



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

MAESTRÍA EN ALIMENTOS

Elaboración de una formulación de pan tipo molde con
elementos funcionales: microencapsulados de Sacha Inchi y
subproducto de Mango

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

MAGÍSTER EN ALIMENTOS

Autor: González Maldonado, María del Cisne

Director: Meneses Chamba, Miguel Angel. PhD

LOJA

2022



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2022

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 09 de septiembre de 2022

Magíster

Maritza Janeth Castillo

Directora de programa de la Maestría de Alimentos

Ciudad.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Elaboración de una formulación de pan tipo molde con elementos funcionales, microencapsulados de Sacha Inchi y subproducto de Mango, realizado por María del Cisne González Maldonado ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Miguel Ángel Meneses Chamba Ph.D.

C.I.: 1103885636

Correo electrónico: mameneses@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

“Yo, María del Cisne González Maldonado, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

- Ser autor(a) del Trabajo de Titulación denominado: Elaboración de una formulación de pan tipo molde con elementos funcionales, microencapsulados de Sacha Inchi y subproducto de Mango, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo 1. Marco teórico del desarrollo de pan funcional, Capítulo 2. Metodología de la investigación, Capítulo 3. Resultados y Discusión, Conclusiones y Recomendaciones, siendo Miguel Angel Meneses Chamba, director del presente trabajo; y, en tal virtud, eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual. Además, ratifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.
- Que mi obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.
- Autorizo a la Universidad Técnica Particular de Loja para que pueda hacer uso de mi obra con fines netamente académicos, ya sea de forma impresa, digital y/o electrónica o por cualquier medio conocido o por conocerse, sirviendo el presente instrumento como la fe de mi completo consentimiento; y, para que sea ingresada al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Autor: María del Cisne González Maldonado

C.I.: 1900520212

Dedicatoria

A mis padres Angel y Talía por ser siempre luz en un camino que en ocasiones nubla el juicio de una mente voluble. A mis hermanos Francisco y Camilo por acompañarme en cual sea el camino que emprenda. A ellos, por ser la inspiración para seguir creciendo como profesional y ser humano.

Agradecimiento

De manera especial, al Ph.D. Miguel Angel Meneses por ser guía y fuente de conocimiento. A mis compañeras de labores profesionales y amigas Yadira y Melania por ser un apoyo constante en esta etapa de mi carrera. A todos quienes de forma directa o indirecta han sido una parte importante para culminar este trabajo, personal docente y técnico de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Índice de contenido

Carátula.....	I
Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de Contenido	VII
Índice de Tablas.....	IX
Índice de Figuras.....	IX
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción.....	3
Capítulo Uno	5
MARCO teÓRICO	5
1.1 Alimentos Funcionales. Definición	5
1.2 tipos de alimentos funcionales	6
1.2.1 <i>Ingredientes funcionales</i>	6
1.3 Tecnología de panificación	8
1.3.1 <i>Características tecnológicas de la calidad del pan</i>	9
1.3.2 <i>Características pan funcional</i>	9
1.4 Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis L.</i>)	10
1.4.1 <i>Composición físico-química de las semillas de Sacha Inchi</i>	10
1.4.2 <i>Propiedades y usos de los compuestos bioactivos de la semilla de Sacha inchi</i>	10
1.5 Características generales del Mango (<i>Mangifera indica L. Var. Tommy Atkins</i>)	11
1.5.1 <i>Composición físico química de Mangifera indica L.</i>	11
1.5.2 <i>Propiedades y usos de los compuestos bioactivos de la cáscara de Mangifera indica L.</i>	11
1.6 Estado del arte	12
Capítulo dos	15
Metodología	15
1.7 Adquisición y tratamiento de materia prima	15
1.8 Caracterización de materia prima: mango var. <i>Tommy Atkins</i> y Aceite de Sachca Inchi 15	
1.8.1 <i>Determinación de humedad</i>	15
1.8.2 <i>Determinación de pH</i>	16
1.8.3 <i>Determinación de acidez titulable</i>	16
1.8.4 <i>Medición de °Brix</i>	17
1.9 Preparación de harina de subproducto de mango	17
1.10 Microencapsulación de Sacha Inchi	18
1.10.1 <i>Insumos para encapsulamiento</i>	19
1.10.2 <i>Preparación de la emulsión</i>	19

1.11 Elaboración de pan de molde con adición de subproducto de mango y microcápsulas de Sacha inchi	19
1.11.1 <i>Formulación para la elaboración de pan de molde</i>	19
1.11.2 <i>Proceso de Elaboración de pan de molde con adición de subproducto de mango y microcápsulas de Sacha Inchi</i>	20
1.12 Análisis de las características físicas del pan de molde	21
1.12.1 <i>Altura</i>	21
1.12.2 <i>Volumen</i>	21
1.12.3 <i>Perfil de Textura</i>	22
1.12.4 <i>Prueba de color</i>	22
1.13 Estabilidad de los lípidos en el aceite de Sacha inchi	23
1.13.1 <i>Estabilidad Oxidativa</i>	23
1.13.2 <i>Actividad Antioxidante</i>	24
1.14 Análisis sensorial	25
1.15 Diseño experimental	25
Capítulo tres	26
Resultados y Discusión.....	26
2.1 Caracterización de la materia prima	26
2.2 Evaluación de las características físicas del pan funcional	27
2.3 Evaluación de las características químicas del pan funcional	28
2.4 Evaluación de las características sensoriales del pan funcional	30
Conclusiones	32
Recomendaciones	33
Referencias	34
Apéndice	37
Apéndice A. Elaboración de ingredientes funcionales.....	37

Índice de tablas

Tabla 1 Estado del arte para la Formulaciòn de Pan Funcional	13
Tabla 2 Condiciones de Pretratamiento materia prima	15
Tabla 3 Formulaciòn de microencapsulados de Aceite de Sacha inchi	18
Tabla 4 Formulaciòn pan de molde con adiciòn de subproducto de mango y microcápsulas de aceite de Sacha Inchi	20
Tabla 5 Caractererísticas físico-químicas de la materia prima de ingredientes funcionales	26
Tabla 6 Características físicas en formulaciones de pan de molde funcional	27
Tabla 7 Estabilidad oxidativa en formulaciones de pan de molde funcional.....	29
Tabla 8 Aceptabilidad sensorial en formulaciones de pan de molde funcional.....	30
Tabla 9 Valores promedio para el análisis físico de las formulaciones de pan funcional	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 10 Valores promedio para el análisis químico de estabilidad oxidativa de las formulaciones de pan funcional	¡Error! Marcador no definido.

Índice de figuras

Figura 1 Resultados de la Evaluaciòn Sensorial del pan de molde	31
Figura 2 Elaboraciòn de harina de subproducto de mango	37
Figura 3 Elaboraciòn de harina de subproducto de mango	38
Figura 4 Diagrama de flujo de elaboraciòn pan de molde	38

Resumen

El desarrollo de productos funcionales requiere de un meticuloso análisis de la interacción entre los componentes bioactivos y las matrices alimentarias en las que se incluyen, a la vez que se estima alcanzar formulaciones de características sensoriales aceptables por el consumidor. El presente trabajo de titulación evaluó el efecto de la inclusión de harina de subproducto de mango y la sustitución parcial de la harina de trigo por microencapsulados de Sacha Inchi (MSI) sobre las características físicas, químicas y sensoriales del pan de molde. El análisis estadístico (ANOVA) muestra que las diferentes proporciones de MSI influyen significativamente sobre la apariencia del pan, siendo la concentración de 2,5% la que muestra mejores características tanto a nivel instrumental técnico así como la percepción sensorial del consumidor. En cuanto a la estabilidad oxidativa del producto se mostró sin cambios a nivel estadístico, demostrado así el aumento significativo de la capacidad antioxidante al incluir estos ingredientes funcionales, siendo la formulación del 5% de MSI la que muestra el % DPPH más relevante, alrededor del 97%.

Palabras clave: *subproducto de mango, Sacha Inchi, microcápsulas, estabilidad oxidativa, capacidad antioxidante.*

Abstract

The development of functional products requires a meticulous analysis of the interaction between the bioactive components and the food matrix in which they are included while it is estimated to achieve formulations with acceptable sensory characteristics to the consumer. The present research evaluated the effect of the inclusion of mango subproduct flour and the partial substitution of wheat flour for microencapsulated Sacha Inchi (MSI) on the physical, chemical and sensory characteristics of sliced bread. The statistical analysis (ANOVA) shows that the different proportions of MSI influence significantly the characteristics of the bread, with the concentration of 2.5% being the one that shows the best characteristics both at a technical instrumental level as well as the sensory perception of the consumer. The oxidative stability of the product was statistically unchanged, thus demonstrating the significant increase in antioxidant capacity by including these functional ingredients, with the 5% MSI formulation showing the most relevant % DPPH, around 97%.

Keywords: *mango by-product, Sacha Inchi, microcapsules, oxidative stability, antioxidant capacity.*

Introducción

El pan es uno de los alimentos más antiguos en el mundo y más consumidos a lo largo de su historia, constituye una fuente importante de carbohidratos, aminoácidos y minerales en la pirámide alimenticia que permiten complementar una adecuada nutrición. La creciente tendencia hacia el consumo de productos funcionales, el desarrollo de una economía circular, el diseño de productos sostenibles y la revalorización de materias primas nativas son los conceptos en los que se fundamenta el presente proyecto para la elaboración de una formulación de pan de molde con ingredientes funcionales como la harina de subproducto de mango y los microencapsulados de Sacha Inchi.

