado de madurez en la recolección); Este conjunto de factores provocan modificaciones en el contenido de proteína. los resultados encontrados en la proteína del frijol, indican que la máxima concentración 49,3% es mencionada por (Fernández 2017) y la mínima concentración, obteniendo un porcentaje de 28,325% por el mismo autor, indicando que la diferencia es ocasionada por la variedad estudiada, en la presente investigación con un resultado de (20,91%) es inferior a la relación bibliográfica encontrada, puesto que

(Valencia 2020) indica que el frijol es una de las principales fuentes de proteína con un 21,22% a 24,81% en su contenido de proteína, para el maíz capio se da a conocer las siguientes referencias respecto a distintas razas criollas conocidas; según el autor (Agama 2011) reporta valores que variaron de 6.73 a 9.37% (promedio 8.56%) para la raza de maíz criollo Tabloncillo y de 7.56 a 9.36% (promedio 8.84%) para la raza Chalqueño; entre tanto, la comparación entre los resultados literarios y los cuantificados experimentalmente (9,65%) fue similar por ubicarse entre los rangos numéricos encontrados, no obstante se aleja de 11,9% resultados de (Guardia 2016). Por otro lado, el mix de harinas presenta un resultado cercano a lo identificado en la harina de haba.

Fibra cruda

El termino fibra cruda comprende todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas, que no se disuelven tras hidrólisis sucesivas; una en medio ácido y otra en medio alcalino. Los principales componentes son la celulosa (90%), hemicelulosas y lignina (15%), conformando así la fracción mayoritaria insoluble de la fibra alimentaria.

El contenido de fibra cruda del haba fue similar en las muestras analizadas, el resultado fue significativamente inferior (2,87%) a los valores de 4,5 % y 8,5% obtenidos por (Alvarado 2017) para haba verde y seca, en el frijol se encuentran datos en un rango de 5,556 % a 19,864 % conforme a los datos reportados por (Fernández 2017) ubicándose en una cifra de similar a los resultados encontrados en el presente estudio, por otro lado (Aguirre 2010) muestran que la fibra de esta leguminosa es de 1,35% a 2,77% de igual

forma con discrepancia en el resultado del presente estudio. La fracción de fibra cruda en el maíz capio fue superior a 1,0 y 1,7% reportado por (Guardia 2016) respectivamente.

Grasas

En relación al contenido de grasa total que presenta el del maíz capio, es evidente la superioridad (10,4%) respecto a lo reportado (Guardia 2016), el cual en sus análisis indica que el cereal autóctono procedente del chocó presenta un contenido relativo entre el 3,87% a 7,16%, el contenido de mix de harinas representa 8,4 % resultado incide en palatabilidad en subproductos alimentarios elaborados.