Es así que se planteó que los ensayos realizados en este proyecto permitan evaluar las propiedades físico-químicas y sensoriales de una formulación para pan de molde con ingredientes funcionales. Se logró concluir que la proporción de microcápsulas de sachá inchi adicionadas en el pan de molde influyen sobre las características físicas del pan y se estableció una concentración de 2,5% de microcápsulas como la proporción que no afecta negativamente las características técnicas del producto, así mismo esta misma formulación logró la mayor aceptación a nivel sensorial.

Es conocido que la materia prima utilizada para la elaboración de los ingredientes funcionales de este proyecto, tanto la cáscara de mango de la variedad *Tommy Atkins* y el aceite de Sacha inchi, son productos con un alto contenido de antioxidantes, por lo que se logró determinar el efecto positivo de la adición de microcápsulas de Sacha inchi en la formulación de pan de molde sobre su estabilidad oxidativa de los lípidos y un notable aumento sobre la capacidad antioxidante.

El trabajo de titulación se completa a lo largo de cuatro capítulos. En el **Capítulo I** se ha recopilado la base teórica sobre la que se ha trabajado este proyecto, el **Capítulo II** detalla la metodología, instrumentos y equipos utilizados para la realización del trabajo experimental, enfocado en el análisis de parámetros físicos como la altura, el volumen, el color y algunos parámetros químicos incidentes sobre la estabilidad oxidativa como el índice peróxido y la inhibición del radical DPPH, en el **Capítulo III** se reporta los resultados y se ponen en contraste con trabajos científicos similares.

Este trabajo ha cumplido con un cometido importante al haberse conseguido elaborar un pan de molde con características sensoriales aceptables por el consumidor y que ha añadido novedosos ingredientes funcionales dentro de la formulación como un aporte hacia la nutrición y seguridad alimentaria.

Capítulo Uno

Marco teórico

1.1 Alimentos Funcionales. Definición

Se conoce desde hace varios siglos la relación que existe entre la comida ingerida y el estado de salud del consumidor. De hecho, la primera evidencia escrita de la existencia de alimentos funcionales se remonta al año 1000 A.C en China y otros países del continente con una larga tradición en la medicina natural. Es así que, los primeros pasos en el desarrollo de alimentos funcionales se dieron en Japón en la década de los 80s gracias a un programa de gobierno que pretendía reducir los costos crecientes en temas de salud pública, a través del análisis de la regulación fisiológica/metabólica que generaba el consumo de ciertos alimentos, y el uso de herramientas tecnológicas y de biología molecular para el desarrollo de otros alimentos funcionales (Tur y Bibiloni, 2016).

Por mucho tiempo la definición de alimentos funcionales fue malinterpretada o mal delimitada, ya que este tipo de alimentos se encontraba regulado, pero no legalmente reconocido. Rincón-León (2003), ya mencionaba que denominar a un alimento como funcional, exigía cumplir con tres características: debía ser una comida proveniente de ingredientes naturales; podía ser consumido diariamente como parte de la dieta y su consumo respondía a funciones específicas (reforzar el sistema inmunológico, prevenir enfermedades, controlar desórdenes físicos o mentales y ralentizar el proceso de envejecimiento).

Trabajos más recientes como el de Granato et al. (2017) acoge esas características para definir como funcionales a aquellos alimentos naturales o procesados que, poseen características de potencial efecto positivo sobre la salud de las personas si se consumen de forma regular dentro de la dieta, y además hayan sido evaluados experimentalmente y validados por las agencias de control pertinentes para seguridad del consumidor. Precisamente, el soporte científico brindado a los alimentos funcionales durante las últimas décadas permiten aseverar que su consumo ha permitido la reducción de los riesgos de contraer enfermedades no transmisibles como la dislipidemia, el cáncer, la diabetes tipo II, accidente cerebrovascular y demás enfermedades cardiovasculares.

1.2 Tipos de alimentos funcionales

Los alimentos funcionales incluyen en su composición diversos elementos nutritivos o no nutritivos y, que se incluyen de forma natural o modificada, manteniendo las características de la definición general. De ahí la dificultad para alcanzar un consenso en cuanto a una clasificación, no obstante, Aranceta et al. (2011) plantean la diferenciación de los siguientes tipos de alimentos funcionales: alimentos o bebidas naturales, alimentos o bebidas a los que se les ha añadido un componente, alimentos o bebidas a los que se les ha reducido o eliminado un componente, alimentos o bebidas a los que se les ha variado la naturaleza de uno de sus componentes, alimentos en los que se ha modificado la biodisponibilidad de sus componentes y alimentos o bebidas que combinan algunas de las características previas (Lau et al., 2012).

1.2.1 *Ingredientes funcionales*

El sorprendente auge en el desarrollo de los alimentos funcionales a partir de la década de los 90's surge como respuesta hacia las nuevas necesidades del consumidor. Situación que ha permitido la utilización de una amplia gama de compuestos bioactivos concentrados que en ocasiones causan cambios en las características organolépticas de la matriz alimentaria, efectos que se puede minimizar, a cambio de un producto de mayor calidad (Li Day et al., 2009). Un detalle de los ingredientes más utilizados en el desarrollo de alimentos funcionales, se presentan a continuación:

1.2.1.1 Fibra dietaria. La comisión de Codex Alimentarius en el año 2008 definió a la fibra dietaria como a todo aquel polímero de hidratos de carbono en cuya estructura se encuentren diez o más unidades monoméricas que no puedan ser hidrolizadas por las enzimas en el intestino delgado humano. Esta clase de polímeros se pueden encontrar de forma natural en los alimentos que se consumen o pueden ser extraídos de materia prima alimenticia para luego ser aprobados para su consumo y verificado su efecto (Almeida-Alvarado et al., 2014)

Al hablar de fibra dietaria, Villanueva (2019) hace referencia a la fibra soluble e insoluble, la primera al ingresar al organismo se mezcla con el agua, mientras que la segunda permanece intacta pero

ambas forman una sustancia viscosa en el intestino que mejora las funciones digestivas en general, controla el índice glicémico, reduce los niveles de colesterol y aumenta la absorción de minerales.

1.2.1.2 Probióticos, prebióticos y simbióticos. Los probióticos son alimentos que contienen microorganismos vivos, es necesario que éstas células se mantengan viables en una cantidad de 10^6 al ingresar al tracto digestivo, a fin de ejercer un efecto positivo en la salud además del aporte nutricional básico de la formulación de estos alimentos (Roberfroid, 2000). Los géneros bacterianos comúnmente utilizados como probióticos son *Lactobacillus sp.* Y *Bifidobacterium sp.* Los cuales se encuentran mayoritariamente en productos lácteos fermentados pero que se están probando en carnes y vegetales cuyo procesamiento incluye la fermentación (Cortés et al., 2005).

Los prebióticos por su parte, son componentes no digeribles presentes en la fibra. Son moléculas grandes que no se degradan en el tracto bacteriano y por tanto, que promueven el crecimiento selectivo y actividad metabólica de cepas bacterianas del intestino grueso, facilitando la formación de una biomasa bacteriana saludable y un pH óptimo. Algunos de los oligosacáridos más estudiados son: la inulina, oligofructosa, povidexrosa y pectinas, ingredientes que además de su aporte funcional, brindan características tecnológicas importantes en cuanto a sabor y textura en las formulaciones alimenticias (Ashwell, 2004; Olagnier, et al., 2007).

En cuanto a los simbióticos Oliveira y González-Molero (2016) mencionan que se trata de aquellos productos que contienen probióticos y prebióticos. Es decir que el componente prebiótico de la formulación favorece selectivamente al componente probiótico. Entre algunos ejemplos evaluados a nivel clínico se encuentra *Lactobacillus plantarum 299* junto a fibra de avena.

1.2.1.3 Lípidos y Proteínas. Ambos grupos pueden ser de origen animal como vegetal. Las proteínas de la leche o de la soja son mayoritariamente comercializadas, aunque superalimentos como el chocho, la quinua o el amaranto se han convertido en fuentes alternativas. En cuanto a los lípidos, algunos como ácidos grasos omega-3, algunos esteroides y estanoles vegetales muestran efectos beneficiosos sobre la prevención de enfermedades cardiovasculares y niveles más regulares de colesterol en sangre (Aranceta, et al., 2011).

El perfil de ácidos grasos de diferentes fuentes no cumple con la complejidad de los lípidos esenciales para el ser humano, por ello se prefiere la mezcla de diferentes fuentes de grasa para una suplementación adecuada. La proporción recomendada entre ácidos grasos omega 6 y 3 se sugiere en una proporción de 5:1 valores presentes en la leche materna, cuya importancia radica en actuar como precursor de los ácidos grasos poliinsaturados, araquidónico, docosahexanoico y ácidos grasos de cadena larga, estos últimos involucrados en la correcta fisiología del sistema nervioso y vascular (Umesh y Ankita, 2017).

1.3 Tecnología de panificación

El horneado de masa con levadura añadida o fermentación natural, al igual que algunos otros procesos de la industria alimentaria deben su desarrollo a las primeras aplicaciones de la biotecnología en las antiguas civilizaciones.

En el caso de la panificación, el agua y harina son los ingredientes más importantes en las formulaciones, puesto que las características y cantidad de esta materia prima influyen directamente sobre la textura y la miga del producto final, pues es sobre estos ingredientes donde la acción de la levadura inicia. El estudio científico y posterior comercialización extendida del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* permite comprender que la fermentación de los azúcares presentes en los cereales generan humedad y CO₂ que permiten la expansión de la masa y evitan la evaporación de agua a altas temperaturas (Mondal y Datta, 2008).