VARIABLES FÍSICAS DEL PAN MOLDE

Peso

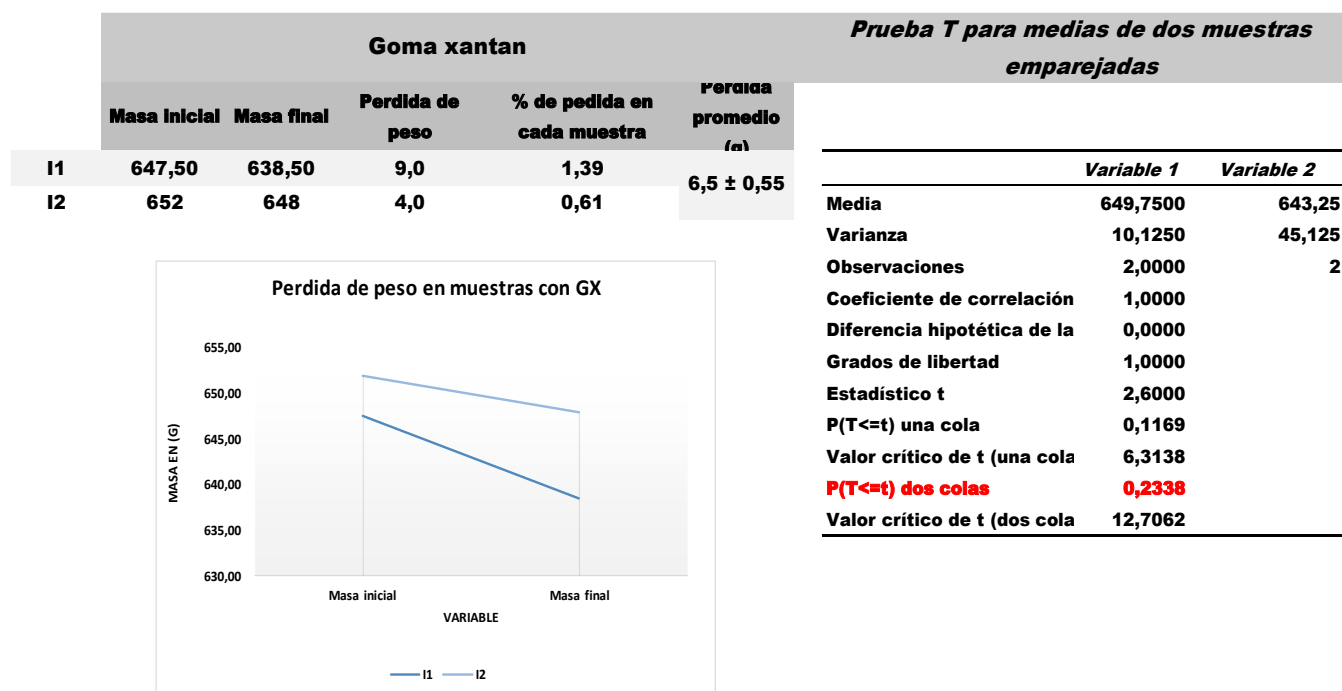


Ilustración 2. Resultados peso del pan molde elaborado con goma xantán.

En el caso de las muestras tratadas con goma xantán, el parámetro de peso valorado antes y después del horneado, no presenta diferencias significativas, la pérdida de peso por humedad oscila entre 0,61 y 1,39%, valor que permite dar indicios sobre la formación de una red o capa con un impacto positivo para la retención de vapores producidos en la fermentación y vapor de agua en el proceso de horneado.

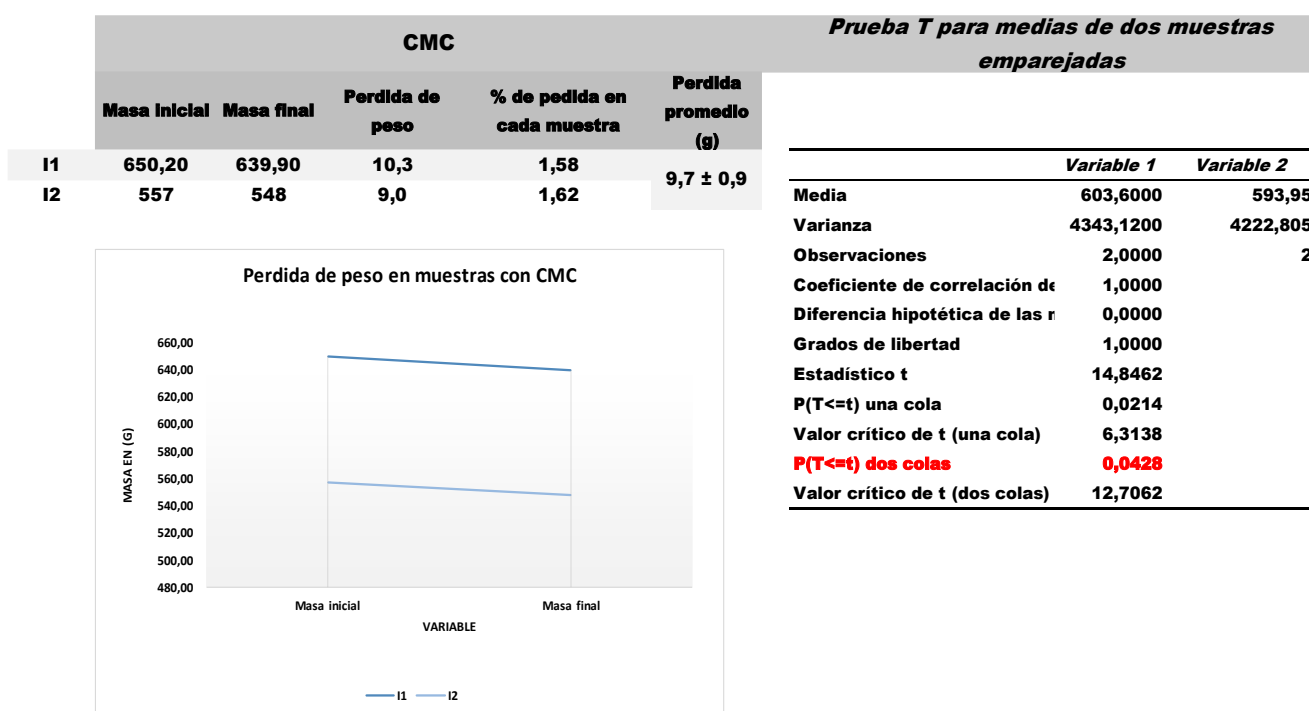


Ilustración 3. Resultados peso del pan molde elaborado con carboximetilcelulosa.

Las medias de las muestras adicionadas con CMC presentaron diferencias significativas para la variable peso evaluada antes y después del proceso de horneado, resultado que podría ser respuesta a una baja capacidad de retención de vapores por parte de este hidrocoloide en análisis.