En cuanto a otros ingredientes comúnmente utilizados en la formulación de pan, Giannou et al. (2003) menciona que, se añade sal para reforzar el gluten y controlar la acción de la levadura sobre la expansión de la masa y, se añade manteca vegetal para aumentar la rebanabilidad. De esta

forma se obtiene tras el horneado, un producto fresco de color atractivo, corteza crujiente, aroma agradable y una textura de miga húmeda y elástica, agradable al paladar.

1.3.1 Características tecnológicas de la calidad del pan

Contar con criterios de calidad permiten determinar si el productos es apto para ser consumido y si es aceptado por el consumidor a nivel sensorial. Las características comúnmente realacionadas con la calidad del pan se asocian al volumen, la altura ,la textura de la miga y la corteza, medidas que varían de acuerdo al tipo de pan elaborado.

1.3.1.1 Volumen y altura. La materia prima involucrada en la mezcla de la masa, pero de manera particular el nivel de energía térmica impartida sobre la preparación influyen directamente sobre el desarrollo de la masa, es decir sobre el volumen, altura y suavidad de la miga (Cauvain, 2004).

1.3.1.2 Textura. Característica asociada con la combinación del tamaño de los agujeros en la miga y el grosor de la miga y una diversidad de constantes reológicas propias de los sustancias viscoelásticas (Alvis et al., 2011).

1.3.2 Características pan funcional

Los panes funcionales representan una alternativa interesante en la alimentación debido a su nivel de aceptación en el mercado. La adición de fibra dietaria en panes es una tendencia dentro de la industria alimentaria, debido a los efectos metabólicos beneficios a nivel gastrointestinal y que dependen de las propiedades de hidratación, intercambio catiónico y tamaño de la partícula de las materias primas utilizadas (Zuleta, et al., 2012).

El pan posee un alto índice glicémico, sin embargo, su valor funcional puede extenderse desde la fortificación del harina de trigo en cuanto al suministro de hierro y niacina, además es un producto bajo en calorías que favorece la saciedad y por tanto restringe la ingesta de otros alimentos altos en calorías (Zain et al., 2022). Precisamente para contrarrestar la rápida absorción de harina refinada la inclusión de fibra dietética facilita el aprovechamiento de otras propiedades del pan.

Mikušová et al., (2013) menciona que la presencia de compuestos polifenólicos y flavonoides pueden tener también un efecto beneficioso en la homeostasis de la glucosa, además la acidez provocada por la fermentación constituye un factor de protección para compuestos bioactivos sobre todo de tipo fenólico (p. 285).

1.4 Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Sacha inchi es una especie perteneciente al género *Plukenetia* de la familia Euphorbiaceae, el cual se encuentra distribuido mayoritariamente en Sudamérica y Centroamérica (Dostert, et al., 2009). *Plukenetia volubilis* es una planta trepadora que habita naturalmente áreas de tierras bajas, tropicales húmedas y de vegetación alterada; en Ecuador estas zonas pertenecen mayoritariamente a la cuenca amazónica. Se trata de un cultivo de semillas oleaginosas que ha sido utilizada por los humanos desde la época incaica pero que con la globalización comercial se ha dejado de lado (Kodahl y Sørensen, 2021).

1.4.1 Composición físico-química de las semillas de Sacha Inchi

Las semillas de *Plukenetia volubis* han demostrado ser una fuente potencial de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y proteína. Los valores reportados para el contenido de grasa en la semilla se encuentran alrededor de 33,4 -54,7% y de proteína entre 24,3 – 33,3% según (Goyal et al., 2022). El contenido en PUFA incluye entre el 42-48% de ácido alfa-linolénico (ALA) y un 32-37% de ácido linoleico (LA) , junto a un 12% de ácidos grasos monoinsaturados y cantidades importantes de tocoferoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos de elevado poder antioxidante (Alayón y Echeverri J., 2016).

1.4.2 Propiedades y usos de los compuestos bioactivos de la semilla de Sacha inchi

De acuerdo con el estudio clínico de doble ciego de Gonzales y Gonzales (2014) el efecto del consumo del aceite de Sacha Inchi ha demostrado que su riqueza en ácidos grasos ω -3 y ω -6 mejora el perfil bioquímico asociado con riesgo cardiovascular/hipercolesterolemia a través de la disminución de niveles de colesterol total, LDL, VLDL, manteniendo los niveles de HDL o inclusive aumentando significativamente los niveles de este último.

1.5 Características generales del Mango (*Mangifera indica* L. Var. *Tommy Atkins*)

Mangifera indica L., comúnmente conocido como mango, es un árbol mediano/grande natural de la región indomalaya y que actualmente se cultiva en regiones tropicales y subtropicales (Parrotta, s.f.). Se calcula que el consumo mundial de mango se encuentra alrededor de 13.5 millones de toneladas al año siendo su pulpa la mayor de uso y enfoque científico (Garrido, 2007). No obstante, el interés y necesidad en el desarrollo de una economía circular ha permitido ampliar el conocimiento en otras partes del fruto como su piel y semilla.

Una de las variedades más cultivadas y utilizadas a nivel agroindustrial es la variedad *Tommy Atkins*; cuyo fruto se presenta de forma oval, de 12 a 14.5 cm de largo, peso que oscila entre 250 a 550 g de los cuales 12,5 a 13,5 corresponden a la semilla. Su piel madura es de color amarillo/naranja que chapea a distintas tonalidades de rojo.

1.5.1 Composición físico química de *Mangifera indica* L.

Diversos estudios han encontrado que la cáscara de mango es una fuente importante de compuestos bioactivos tales como: carotenoides, flavonoides, antocianinas, polifenoles, pectina, mangiferina, fibra dietaria y ácidos grasos poliinsaturados. Componentes de alto valor nutricional/funcional, de gran importancia para la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (Rubiano-Charry et al., 2019).

1.5.2 Propiedades y usos de los compuestos bioactivos de la cáscara de *Mangifera indica* L.

Alrededor del 13% de la cáscara de mango está compuesto por pectina, un heteropolisacárido que funciona como emulsionante, gelificante y espesante, que funciona como sustituto de la grasa en alimentos funcionales (Wongkaew et al., 2021).

Imran et al. (2017) detalla las propiedades del alto contenido de mangiferina presente en la cáscara de mango, compuesto fitoquímico termoestable y de aplicación farmacológica gracias a su actividad antiinflamatoria, antidiabética, inmunomodulador y antitumoral.

Las antocianinas son las responsables de la coloración roja, azul y púrpura en las cáscaras de mango y son conocidas por sus efectos benéficos en la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes, trastornos neuronales y cardiovasculares (Rahman et al., 2008).

Otro pigmento importante presente en el mango, sobre todo en su fase de maduración, son los carotenoides. Al respecto Meléndez, et al. (2018) señalan que el consumo de carotenoides reduce el riesgo en el desarrollo de ciertos tipos de cancer como, el cáncer cervicouterino, de ovario, colorrectal, de próstata, y de mama, así como otros trastornos mentales, óseos, de la piel y ojos.

1.6 Estado del arte

El pan es uno de los primeros productos en conseguir la denominación de funcional debido a su frecuencia de consumo y aporte nutricional. El aumento en su popularidad a lo largo de toda la escala de consumo ha permitido que desde hace algunas décadas y sobre todo durante los últimos años, la ciencia de alimentos se haya orientado hacia el diseño de formulaciones y la producción de pan funcional (Zain et al., 2022).

Los resultados muestran la inclusión de ingredientes beneficiosos para la salud como fibras dietéticas, antioxidante fenólicos y ácidos grasos n-3; también se ha incorporado algunas semillas y sustituido parcialmente harinas, obteniendo así productos bajos en calorías, aptos para personas con diabetes o celiaquía y con una prometedor futuro hacia mejorar características tecnológicas, sensoriales y de vida útil (Rahaie et al., 2014). A continuación , se presenta algunos de los trabajos científicos más relevantes realizados durante los últimos 5 años en cuanto a la formulación de pan funcional y la diversidad de ingredientes utilizados dentro de las mismas.

Tabla 1*Estado del arte para la Formulación de Pan Funcional*

Autores	Tema	Revista	Año
Schmiele, et al.	Utilización de Mixolab™ para evaluación reológica de harina de trigo reemplazada parcialmente por hidrolizado de proteína de soya y fructooligosacáridos para la producción de pan	Food Science and Technology. Volumen 76.	2017
Ayele, et al.	Calidad nutricional y sensorial del pan de trigo suplementado con harinas de yuca y soya.	Cogent Food & Agriculture. Volumen 3.	2017
Ficco, et al.	Producción de harina de trigos duros y blandos pigmentados por clasificación con aire, enriquecidas con antocianinas como ingrediente potencial para pan funcional	Journal of Cereal Science. Volumen 79.	2018
Zain, et al.	Efecto de los polifenoles enriquecidos a partir del grano de café verde sobre la actividad antioxidante y la evaluación sensorial del pan	Journal of King Saud University-Science. Volumen 30.	2018
Wandersleben, et al.	Mejora de las propiedades funcionales y nutricionales del pan utilizando una mezcla de ingredientes naturales de nuevas variedades de linaza y lupino	LWT-Food Science & Technology. Volumen 91.	2018
Hasani, et al.	Propiedades sensoriales y tecnológicas del pan funcional desarrollado enriquecido con aceite de pescado microencapsulado	Progress in Nutrition. Volumen 21	2019
Piechowiak, et al.	Optimización del proceso de extracción de compuestos antioxidantes de la piel de cebolla amarilla y su uso en la producción de pan funcional	LWT-Food Science & Technology. Volumen 117.	2020

Durović, et al.	Producción de alimentos funcionales: Aplicación de hojas de ortiga y sus extractos en la elaboración de un pan	Food Chemistry. Volumen 312.	2020
Mau, et al.	Características fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales del pan parcialmente sustituido con partes aéreas de camote	LWT- Food & Science Technology. Volumen 117.	2020
Whitney y Simsek	Harina de papa como ingrediente funcional en pan: evaluación de la calidad del pan y características del almidón	Journal of Food Processing and Preservation.	2020
Wandersleben, et al.	Evaluación de la calidad del pan funcional desarrollado a partir de mezclas de harinas de trigo, mijo malteado (<i>Pennisetum Glaucum</i>) y harinas 'Okara'	Scientific African. Volumen 10.	2020
Czubaszek, et al.	Cambios en las propiedades antioxidantes y cantidad de compuestos bioactivo durante la digestión <i>in vitro</i> de pan de trigo enriquecido con Extractos Vegetales	Molecules. Volumen 26.	2021
Sridhar, et al.	Microcápsulas híbridadas de aceite de pescado y ajo: Fortificación en pan funcional	Journal of Food Processing and Preservation.	2021

Capítulo dos

Metodología

El presente trabajo de investigación teórico-práctico se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Alimentos de la Universidad Técnica Particular de Loja. El desarrollo experimental consta de tres fases: caracterización de la materia prima, elaboración de pan de molde con ingredientes funcionales, evaluación química y sensorial de las formulaciones. Cada uno de los análisis realizados en cada fase se detallan en el siguiente diagrama de flujo.

1.7 Adquisición y tratamiento de materia prima

La materia prima se obtuvo en el Mercado del Pequeño Productor en el sector las Pitas de la ciudad de Loja el 7 de marzo del 2022, la misma que se sometió a desinfección, pelado y deshidratación para la posterior obtención de la harina de subproducto de mango, en la tabla 2 se detalla el pretratamiento y procesamiento de la misma.

Tabla 2

Condiciones de Pretratamiento materia prima

Operación	Condiciones	Tiempo	Temperatura
Lavado	Abundante agua		Ambiente
Desinfección	Solución de NaHCO ₃ al 0,5%	15 min	Ambiente
Pelado	Manual, 60 unidades		
Deshidratado	Estufa (Memmert U200)	12 horas	80° C

1.8 Caracterización de materia prima: mango var. *Tommy Atkins* y Aceite de Sachca Inchi

La caracterización de la materia prima contempla la determinación de humedad, pH, acidez titulable, °Brix, índice de refracción tanto para las muestras de mango var. *Tommy atkins* como para el aceite de Sacha inchi. Cada ensayo fue realizado por triplicado.

1.8.1 Determinación de humedad

La determinación de la humedad se fundamentó en el método A.O.A.C. 23.03 (2003). Se desecó el alimento en la estufa Memmert (U200) a 105 °C con mediciones cada dos horas hasta

alcanzar un peso constante (alrededor de 4 horas). Una vez se ha retirado las muestras de la estufa se colocó quince minutos en campana de desecación para obtener el peso final (Tirado, 2015). El porcentaje de humedad se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 1} \quad \% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

1.8.2 Determinación de pH

La evaluación de los valores de pH se determinaron de acuerdo al método establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 0389 (1986). Se pesó 10 g de muestra y se añadió 100 mL de agua destilada y se homogenizó la muestra suavemente (Jimenez Jaramilo, 2021). La muestra de mango fue triturada previamente, la medición de pH se realizó con un potenciómetro Mettler-Toledo FE20.

1.8.3 Determinación de acidez titulable

En el caso del mango, se utilizó el método oficial de la AOAC 942.15 (1984) para determinar el porcentaje de acidez en frutas, mientras que para el aceite de Sacha inchi se determinó el índice de acidez libre de conformidad con el método AOAC-94 (Islam et al., 2013; Hidalgo, et al., 2019).

1.8.3.1 Porcentaje de acidez. Se pesó 1 g de muestra triturada y se adicionó 9 mL de agua destilada, se añadió 3 gotas de fenolftaleína como indicador, se homogenizó la mezcla y se tituló con una solución de NaOH 0.1 N hasta fijar el color (Islam et al., 2013). Se utilizó como ácido de referencia el ácido málico y se determinó el % de acidez con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 2} \quad \% \text{ Acidez} = \frac{N \times V \times \text{Peso meq}}{W} \times 100$$

Donde:

N, es la Normalidad del NaOH

V, es el volumen de NaOH consumidor

Peso meq, es el peso en miliequivalentes para el ácido de referencia

W, es la masa de la muestra en gramos

1.8.3. Índice de acidez libre. Se pesó 10 gramos de muestra de aceite y se añadió 50 ml de etanol al 95% y se agregó 3 gotas de indicador de fenolftaleína. La titulación se realizó con una solución de hidróxido de sodio (NaOH). El cálculo del índice de acidez libre se realizó con la siguiente ecuación (Hidalgo et al., 2019):

$$\text{Ecuación 3} \quad IA = \frac{N \times V \times 56,1}{W} \times 100$$

Donde:

N, es la Normalidad del NaOH

V, es el volumen de NaOH consumido

W, es la masa de la muestra en gramos

1.8.4 Medición de °Brix

Los °Brix se miden con el uso de un refractómetro y corresponden a la concentración de sólidos solubles expresados en 100 g de fase líquida,. En cuanto a frutos, se conoce que a mayor contenido de azúcares mayor es la madurez fisiológica del fruto (Pastor y González, s.f.). Por otra parte, en los aceites constituye un indicador de la pureza (Paucar-Menacho et al., 2015).

Determinación de sólidos solubles totales. Se tomó un corte de la fruta y se trituró en un procesador de alimentos, del zumo obtenido se tomó una muestra con ayuda de una pipeta pasteur y se depositó un par de gotas sobre el prisma del refractómetro Mettler- Toledo 51324660 (Vila López, 2006).

Determinación de Índice de Refracción. Se realizó según la norma AOCS 28 CC-7-25. 2002, se aplicó un factor de corrección de 0,0038 ya que la temperatura de la muestra es menor a 40 °C (Paucar-Menacho et al., 2015).

1.9 Preparación de harina de subproducto de mango

Una vez realizado el pretratamiento de la materia prima para asegurar su inocuidad, la corteza de mango fue colocada en una estufa a una temperatura de 80 °C durante 12 horas. Una vez obtenida

la humedad y textura adecuada para la molienda de la cáscara, se pulverizó en un molino ultracentrífugo (Retsch ZM 200) a 16000 rpm con una criba de 0,75 mm .

1.10 Microencapsulación de Sacha Inchi

La obtención de los microencapsulados de aceite de Sacha inchi empleó como agente encapsulante una mezcla de alginato y caseinato de sodio en proporción 1:3 según la metodología de Aguilar Carrión (2020). Los ingredientes y las proporciones de los mismos se detallan en la tabla 3.

Tabla 3

Formulación de microencapsulados de Aceite de Sacha inchi

Ingredientes	Porcentaje
Agua destilada	91,75
Caseinato de Sodio	3,38
Tween 80	3
Alginato sódico	1,12
Aceite de Sacha Inchi	0,75

1.10.1 Insumos para encapsulamiento

A continuación se detalla información relevante de los insumos utilizados para la microencapsulación del presente proyecto.

- Aceite de Sacha Inchi: Producción nacional 100% aceite de Sacha inchi prensado en frío.
- Alginato de Sodio: Centro de Insumos Alimenticios (CIAL) 100% grado alimenticio
- Caseinato de Sodio: Top Trading Cía. Ltda, 100% grado alimenticio
- Tween 80: Reactivos H.V.O. grado extrema pureza

1.10.2 Preparación de la emulsión

Se pesó todo los ingredientes en una balanza (Mettler Toledo MS3002S) y se ajustó la temperatura del agua destilada a 40°C con un termómetro digital (DQAUS) y se mezcló uno a uno el Tween 20, alginato de sodio, aceite de Sacha inchi caseinato de sodio en ese orden respectivamente con el Ultraturrax (IKA-T50) a 5000 rpm. Una vez se ha obtenido una mezcla homogénea, se reguló el ultraturrax a 900 rpm y se emulsificó por 10 minutos. Se llevó la emulsión al secador por aspersion (Buchi mini Spray Dryer B-29) con una temperatura de 140°C como entrada de aire y 10% de alimentación de la emulsión.

1.11 Elaboración de pan de molde con adición de subproducto de mango y microcápsulas de Sacha inchi

Una vez que se ha obtenido los ingredientes funcionales, se determinó las formulaciones a ensayar y, se procedió a su panificación. Las condiciones de trabajo para esta fase se detallan a continuación.

1.11.1 Formulación para la elaboración de pan de molde

Las formulaciones utilizadas para la preparación de pan de molde con adición de harina de cáscara de mango y microencapsulados de Sacha inchi parten de una fórmula base industrial establecida por Veintimilla Villavicencio (2020). La misma que para el presente trabajo ha sido modificada para obtener tres fórmulas con la adición del 5% de subproducto de mango y 1%, 2,5 % y 5% de microcápsulas de aceite de Sacha inchi como sugiere el trabajo de Sridhar et al. (2021) para fines comparativos. Además, se utilizó una formulación de control con aceite de Sacha inchi sin

microencapsular, en el cual se sustituyó el peso de la harina de trigo en un 2,5% por el aceite. Las formulaciones se detallan a continuación en la tabla 4.