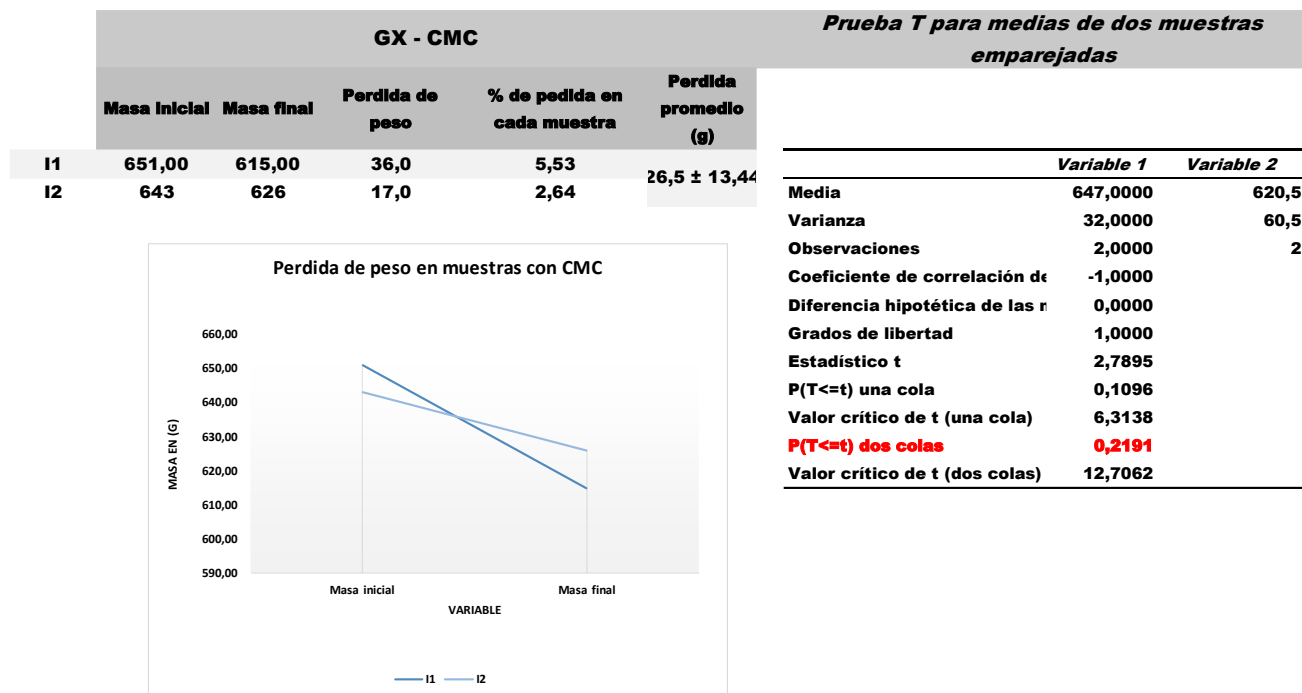
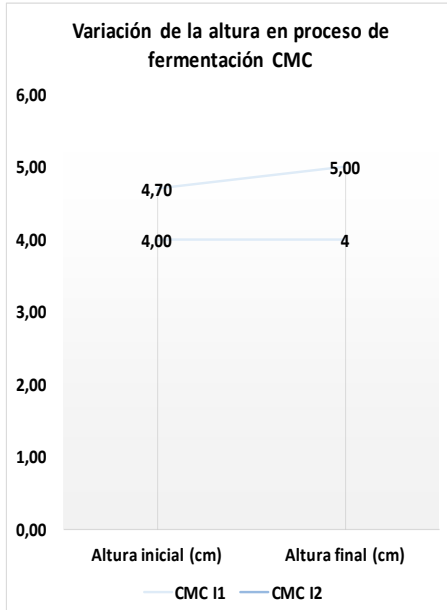
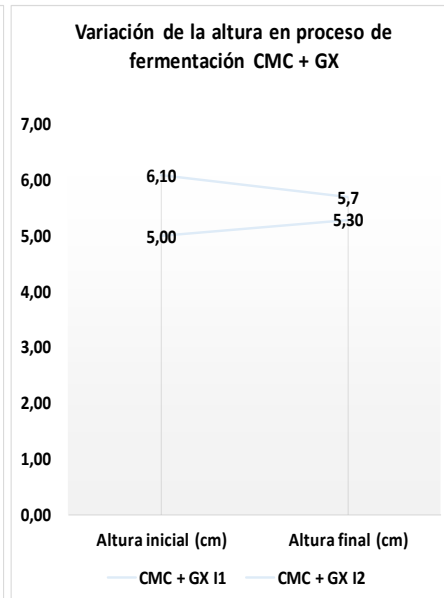
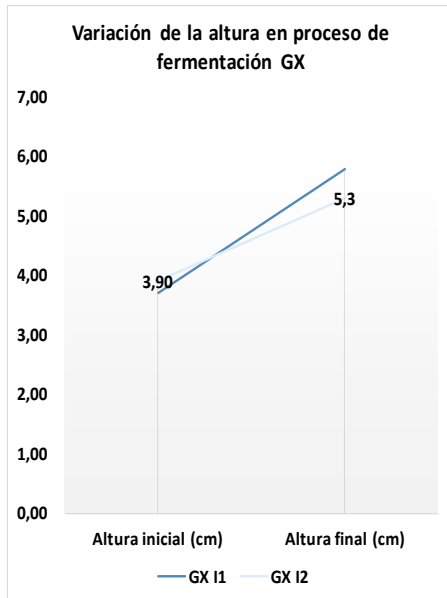


Ilustración 4. Resultados peso pan molde con carboximetilcelulosa y goma xantan.