Tabla 4

Formulación pan de molde con adición de subproducto de mango y microcápsulas de aceite de Sacha Inchi

Insumos	Adición		
	1% MSI	2,5 % MSI	5% MSI
Cantidad en gramos			
Harina de Trigo	95	95	95
Agua	60	60	60
Sal	2	2	2
Azúcar	4	4	4
Grasa (Mantequilla)	7	5,5	3
Levadura	3	3	3
Mejorador de masas	1	1	1
Propionato de Calcio	0,53	0,53	0,53
Harina de subproducto de mango	5	5	5
Microcápsulas de sacha inchi	1	2,5	5
TOTAL	178,53	178,53	178,53

Nota. Tomado de Veintimilla Villavicencio (2020)

1.11.2 Proceso de Elaboración de pan de molde con adición de subproducto de mango y microcápsulas de Sacha Inchi

La elaboración del pan funcional partió de la estandarización de la metodología de Veintimilla Villavicencio (2020), en la cual se establecieron los parámetros de tiempo y temperatura para el amasado, leude y horneado. Las etapas del proceso de elaboración de pan de molde se detallan en el diagrama del apéndice B.

Selección y pesado de ingredientes. El harina utilizada en la elaboración del pan de molde funcional es de tipo panadera (de fuerza). La levadura utilizada es de tipo instantánea seca de la marca Instaferm, la misma que fue activada a una temperatura de 30 °C con la adición de azúcar.

Amasado. Los ingredientes fueron mezclados en una amasadora Kitchen Aid – Heavy Duty. Primero se mezclan los ingredientes sólidos seguidos del la mezcla de agua, azúcar y levadura, tras

5 minutos a velocidad media se amasa a velocidad máxima durante 12 minutos (Veintimilla Villavicencio, 2020).

Leudado. Terminada la etapa de amasado, se colocó la masa boleada dentro de un recipiente encerado durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo se estiró y desgasificó la masa para a continuación enrollarla de acuerdo a la forma y tamaño del molde y se dejó reposar en un segundo leudado durante 60 minutos (Veintimilla Villavicencio, 2020).

Horneado. El horno se precalentó a una temperatura de 205°C, posteriormente se configuró una temperatura de 200 °C por 5 minutos con una humedad relativa del 100%, 180°C por 10 minutos y 160°C por 10 minutos más , estos dos últimos pasos de horneado con una humedad relativa del 40%.

Desmoldado y Empacado. El pan recién sacado del horno, se desmoldó, se dejó enfriar y se empaquetó en papel wrap.

1.12 Análisis de las características físicas del pan de molde

Se realizó la evaluación de las propiedades físicas del pan de molde por triplicado para cada una de las formulaciones con adición de 1, 2,5 y 5% de microcápsulas de Sacha inchi y dos formulaciones de control. El primer control con adición únicamente de harina de subproducto de mango al 5% y un segundo control con adición de aceite de Sacha inchi sin microencapsular.

Las condiciones establecidas para la elaboración del pan de molde con ingredientes funcionales permitieron obtener un pan de molde con características organolépticas adecuadas, de forma tal, que la adición de microcápsulas de Sacha inchi sea la única variable a considerar sobre la medición de las propiedades físico-químicas y organolépticas de las formulaciones desarrolladas.

1.12.1 Altura

Se determinó con el uso de un pie de rey (Alvis et al., 2011).

1.12.2 Volumen

Se utilizó la metodología modificada de desplazamiento de semillas de linaza de Barroso (2017). Se introdujo las semillas en un probeta y se marcó la altura deseada, posteriormente se colocó las semillas en otro recipiente. Luego, se introduce una rodaja de pan de 2 cm de espesor

en el recipiente de control y se colocaron nuevamente todas semillas y, se midió la distancia que se desplazaron. Finalmente, se aplica la siguiente ecuación

$$\text{Ecuación 4} \quad V = \pi \times r^2 \times D$$

Donde:

V, es el volumen de la rodaja de pan, medido en cm³

r, es el radio de la probeta, medido en cm

D, es la distancia desplazada, medida en cm

El peso del pan previamente obtenido, permitió determinar su volumen específico a través de la relación volumen/peso.

1.12.3 Perfil de Textura

El análisis de textura consideró la evaluación de la dureza de la miga y la fracturabilidad de la corteza con el uso de un texturómetro (Hasani, et al., 2019). Se midió la fuerza requerida para la penetración de 1mm sobre una rebanada de 3cm de espesor con sonda P25 del analizador de textura Stable Micro Systema TA.XTplus.

1.12.4 Prueba de color

La medición del color de la miga de los panes se realizó sobre una rodaja de pan en tres puntos diferentes con ayuda de un colorímetro de precisión Konica Minolta color CR-14 en las coordenadas "Y", "x" y "y", las mismas que fueron transformadas a coordenadas CIELAB: L*(luminosidad), a*(índice de rojos-verdes) y b* (índice de amarillos-azules). Conocidos estos parámetros se calculó las magnitudes psicofísicas croma (C*_{ab}) y tono (H_{ab}) de acuerdo con las normas UNE (Fuentes Zaragoza et al., 2009), las ecuaciones utilizadas se detallan a continuación:

$$\text{Ecuación 5} \quad C_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{Ecuación 6} \quad h_{ab} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

1.13 Estabilidad de los lípidos en el aceite de Sacha inchi

La naturaleza química del aceite de Sancha Inchi lo vuelve altamente susceptible a la oxidación, de forma que la vida útil y aprovechamiento de nutrientes se ve limitada. Se presenta la microencapsulación de este aceite como una alternativa para la preservación de la composición química, y por tanto, de sus propiedades funcionales (Chasquibol, 2020). Por tal motivo, se realizan los análisis de la estabilidad oxidativa a través del índice peróxido y, la capacidad antioxidante a través del radical DPPH.

1.13.1 Estabilidad Oxidativa

La verificación de la degradación de aceites u otras grasas se realiza a través de diversos análisis capaces de cuantificar los compuestos que se generan durante la oxidación, en el presente proyecto se plantea la determinación del Índice peróxido para evaluar la estabilidad de las microcápsulas de Sacha Inchi en un pan de molde con conocido potencial antioxidante.

Preparación de la muestra. Para obtener el aceite atrapado en la matriz alimentaria se realizó la extracción de acuerdo con la metodología de Villacrés Gallardo (2016) en nextractor de grasa RAFATEX. Se pesó 2 g de muestra triturada de cada una de las formulaciones de pan de molde en los dedales y se colocan en el equipo. Se agregó 50 mL de hexano en los vasos de recuperación previamente tarados a 100°C y se ajustaron en el equipo. Se recirculó el n-hexano durante 60 minutos para obtener el contenido de grasa en la muestra por diferencia, el porcentaje de grasa en la muestra, se determina a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 7} \quad \% \text{ Grasa} = \frac{\text{cantidad de grasa}}{\text{cantidad de muestra}} \times 100$$

Determinación de Índice Peróxido. El índice peróxido se determinó utilizando una modificación de la NTE INEN 277. Se tituló toda la muestra obtenida a partir de la extracción, se adicionó 10 mL de la solución de ácido acético glacial:cloroformo (3:1) y 0,5 mL de una solución de yoduro de potasio al 15%, se homogenizó suavemente y se colocó finalmente 1 mL de solución indicadora de almidón (Cabezas Gagñay, 2010). Se utilizó como titulante una solución de tiosulfato

de sódio 0.1N. Los resultados se expresaron como miliequivalentes de oxígeno por kg a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 8} \quad I_p = \frac{V \times N}{p} \times 1000$$

Donde:

V, es el volumen de sodio tiosulfato 0.1N en mL

N, es la normalidad del sodio tiosulfato

P, es el peso de la muestra en g

1.13.2 Actividad Antioxidante

La capacidad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición del radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), el cual es estable y presenta coloración violeta. El método se basa en la capacidad de la sustancia oxidante que mantiene estable el radical, y se genera un cambio de coloración hacia amarillo pálido por la reacción de inhibición de este radical. A continuación se detalla la metodología utilizada.

Se pesó 0,1 g de muestra y se colocó en un tubo de ensayo cubierto con papel aluminio y se adicionó 10 ml de metanol. Se agitó en una plancha a 150 rpm por tres minutos y posteriormente se sonificó la mezcla durante 20 min a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, se filtró el extracto y se tomó 1 ml de este para mezclarlo con 2 ml del reactivo DPPH 0,1 mM recién preparado. Se preparó el control con 1 ml de metanol y 2 ml de DPPH. Se dejaron en reposo durante 1 h sin luz la muestra y el control. Y finalmente, se midió la absorbancia de la muestra y el control usando el espectrofotómetro a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro JENWAY UV-VIS 6405 (Ordoñez-Santos et al., 2020). El porcentaje de actividad antioxidante se calculó en términos de inhibición de radical DPPH y se determinó a través de:

$$\text{Ecuación 9} \quad \% \text{ DPPH} = \frac{(A_{517 \text{ control}} - A_{517 \text{ muestra}})}{A_{517 \text{ control}}} \times 100$$

1.14 Análisis sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo a través de una prueba afectiva con un panel de jueces no entrenados y una escala hedónica de 5 puntos donde: 1 es, disgusta mucho; 2 es, disgusta; 3 es, ni gusta ni disgusta; 4 es, gusta; y, 5 es gusta mucho para evaluar los parámetros de color, olor, textura, sabor y aspecto general (Calvo-Carrillo et al., 2020). Se determinó un código para cada una de las formulaciones, las mismas que se entregaron de forma aleatoria a los jueces de acuerdo con los métodos de evaluación sensorial señalados por Cordero Bueso (2017).