El parámetro peso para las muestras con mezcla de hidrocoloides (CMC + GX) no presentaron diferencias significativas, se encuentra una pérdida de peso por humedad que se encuentra entre el 2,6 y el 5,5 % del peso inicial de la muestra (en fresco).

Alto

	<i>Altura Inicial</i>	<i>Altura final</i>		<i>Altura Inicial</i>	<i>Altura final</i>		<i>Altura Inicial</i>	<i>Altura final</i>
GX I1	3,70	5,80	CMC I1	4,70	5,00	CMC + GX	5,00	5,30
GX I2	3,90	5,3	CMC I2	4,00	4	CMC + GX	6,10	5,7



Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (GX)			Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (CMC + GX)		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>		<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	3,8000	5,55	Media	5,5500	5,5
Varianza	0,0200	0,125	Varianza	0,6050	0,08
Observaciones	2,0000	2	Observaciones	2,0000	2
Coefficiente de correlación de Pearson	-1,0000		Coefficiente de correlación de Pearson	1,0000	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000		Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	1,0000		Grados de libertad	1,0000	
Estadístico t	-5,0000		Estadístico t	0,1429	
P(T<=t) una cola	0,0628		P(T<=t) una cola	0,4548	
Valor crítico de t (una cola)	6,3138		Valor crítico de t (una cola)	6,3138	
P(T<=t) dos colas	0,1257		P(T<=t) dos colas	0,9097	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062		Valor crítico de t (dos colas)	12,7062	

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (CMC)		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	4,3500	4,5
Varianza	0,2450	0,5
Observaciones	2,0000	2
Coefficiente de correlación de Pearson	1,0000	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	1,0000	
Estadístico t	-1,0000	
P(T<=t) una cola	0,2500	
Valor crítico de t (una cola)	6,3138	
P(T<=t) dos colas	0,5000	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062	

Ilustración 5. Resultados de variación de la altura en proceso de fermentación en elaboración del pan molde

Para ninguna de las muestras analizadas se encontraron diferencias significativas entre la altura pre y pos-horneo, se observa en particular que una de las muestras del duplicado al que se le aplicó la mezcla de hidrocoloides (CMC + GX), presentó una disminución poco representativa en su altura. Datos que permiten intuir que la ganancia de altura para todas las muestras debe en mayor medida a la acumulación y retención

en el tiempo de gases producto de la fermentación aeróbica de la levadura más que por el vapor de agua procedente del tratamiento térmico.



Ilustración 6. Imágenes del pan molde previo a tratamiento térmico.



Ilustración 7. Imágenes del pan molde posterior a tratamiento térmico.

Ancho

El ancho de las muestras se presenta como una constante dada la utilización de moldes de igual medida para todas las muestras.

Largo

	Largo inicial	Largo final (cm)		Largo inicial	Largo final (cm)		Largo inicial	Largo final (cm)
GX I1	11,40	11,80	CMC I1	11,10	10,30	CMC + GX	11,00	10,00
GX I2	11,20	11,5	CMC I2	11,80	11,00	CMC + GX	16,00	15,5



Prueba t para medias de dos muestras emparejadas GX

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	11,3000	11,65
Varianza	0,0200	0,045
Observaciones	2,0000	2
Coefficiente de correlación de Pearson	1,0000	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	1,0000	
Estadístico t	-7,0000	
P(T<=t) una cola	0,0452	
Valor crítico de t (una cola)	6,3138	
P(T<=t) dos colas	0,0903	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062	

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas GX + CMC

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	13,5000	12,75
Varianza	12,5000	15,125
Observaciones	2,0000	2
Coefficiente de correlación de Pearson	1,0000	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	1,0000	
Estadístico t	3,0000	
P(T<=t) una cola	0,1024	
Valor crítico de t (una cola)	6,3138	
P(T<=t) dos colas	0,2048	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062	

Ilustración 8. Resultados alto pan molde carboximetilcelulosa, goma xantan.

El análisis por medio de la prueba t student, permite identificar que los valores de la media estadística de las mediciones tomadas al parámetro del largo antes y después del proceso de horneado no presentan diferencias significativas, es decir que dicho parámetro no se vio impactado significativamente por el tratamiento térmico.

Las observaciones experimentales de la influencia del uso de hidrocoloides en algunas características físicas de un pan sin gluten, permiten identificar otras variables que podrían extenderse en un estudio póstumo, dichas variables hacen referencia a la formación de alveolos y caracterización de la migra obtenida, en este estudio se observó la formación de esta última en forma similar para los diferentes ensayos, la cual presentaba alveolos cerrados y miga húmeda.