1.15 Diseño experimental

Se diseñó 3 formulaciones de pan de molde funcional que sustituyen la harina de trigo por harina de subproducto de mango en 5% y microencapsulados de Sacha inchi en 1, 2,5 y 5%, además dos formulaciones de control que no incluyen microcápsulas, el primer control contiene solamente 5% de harina de subproducto de mango, mientras que el segundo control contiene 2,5 % de aceite de Sacha inchi sin microencapsular. De esta manera se obtiene 5 tratamientos para la variable independiente (formulación) cuyo efecto será analizado para variables dependientes físico-químicas y sensoriales del pan de molde a través de ensayos realizados por triplicado. La diferencia estadística establecida por la formulación para cada factor se determinó a través de un ANOVA realizado en el Software estadístico Minitab (Hasani et al., 2019).

Capítulo tres

Resultados y Discusión

2.1 Caracterización de la materia prima

La caracterización de la pulpa y cáscara de mango se realizó tomando de forma aleatoria algunas muestras para la determinación de cada análisis por triplicado. Mientras que las muestras del aceite corresponden al triplicado de una sola muestra disponible en 1L. Se reporta el promedio de los resultados y su desviación estándar en la tabla 5.

Tabla 5

Características físico-químicas de la materia prima de ingredientes funcionales

Parámetro	Mango var. <i>Tommy Atkins</i>	Aceite Sacha Inchi
Humedad	76,11 ± 0,89	4,27 ± 0,65
pH	3,84 ± 0,01	-
% Acidez	0,84 ± 0,11	1,00 ± 0,02
°Brix	18,73 ± 0,64	1,48 ± 0,01
Relación SST/ácido	22,31	-

Nota. Las siglas SST

hace referencia a los sólidos solubles totales presentes en el fruto de mango

Los valores obtenidos para la caracterización de pulpa y cáscara de mango han sido comparados con los reportados por Siller-Cepeda et al. (2009) quienes determinaron un pH de 3,2 ± 0,02; un % de acidez de 0,3 ± 0,1; y, sólidos solubles totales de 6,0 ± 1,6 para muestras de mango var. *Tommy atkins* cosechadas en estadio de maduración intermedia. El valor de % de acidez en este proyecto es 2,8 veces en comparación a su relativo, sin embargo, la gran cantidad de sólidos solubles totales determinados en la muestra establecen una relación SST/ácido de 22,31 bastante cercana al valor de 20 calculada para los parámetros de Siller-Cepeda et al. (2009), demostrando así que la materia prima del subproducto de mango para la elaboración del pan funcional fue utilizada encontrándose en un estadio de madurez temprana. En cuanto al % de humedad el fruto es menor al reportado por Fernandez-Palmar et al. (2016) de 83,36 ± 0,61 de un cultivar colombiano, esta diferencia es notable en el tamaño del fruto, mismo que se encontraba por terminar temporada de cosecha.

Por otra parte, en cuanto a los parámetros evaluados en el aceite de Sacha inchi, el valor de porcentaje de humedad determinado en esta materia prima es 0,6 veces menor en comparación al valor de $6,72 \pm 0,1$ obtenido por Romeo Hidalgo et al. (2019). Los índices de acidez y refracción son bastante cercanos a los reportados por Paucar-Menacho et al. (2015) $1,08 \pm 0,029$ y $1,475 \pm 0,011$ respectivamente. Sin embargo, continúan siendo valores menores que podrían implicar una mayor pureza en el aceite utilizado como materia prima en el presente proyecto.

2.2 Evaluación de las características físicas del pan funcional

Se consideró como parámetros de evaluación la altura, el volumen, textura y color de la miga por ser variables que se ven afectadas directamente por la sustitución parcial de harinas en diferentes proporciones. Se ha tomado como control referencial la formulación de pan de molde con harina de subproducto de mango al 5% de Veintimilla Villavicencio (2020) por ser un pan funcional con aceptación sensorial en base a análisis estadístico. Las diferencias estadísticas para estos parámetros en las tres formulaciones de pan de molde funcional que incluyen microcápsulas de aceite de Sacha inchi se detallan en la tabla 6.

Tabla 6

Características físicas en formulaciones de pan de molde funcional

Muestra	Altura cm	Volumen cm ³	Dureza de miga N	Color de la miga - CIELAB	
				Croma	Tono
CM	9,050 ± 0,250 C	72,96 ± 2,43 B	1,48749 ± 0,0033 C	16,995 ± 0,895 B	0,3662 ± 0,0574 A
MSI 1%	9,350 ± 0,150 AB	93,62 ± 2,24 A	1,62716 ± 0,0000 B	16,789 ± 0,363 B	0,3853 ± 0,0061 A
MSI 2,5%	9,650 ± 0,150 A	87,80 ± 2,61 A	1,06496 ± 0,0094 D	17,858 ± 0,561 AB	0,3292 ± 0,0333 A
MSI 5%	8,100 ± 0,200 C	74,42 ± 2,61 B	1,78660 ± 0,0531 A	18,929 ± 0,485 A	0,3187 ± 0,0350 A

Nota. Literales diferentes entre columnas son estadísticamente diferentes ($p > 0,05$). El literal A hace referencia al nivel máximo alcanzado del parámetro medido, otros literales muestran la disminución del valor en congruencia con la formulación siendo D el mínimo obtenido

El análisis de varianza muestra que la formulación con un contenido de 2,5 % de microcápsulas de Sacha Inchi (MSI) presenta mayor altura en comparación al resto de formulaciones y mayor volumen en comparación al control y la formulación MSI 5%, por otra parte, también es aquel que presenta menor dureza en la miga. El análisis de color muestra diferencia significativa entre

formulaciones solamente para el parámetro de croma, el cual hace referencia a la pureza o saturación del color, mientras que la tonalidad no presenta diferencia significativa.

El análisis de textura en base a la fuerza requerida para comprimir la miga de la muestra medida en Newtons muestra como máximo $1,78660 \pm 0,0531$ este valor es comparable a los resultados del estudio de Sridhar et al. (2021) en el cual se demuestra que la adición de microcápsulas de aceites como el de pescado o semillas de chía en un 5% generan un cambio significativo en la dureza del pan. Por otra parte, al contrastar la variable dureza de miga con los otros parámetros de altura y volumen se puede inferir que la dureza de la miga aumenta en cuanto menos altura y volumen alcanza el pan. Por otro lado, la inexistencia de cambios significativos en la tonalidad para las diferentes formulaciones de pan con adición de MSI son similares a los obtenidos por Hasani et al. (2019) quienes reportan que bajas concentraciones de microcápsulas de aceite de pescado no afecta sobre las características de color del pan.

2.3 Evaluación de las características químicas del pan funcional

La riqueza en ácidos grasos poli-insaturados del aceite de Sacha inchi facilita su oxidación y por tanto, limita la vida útil del producto que lo contiene, uno de los factores que influye sobre esta reacción química es la exposición al calor, por lo que la naturaleza de la producción del pan pone en riesgo la estabilidad de la formulación funcional debido a la concentración de los microencapsulados de Sacha inchi. En la tabla 7 se presenta los valores obtenidos para miliequivalente de O_2/Kg y el porcentaje de actividad antioxidante en relación a la concentración de MSI dentro de la fórmula.

Tabla 7

Estabilidad oxidativa en formulaciones de pan de molde funcional

Muestra	Índice peróxido Meq O₂/kg	% DPPH
CM	1,300 ± 0,300 A	89,049 ± 0,1391 C
MSI 1%	0,700 ± 0,265 A	95,216 ± 0,5130 B
MSI 2,5%	0,700 ± 0,200 A	95,847 ± 0,1033 B
MSI 5%	0,684 ± 0,126 A	97,611 ± 0,6140 A
CSI	1,100 ± 0,300 A	56,701 ± 0,5430 D

Nota. Literales diferentes entre columnas son estadísticamente diferentes ($p > 0,05$). El literal A hace referencia al valor máximo alcanzado para el parámetro químico evaluado, otros literales muestran la disminución del valor en congruencia con la formulación siendo D el mínimo obtenido.

El análisis de varianza realizado para el índice peróxido para cada una de las formulaciones no presenta diferencia significativa en relación a los diferentes porcentajes de MSI, incluso con respecto a los controles se mantiene estable. Esta determinación podría corresponder a la actividad antioxidante que ejercen los compuestos presentes en la semilla de Sacha Inchi como lo menciona Bardales et al. (2019) que evaluó el aceite de tres especies de Sacha inchi con índice peróxido entre $8,09 \pm 0,01$ y $4,04 \pm 0,01$, resultados debajo del límite permitido y recomendable por el Codex Alimentario ($10 \text{ meq O}_2/\text{kg}$); además, la notable reducción del índice peróxido dentro de la matriz alimentaria en comparación a un aceite libre pone en consideración la eficiencia del efecto de la microencapsulación del aceite.

No obstante, es observable que a medida de que el porcentaje de microcápsulas aumenta el valor peróxido disminuye entre valores de $0,700 \pm 0,265$ a $0,684 \pm 0,126$, estos resultados son similares a los presentados por Henna Lu y Norziah (2011) que muestran la misma estabilidad en mediciones de índice peróxido en pan fresco con adición de microcápsulas de Omega 3 pero con valores que oscilan entre los $0,24 \pm 0,03$ y $0,20 \pm 0,02$; esta diferencia parece ser causa de que la formulación en dicho estudio no utiliza otro tipo de grasa dentro de la formulación.