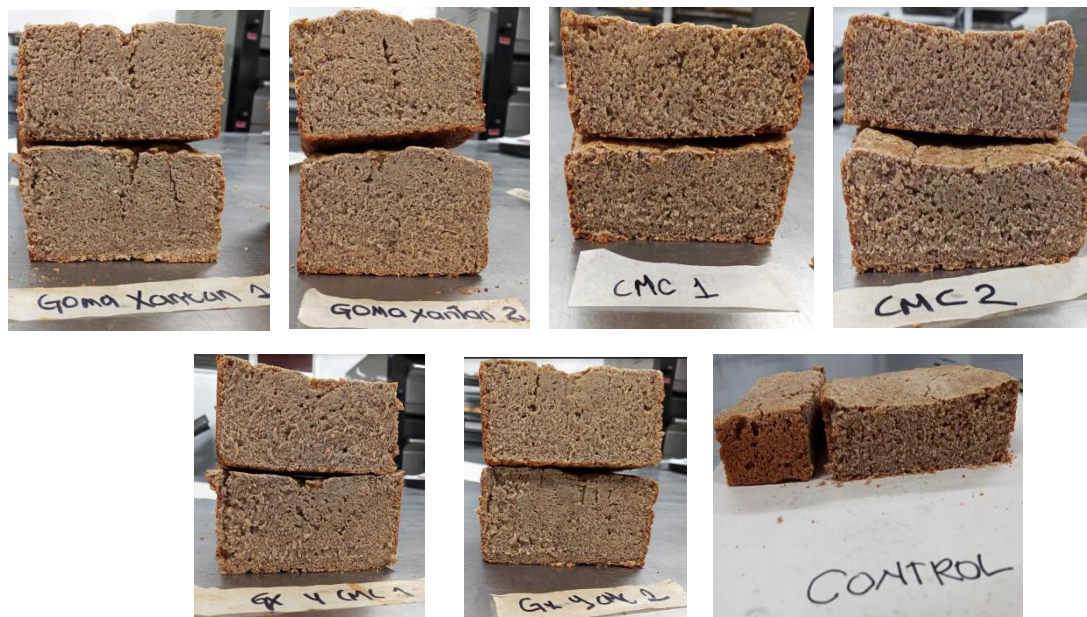


Ilustración 9. Estado de la miga posterior al tratamiento térmico y enfriamiento

Los resultados de los análisis obtenidos, aunque no concluyentes de manera definitiva, permiten identificar a los hidrocoloides como un buen aliado para la retención de gases producto de la fermentación característica de las matrices panificables. Dentro de las observaciones se encuentra, que la muestra control no tuvo la capacidad de retener dichos metabolitos y su forma final fue delgada y alargada, característica que no presentaron las muestras adicionadas con goma xantan, CMC y la mezcla de ambos, las cuales conservaron en gran medida su atura, largo y peso.

Conclusiones

- Dentro de la composición química de las matrices alimentarias investigadas, las fuentes bibliográficas citadas coinciden en los rangos de contenido para macro y micronutrientes, componentes fundamentales de las propiedades funcionales, tanto el frijol como el haba presumen de alto contenido de proteína, compuesto altamente valorado como constituyente de una dieta equilibrada, estos valores oscilan entre el 22,8% y el 20,8% respectivamente, parte determinante de esta característica es la generosa concentración de aminoácidos, encontrándose valores para histidina entre 2,99 mg y 3,98 mg, serina entre 2,9 mg y 2,5 mg, arginina entre 5,56 mg y 6,8 mg, Glicina entre 5,21 mg y 4,5 mg, Acido aspártico entre 9,11 mg y 9,2 mg, Metionina entre 0,99 mg y 1,55 mg, acido glutámico entre 9,34 mg y 15,2 mg, treonina entre 2,23 mg y 3,6 mg, alanina entre 3,45 mg y 4,4 mg, prolina entre 3,4 g y 5,2 mg, cisteína entre 1,12 mg y 2,0 mg, lisina entre 6,75 mg y , 6,9 mg, Tirosina entre 2,1 mg y 2,2 mg, Valina entre 4,51 mg y 4,9 mg, Isoleucina entre 4,22 mg y 5,5 mg, Fenilalanina entre 4,05 mg y 5,1 mg y Leucina entre 8,45 mg y 8,2 mg para haba y frijol respectivamente. Seguidamente la composición de compuestos fenólico de carácter antioxidante son los responsables de dar el valor agregado a estas semillas, para el haba se encuentra una composición fenólica total aproximadamente de 106,3 mg/g, en el caso del frijol se encuentra aproximadamente en 145 mg/g, por su parte el maíz posee cantidades importantes de minerales, entre los cuales el más relevante es el

contenido de hierro el cual podría cubrir hasta el 50% de los requerimientos diarios.

- Los análisis bromatológicos en la materia prima se cuantificó lo siguiente; para la Harina de haba 7,45 % humedad, proteína 13,22 %, cenizas 1,03%; fibra cruda 2,87% , para la harina de frijol 7,12 % de humedad, proteína 20,91%, cenizas 1,01 %, fibra cruda 5,72%; harina de maíz capio 6,67% Humedad, proteína 9,65%, grasa 10% y cenizas 1,03%, fibra cruda 1,98% y en el mix de harinas 7,27 % Humedad, proteína 14,32 %, grasa 8,4% ,cenizas 1,02%, fibra cruda 3,84% La harinas y su mezcla proporcional presentaron valores de fibra cruda similares.
- La proporción del mix de harinas, no posee literatura experimental para comparar los resultados anteriormente descritos, por tanto el presente trabajo da a conocer una discusión de resultados de las harinas individualmente.
- La combinación de las harinas de frijol, haba y maíz podría ser potencialmente el insumo principal para desarrollo de productos alimenticios con alto valor biológico y además su uso permitiría una exploración más rigurosa sobre sus beneficios.
- El desarrollo experimental de un pan sin gluten a partir de la mezcla de harinas de haba, frijol y maíz capio y el uso de hidrocoloides, permitió identificar la viabilidad del uso de estas harinas en el área de la panificación, adicionalmente identificar como una buena opción para la obtención de algunas características físicas del pan, el uso de la goma xantan, la cual mejora la retención de gases producto de la fermentación natural de la levadura y del vapor de agua generado durante el proceso de horneado dando como resultado un producto de mayor volumen que conserva de forma más homogénea el moldeado inicial. Se identifica, además,

diferencias entre el volumen antes del proceso de fermentación y posterior a este, por el contrario, no se observan diferencias significativas para los valores promedios de las dimensiones tomadas antes y después del proceso de horneado, hecho que permite evidenciar la función de este hidrocoloide como insumo activo en la formación de redes que evitan la pérdida de compuestos gaseosos.

Referencias

Alejandro, Y, Marrugo L, Rios, I, Martínez, C, Severiche C, Jaimes, C, . 2017. “Elaboración de Un Alimento Tipo Compota Utilizando Como Espesante El Almidón Del Frijol Zaragoza(Phaseolus Lunatus).” *Revista de Investigacion Agraria y Ambiental* 119–25.

Alcaldía de Medellín. 2019. “Inteligencis de Mercados Componente: Estudios de Mercado Sectoriales, En Línea Con La Política Pública de Desarrollo Económico de Medellín ESTUDIO DE MERCADO: Procesamiento y Conservación de Frutas,Legumbres, Hortalizas y Tubérculos Para Medellín.” 1–42.

Alegre, Kirsteen, and Rosa María Asmat. 2016a. “SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO POR HARINA DE HABA (Vicia Faba L.), EN LA ELABORACIÓN DE GALLETAS FORTIFICADAS USANDO PANELA COMO EDULCORANTE.” 161.

Alegre, Kirsteen, and Rosa María Asmat. 2016b. “Sustitución Parcial de La Harina de Trigo Por Harina de Haba En Galleta Fortificada Usando Panela Como Edulcorante.” 161.

Alejandro, Yesid, Marrugo Ligardo, Isabel Cristina Rios-dominguez, César Enrique, Martínez Pájaro, Carlos Alberto Severiche-sierra, Carmen Jaimes, Grupo De, Salud Maas, and Universidad De Cartagena. n.d. “Elaboración de Un Alimento Tipo Compota Utilizando Como Espesante El Almidón Del Frijol Zaragoza (Phaseolus

Lunatus) Elaboration of a Compote Using as Thickener the Starch of the Zaragoza Bean (Phaseolus Lunatus).” *Revista de Investigacion Agraria y Ambiental* 119–25.

Alexandra Margarita Gallegos Chango. 2013. “ELABORACIÓN DE GALLETAS CON UNA MEZCLA DE HARINA DE BANANO (*Musa Cavendishii*), HARINA DE TRIGO Y GLUCOSA.”

Amer, Thanaa A. M. 2019. “Influence of Carboxy Methyl Cellulose and Xanthan Gum on the Quality Characteristics of Gluten Free Cake.” 825–38.

Arley, Edwin, and Rivera Torres. 2015. *Guías Alimentarias*.

Auquiñivin Silva, Erick Aldo, and Efrain Manuelito Castro Alayo. 2016. “Elaboración de Galletas Enriquecidas a Partir de Una Mezcla de Cereales, Leguminosas y Tubérculos. Chachapoyas, Región Amazonas.” *Industrial Data* 18(1):84. doi: 10.15381/idata.v18i1.12069.

Dhital, S., Bhattarai, R. R., Gorham, J., & Gidley, M. J. 2016. “Intactness of Cell Wall Structure Controls the in Vitro Digestion of Starch in Legumes.” *Food & Function* 7(3):1367–1379.

Encina-Zelada, Christian R., Vasco Cadavez, Fernando Monteiro, José A. Teixeira, and Ursula Gonzales-Barron. 2018. “Combined Effect of Xanthan Gum and Water Content on Physicochemical and Textural Properties of Gluten-Free Batter and Bread.” *Food Research International* 111(May):544–55. doi: 10.1016/j.foodres.2018.05.070.

Encina-zelada, Christian R., Vasco Cadavez, and Jos A. Teixeira. 2019. “Optimization of Quality Properties of Gluten-Free Bread by a Mixture Design of Xanthan, Guar, and Hydroxypropyl Methyl Cellulose Gums.” *Foods* 8(156):1–23.