Por otra parte, la capacidad antioxidante expresada como el %DPPH neutralizado, es estadísticamente diferente para todas las formulaciones. El pan de molde que contiene 5% de MSI es la que presenta una mayor capacidad antioxidante, dichos valores son congruentes con los resultados de Meral y Dogan (2013) que reportan un incremento significativo en la actividad antioxidante en el pan a medida que se incrementó la sustitución por semillas de chía en la formulación, porcentajes entre 2 y el 4% de semillas añadidas mostraron de un 29-37% de inhibición del radical DPPH.

En estudios similares como el de Srivastava y Mishra (2021) se adicionó microcápsulas de aceites ricos en ácidos grasos n-3 del 20 al 60% en la formulación de las galletas obteniendo un aumento en el % de inhibición de radical DPPH hasta un 89%. En el caso de este proyecto el máximo efecto antioxidante es de un 97% lo que demuestra un mejor efecto de la adición del subproducto de mango y los microencapsulados de Sacha inchi.

2.4 Evaluación de las características sensoriales del pan funcional

La evaluación sensorial se realizó con 67 participantes, consumidores habituales de pan de molde para evaluar la preferencia y/o aceptabilidad del producto.

Tabla 8

Aceptabilidad sensorial en formulaciones de pan de molde funcion

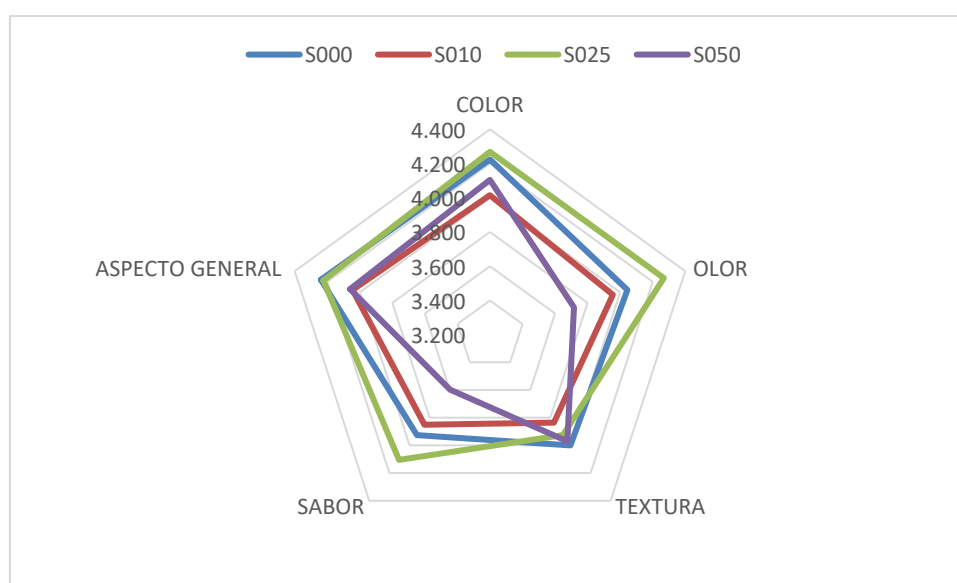
Código	Color	Olor	Textura	Sabor	Aspecto general
S000	4,2239 ± 0,8132 A	4,045 ± 1,007 AB	4,000 ± 1,030 A	3,925 ± 1,146 AB	4,2388 ± 0,7994 A
S010	4,0150 ± 0,8620 A	3,955 ± 0,860 AB	3,836 ± 1,053 A	3,851 ± 1,048 AB	4,0450 ± 0,8950 A
S025	4,2687 ± 0,6872 A	4,269 ± 0,827 A	3,925 ± 0,876 A	4,104 ± 0,923 A	4,2239 ± 0,7349 A
S050	4,1045 ± 0,7615 A	3,716 ± 1,042 B	3,970 ± 0,870 A	3,597 ± 1,155 B	4,0597 ± 0,7762 A

Nota. Literales diferentes entre columnas son estadísticamente diferentes ($p > 0,05$). La codificación corresponde a: S000 (Control Mango), S010 (MSI 1%), S025 (MSI 2,5), S050 (MSI 5%)

Los resultados muestran que la calificación de los participantes del análisis sensorial determinó una diferencia significativa en los parámetros de olor y sabor, en ambos casos la calificación más alta fue para la formulación que contiene 2,5% de MSI. Siendo esta última la que tuvo mayor aceptación de los consumidores, resultado que se respalda con el gráfico radial de la figura 1.

Figura1

Resultados de la Evaluación Sensorial del pan de molde



El número de jueces no entrenados que participaron en esta prueba sensorial superan al del trabajo de Calvo-Carrillo et al. (2020) en el doble, por lo que se ha considerado una muestra significativa para el presente estudio. No obstante, es preciso considerar que para pruebas de aceptación a mayor número de participantes, más estadísticamente confiables serán los resultados.

Conclusiones

- Se caracterizó la materia prima para la elaboración de ingredientes funcionales. La relación SST/acidez de 22,31 para el mango var. *Tommy Atkins* nos muestra un fruto con madurez fisiológica temprana, de acidez media muy poco utilizado aún dentro de la industria alimenticia. Mientras que el índice de refracción de $1,48 \pm 0,01$ para el aceite de Sacha inchi determina un aceite de alta pureza de características favorables para su incorporación en matrices alimentarias.
- Se determinó que el porcentaje de sustitución de microencapsulados de Sacha influye significativamente sobre las características físicas del pan de molde como la altura, el volumen y la textura en relación a la firmeza de la miga, mientras que su efecto no ejerce un cambio relevante sobre el color de la miga, todos estos parámetros analizados de forma instrumental.
- Se determinó la estabilidad oxidativa del aceite de Sacha inchi para todos los tratamientos de la variable de respuesta (Formulación). El efecto de capacidad antioxidante, obtenido de forma sinérgica por la acción de los antioxidantes presentes en la harina de subproducto de mango y el aceite de Sacha Inchi generan una relación directamente proporcional entre el aumento de la concentración de microencapsulados y la capacidad antioxidante presente en el producto.
- Se estableció a través del análisis sensorial que la formulación que incluye 2,5 % de microcápsulas de Sacha inchi fue aquella con mayor aceptación por parte de los consumidores, mostrando en el análisis estadístico una diferencia significativa en cuanto a olor y sabor.

Recomendaciones

- Se recomienda establecer los parámetros de escalamiento a nivel semi-industrial e industrial para la producción de ingredientes funcionales a partir de subproducto de mango y aceite de Sacha inchi.
- Se recomienda generar un perfil polifenólico y lipídico para las formulaciones del pan de molde funcional con ingrediente funcionales a partir de subproducto de mango y aceite de Sacha inchi, y así establecer los cambios generados por la fermentación y el horneado del producto.
- Se recomienda la realización de otros ensayos para la determinación de capacidad antioxidante y así establecer de forma más clara la interacción sinérgica entre los ingredientes funcionales y el incremento en su acción.