Etemadi, Fatemeh, Masoud Hashemi, Allen V. Barker, Omid Reza Zandvakili, and Xiaobing Liu. 2019. "Agronomy, Nutritional Value, and Medicinal Application of Faba Bean (*Vicia Faba* L.)." *Horticultural Plant Journal* 5(4):170–82. doi: 10.1016/j.hpj.2019.04.004.

Fathonah, Siti, Rosidah, Bethari Amalia, and Siti Humaizah. 2020. "The Formulation of Alternative Gluten-Free Mung Bean Biscuits." *Journal of Physics: Conference Series* 1444(1). doi: 10.1088/1742-6596/1444/1/012004.

FUNDACIÓN SWISSAID. 2017. "Maíz Chamí o Chococito, El Maíz Ancestral Del Pueblo Emberá." 23.

Fundación Swissaid y Grupo Semillas. 2004. "No Al Maíz Transgénico." *Semillas En La Economía Campesina* 84.

Ganesan, Kumar, and Baojun Xu. 2017. "Polyphenol-Rich Dry Common Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) and Their Health Benefits." *International Journal of Molecular Sciences* 18(11). doi: 10.3390/ijms18112331.

Guardia, MM, Palacios, IP y Arroyo, HH (2016). 2016. "Composición Química Del Grano de Maíz (*Zea Mays*) Chococito Del Municipio de Quibdó, Chocó, Colombia."

Guerrero, L., E. Apráez, and D. Calderón. 2017. "Valoración Nutricional y Productiva de Diferentes Granos de Cereales Germinados." *Agro Sur* 45(2):11–19. doi: 10.4206/agrosur.2017.v45n2-02.

Havemeier, Stefanie, Jennifer Erickson, and Joanne Slavin. 2017. "Dietary Guidance for Pulses: The Challenge and Opportunity to Be Part of Both the Vegetable and Protein Food Groups." *Annals of the New York Academy of Sciences* 1392(1):58–66. doi: 10.1111/nyas.13308.

Huang, Jinwen, Reza Keshavarz Afshar, Aifen Tao, and Chengci Chen. 2017. "Efficacy of Starter N Fertilizer and Rhizobia Inoculant in Dry Pea (*Pisum Sativum* Linn.) Production in a Semi-Arid Temperate Environment." *Soil Science and Plant Nutrition* 63(3):248–53. doi: 10.1080/00380768.2017.1315834.

Hurtado, Maria Isabel. 2016. "Efecto de La Sustitución Parcial de Sémola Por Harina de Haba (*Vicia Faba* L.) y Arveja (*Pisium Sativum* L.) En La Elaboración de Pasta." 55.

Ibarra, K. 2017. "GALLETAS CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO (*Triticum Aestivum*) POR HARINAS DE CHÍA (*Salvia Hispánica* L.) Y HABA (*Vicia Faba*) MEDIANTE OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO DE MEZCLAS."

Jahanzad E, Sadeghpour, A, Hosseini, MB, Barker, AV, Hashemi, M. y Zandvakili. 2014. "Silage Yield and Nutritive Value of Millet–Soybean Intercrops as Influenced by Nitrogen Application." *Agronomy Journal* 106:1993–2000.

Khazaei, Hamid, and Albert Vandenberg. 2020. "Seed Mineral Composition and Protein Content of Faba Beans (*Vicia Faba* L.) with Contrasting Tannin Contents." *Agronomy* 10(4). doi: 10.3390/agronomy10040511.

López-Martínez, Araceli, Virginia Azuara-Pugliese, Armando Sánchez-Macias, Gloria Sosa-Mendoza, Elena Dibildox-Alvarado, and Alicia Grajales-Lagunes. 2019. "High Protein and Low-Fat Chips (Snack) Made out of a Legume Mixture." *CYTA - Journal of Food* 17(1):661–68. doi: 10.1080/19476337.2019.1617353.

Marly Ortiz López, Adriana Delgado Alvarado, B. Edgar Herrera Cabrera, Ma. De Lourdes Árevalo Galarza, Ariadna I. Barrera Rodríguez. 2019. "Efecto de Dos Métodos de Secado En Los Compuestos Fenólicos Totales , L-DOPA y La Actividad Antioxidante

de Vicia Faba L . Effect of Two Drying Methods on the Total Phenolic Compounds , L-DOPA and the Antioxidant Activity of Vicia Faba L .”

Martínez Jiménez, Fernán, Eduardo Rodríguez Sandoval, and María Soledad Hernández Gómez. 2015. “Impacto de La Adición de Caboximetilcelulosa y Agua En Las Propiedades Físicoquímicas y de Calidad de Pan Libre de Gluten.” *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 18(2):445–54. doi: 10.31910/rudca.v18.n2.2015.264.

Menoscal, J. Palma, D. 2019. *Estudio de Factibilidad Técnica Para La Elaboración de Croissant a Base de Harina de Habas (Vicia Faba) y Harina de Arroz (Oryza Sativa) En El Cantón Samborondón*. Vol. 53.

Mohammadi, Mehrdad, Mohammad Hossain Azizi, Tirang R. Neyestani, Hedayat Hosseini, and Amir Mohammad Mortazavian. 2015. “Development of Gluten-Free Bread Using Guar Gum and Transglutaminase.” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 21:1398–1402. doi: 10.1016/j.jiec.2014.06.013.

Mohammadi, Mehrdad, Nasim Sadeghnia, Mohammad Hossain Azizi, Tirang Reza Neyestani, and Amir Mohammad Mortazavian. 2014. “Development of Gluten-Free Flat Bread Using Hydrocolloids: Xanthan and CMC.” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20(4):1812–18. doi: 10.1016/j.jiec.2013.08.035.

Molina, L. A., Facultad De Ciencias, Adrian Marko, Huerta Julca, Ingeniero Meteorólogo, and Meteorólogo. 2016. “Galletas Con Sustitución Parcial de Trigo(*Triticum Aestivum*) Por Harinas de Chía (*Salvia Hispanica L.*) y Haba (*Vicia Faba*) Mediante Optimización Por Diseño de Mezclas.” *Universidad Nacional Agraria La Molina*.

MONTALBETTI, MARÍA TERESA VALLEJOS. 2018. "FIDEOS CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE HABA (Vicia Faba) FORTIFICADOS CON CALCIO: ELABORACIÓN, ANÁLISIS PROXIMAL Y SCORE QUIMICO."

Octavio, Menoscal Choez Jesús. 2013. *Estudio de Factibilidad Técnica Para La Elaboración de Croissant a Base de Harina de Habas (Vicia Faba) y Harina de Arroz (Oryza Sativa) En El Cantón Samborondón*. Vol. 53.

Olalla, W. 2019. "Desarrollo Tecnológico Para La Elaboración de Snacks de Maíz (Zea Mays), Quinoa (Chenopodium Quinoa) y Haba (Vicia Faba) Nixtamalizados."

Pasqualone, Antonella, Ali Abdallah, and Carmine Summo. 2020. "Symbolic Meaning and Use of Broad Beans in Traditional Foods of the Mediterranean Basin and the Middle East." *Journal of Ethnic Foods* 7(1):1–13. doi: 10.1186/s42779-020-00073-1.

Paz, Octavio. 2009. "La Nixtamalización y Valor Nutritivo Del Maíz."

Pérez-Perez, Liliana Maribel, Carmen Lizette Del Toro Sánchez, Esteban Sánchez Chavez, Ricardo Iván González Vega, Aline Reyes Díaz, Jesús Borboa Flores, Juan Manuel Soto Parra, and María Antonia Flores-Cordova. 2019. "Bioaccesibilidad de Compuestos Antioxidantes de Diferentes Variedades de Frijol (Phaseolus Vulgaris L.) En México, Mediante Un Sistema Gastrointestinal in Vitro//Bioaccessibility of Antioxidant Compounds from Different Bean Varieties (Phaseolus Vulgaris L.)" *Biotechnia* 22(1):117–25. doi: 10.18633/biotechnia.v22i1.1159.

Perugachi, Mayra. 2014. "Análisis de La Sustitución de Proteína Animal Por Concentrado Proteico de Haba (Vicia Faba) En Salchichas Tipo Vienensa." 78.

Ramírez-Moreno, J. M., I. Salguero Bodes, O. Romaskevych, and M. C. Duran-Herrera. 2015. "Broad Bean (Vicia Faba) Consumption and Parkinson's Disease: A

Natural Source of L-Dopa to Consider.” *Neurologia* 30(6):375–91. doi: 10.1016/j.nrl.2013.08.006.

Rosa Luz Montes Tornero. 2014. “DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y ORGANOLÉPTICAS DE GALLETAS ENRIQUECIDAS CON HARINA TRIGO (*Triticum Aes.Tlvium* L.) Y HARINA DE HABA (*Vicia Faba* L.)” *Universidad Nacional de Huancavelica*.

Rousseau, S., Kyomugasho, C., Celus, M., Hendrickx, M., & Grauwet, T. 2020. “Barriers Impairing Mineral Bioaccessibility and Bioavailability in Plant-Based Foods and the Perspectives for Food Processing.” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60(5):826–843.

Sciarini, L. S., M. E. Steffolani, and A. E. León. 2016. “El Rol Del Gluten En La Panificación y El Desafío de Prescindir de Su Aporte En La Elaboración de Pan.” *AgriScientia* 33(2):61–74. doi: 10.31047/1668.298x.v33.n2.17468.

Tabares, Rebeca Lozano. 2016. “La Gestión Del Marketing Frente a Las Nuevas Tendencias de Consumo: El Caso de Los Productos de Panadería En Bogotá.”

Torres, A. 2003. “Desarrollo y Evaluación de Una Pasta a Base de Trigo, Maíz, Yuca y Frijol. *Interciencia*, 28(7), 372-379.” *Jul* 28(7).

Wiesinger, Jason A., Karen A. Cichy, Sharon D. Hooper, Jonathan J. Hart, and Raymond P. Glahn. 2020. “Processing White or Yellow Dry Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) into a Heat Treated Flour Enhances the Iron Bioavailability of Bean-Based Pastas.” *Journal of Functional Foods* 71(March):104018. doi: 10.1016/j.jff.2020.104018.