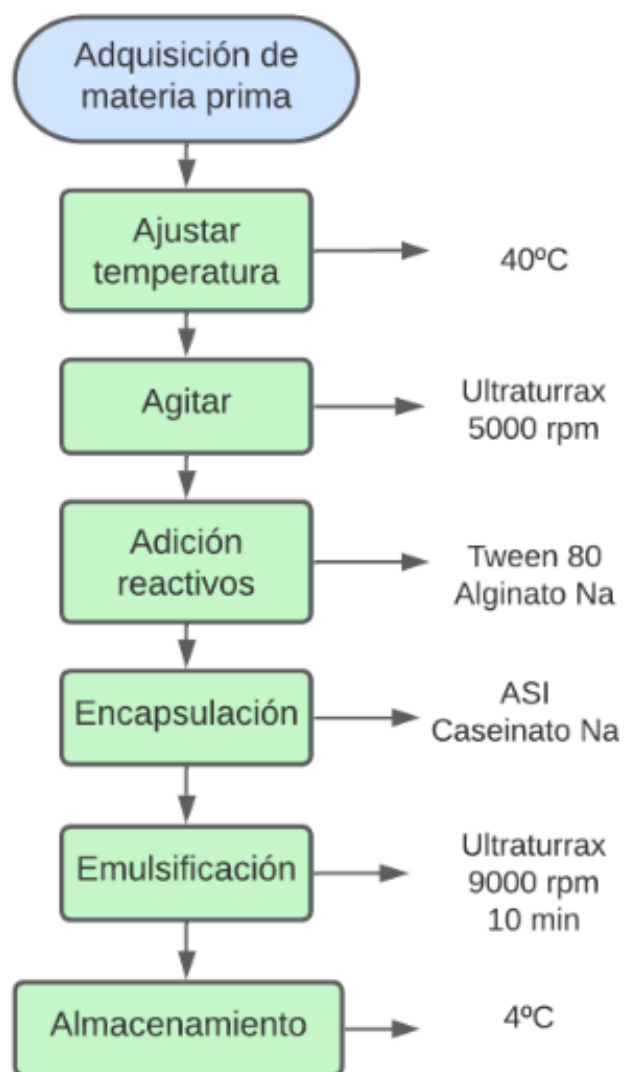
Referencias

- Alayón, A. N., & Echeverri J., I. (2016). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* linneo): ¿Una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(2), 167–171. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200009>
- Almeida-Alvarado, S. L., Aguilar-López, T., & Hervert-Hernández, D. (s.f.). *Artículos La fibra y sus beneficios a la salud*.
- Alvis, A., Pérez, L. J., & Arrazola, G. S. (2011). Estudio de propiedades físicas y viscoelásticas de panes elaborados con mezclas de harinas de trigo y de arroz integral. *Información Tecnológica*, 22(4), 107–116. <https://doi.org/10.4067/S0718-076420110004000012>
- Ayele, H. H., Bultosa, G., Abera, T., & Astatkie, T. (2017). Nutritional and sensory quality of wheat bread supplemented with cassava and soybean flours. <http://www.Editorialmanager.Com/Cogentagri>, 3(1), 1331892. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1331892>
- Bardales, J., Merino, C., Cabanillas, B., Rodríguez, A., & Vargas, G. (2019). Vista de COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES ESPECIES DE SACHA INCHI *Plukenetia* spp. DE LA AMAZONÍA PERUANA. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Amazonía Peruana*. Vol. 28. Num. 1, 65–74. <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/480/533>
- Cabezas Gagnay, A. (2010). *Elaboración y evaluación nutricional de galletas con Quinoa y Guayaba deshidratada* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/702/1/56T00232.pdf>
- Calvo-Carrillo, M. de la C., López-Méndez, O. X., Carranco-Jáuregui, M. E., Marines, J., Calvo-Carrillo, M. de la C., López-Méndez, O. X., Carranco-Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum* spp) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Biotecnía*, 22(3), 116–124. <https://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V22I3.1227>
- Cauvain, S. P. (2004). Improving the texture of bread. *Texture in Food* (Vol. 2, pp. 432–450). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/978185538362.3.432>
- Cordero Bueso, G. A. (2017). *Análisis sensorial de los alimentos*. AMV.
- Cortés, M., Chiralt, A., & Luís, P. D. (s.f.). *Alimentos funcionales: una historia con mucho presente y futuro*. Recuperado de www.cotec.es/publica/publicaciones.html
- Czubaszek, A., Czaja, A., Sokół-Łętowska, A., Kolniak-Ostek, J., & Kucharska, A. Z. (2021). Changes in antioxidant properties and amounts of bioactive compounds during simulated in vitro digestion of wheat bread enriched with plant extracts. *Molecules*, 26(20). <https://doi.org/10.3390/molecules26206292>
- Day, L., Seymour, R. B., Pitts, K. F., Konczak, I., & Lundin, L. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science and Technology*, 20(9), 388–395. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.05.002>
- Đurović, S., Vujanović, M., Radojković, M., Filipović, J., Filipović, V., Gašić, U., Tešić, Ž., Mašković, P., & Zeković, Z. (2020). The functional food production: Application of stinging nettle leaves and its extracts in the baking of a bread. *Food Chemistry*, 312, 126091. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.126091>
- Fernandez-Palmar Viluzca, Hernández, J., & Sulbarán, B. (2016). View of Caracterización físico-química y actividad antioxidante de frutos de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 216–231. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27199/27821>
- Ficco, D. B. M., Borrelli, G. M., Giovanniello, V., Platani, C., & de Vita, P. (2018). Production of anthocyanin-enriched flours of durum and soft pigmented wheats by air-classification, as a potential ingredient for functional bread. *Journal of Cereal Science*, 79, 118–126. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2017.09.007>
- Fuentes Zaragoza, E., Perez Alvarez, José., & Sanchez Zapata, E. (2009). Efecto de la concentración de aditivos e ingredientes sobre el color de pastas de merluza (*Merluccius australis*) tratadas térmicamente - Dialnet. *Optica Pura y Aplicada*, 42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6817772>
- Gamarra, J. R., Brokamp, G., & Cano Echeverría, A. (2009). *Spatial patterns of floristic diversity around the hyperarid core of the Atacama Desert View project Biogeographic history of plant communities in the Atacama Desert View project*. <https://www.researchgate.net/publication/43178817>
- Giannou, V., Kessoglou, V., & Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 14, Issue 3, pp. 99–108). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00278-9)
- Gonzales, G. F., & Gonzales, C. (2014). A randomized, double-blind placebo-controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) in

- adult human subjects. *Food and Chemical Toxicology*, 65, 168–176. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2013.12.039>
- Goyal, A., Tanwar, B., Kumar Sihag, M., & Sharma, V. (2022). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals. *Food Chemistry*, 373, 131459. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131459>
- Granato, D., Nunes, D. S., & Barba, F. J. (2017). An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 62, pp. 13–22). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.010>
- Hasani, S., Ojagh, S. M., Hasani, M., & Ghorbani, M. (2019). Sensory and technological properties of developed functional bread enriched by microencapsulated fish oil. *Progress in Nutrition*, 21, 406–415. <https://doi.org/10.23751/pn.v21i1-S.6202>
- Henna Lu, F. S., & Norziah, M. H. (2011). CONTRIBUTION OF MICROENCAPSULATED N-3 PUFA POWDER TOWARD SENSORY AND OXIDATIVE STABILITY OF BREAD. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5), 596–604. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2010.00505.X>
- Hidalgo, L. E. R., Rogel, C. J. V., & Bermeo, S. M. B. (2019). Characterization of Sacha inchi seed oil (*Plukenetia volubilis*) from 'Canton San Vicente, Manabí, Ecuador', obtained by non-thermal extrusion processes. *Granja*, 30(2), 70–79. <https://doi.org/10.17163/LGR.N30.2019.07>
- Imran, M., Arshad, M. S., Sadiq Butt, M., Kwon, J.-H., Arshad, M. U., & Tauseef, M. (n.d.). *Mangiferin: a natural miracle bioactive compound against lifestyle related disorders*. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0449-y>
- Islam, M. K., Khan, M. Z. H., Sarkar, M. A. R., Absar, N., & Sarkar, S. K. (2013). Changes in acidity, TSS, and sugar content at different storage periods of the postharvest mango (*Mangifera indica* L.) influenced by Bavistin DF. *International Journal of Food Science*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/939385>
- Kodahl, N., & Sørensen, M. (2021). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) is an underutilized crop with a great potential. *Agronomy*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy11061066>
- Lau, T. C., Chan, M. W., Tan, H. P., & Kwek, C. L. (2012). Functional food: A growing trend among the health conscious. *Asian Social Science*, 9(1), 198–208. <https://doi.org/10.5539/ass.v9n1p198>
- Mango. Mangifera indica*. (s.f.). <https://www.researchgate.net/publication/236852982>
- Martínez, G. (n.d.). *Determinación de los sólidos solubles de un alimento con un alto y un bajo contenido en agua*.
- Mau, J. L., Lee, C. C., Yang, C. W., Chen, R. W., Zhang, Q. F., & Lin, S. D. (2020). Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of bread partially substituted with aerial parts of sweet potato. *LWT*, 117, 108602. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108602>
- Meléndez-Martínez, A. J., Mapelli-Brahm, P., & Stinco, C. M. (2018). The colourless carotenoids phytoene and phytofluene: From dietary sources to their usefulness for the functional foods and nutraceuticals industries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 67, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.01.002>
- Meral, R., & Dogan, I. (2013). Quality and antioxidant activity of bread fortified with flaxseed - ProQuest. *Italian Journal of Food Science. Volumen 25.Nro. 1*, 51–56. <https://www.proquest.com/docview/1326333879?parentSessionId=UPzK2wHenhsAUx2od5RbjusMuYyQ1%2FdHjzSAsPVA12o%3D>
- Mikušová, L., Gereková, P., Kocková, M., Šturdík, E., Valachovičová, M., Holubková, A., Vajdák, M., & Mikuš, Ā. (2013). Nutritional, antioxidant, and glycaemic characteristics of new functional bread. *Chemical Papers*, 67(3), 284–291. <https://doi.org/10.2478/s11696-012-0258-8>
- Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread baking - A review. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 86, Issue 4, pp. 465–474). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>
- Olveira, G., & González-Molero, I. (2016). Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. In *Endocrinología y Nutrición* (Vol. 63, Issue 9, pp. 482–494). Elsevier Doyma. <https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.07.006>
- Ordoñez-Santos, L. E., Esparza-Estrada, J., & Vanegas-Mahecha, P. (2020). Potencial agroindustrial del epicarpio de mandarina como alternativa de colorante natural en pan. *Tecnológicas*, 23(48), 17–29. <https://doi.org/10.22430/22565337.1465>
- Parrotta, J. A. (s.f.). *Bahía de Bengala Tailandia Mangifera indica L. Mango Anacardiaceae Familia del anacardo*.
- Paucar-Menacho, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., & Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 279–290. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2015.04.05>

- Piechowiak, T., Grzelak-Błaszczak, K., Bonikowski, R., & Balawejder, M. (2020). Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. *LWT*, *117*, 108614. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108614>
- Rahaie, S., Gharibzahedi, S. M. T., Razavi, S. H., & Jafari, S. M. (2014). Recent developments on new formulations based on nutrient-dense ingredients for the production of healthy-functional bread: a review. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 51, Issue 11, pp. 2896–2906). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0833-6>
- Rahman, M. M., Ichiyanagi, T., Komiyama, T., Sato, S., & Konishi, T. (2008). Effects of Anthocyanins on Psychological Stress-Induced Oxidative Stress and Neurotransmitter Status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(16), 7545–7550. <https://doi.org/10.1021/jf800930s>
- Rincón-León, F. (2003). FUNCTIONAL FOODS. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2827–2832. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01328-6>
- roberfroid2000. (n.d.).
- Rubiano-Charry, K. D., Ciro-Velásquez, H. J., & Aristizabal-Torres, I. D. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *22*(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1078>
- Schmiele, M., Ferrari Felisberto, M. H., Pedrosa Silva Clerici, M. T., & Chang, Y. K. (2017). Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. *LWT - Food Science and Technology*, *76*, 259–269. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.07.014>
- Shandilya, U. K. (2017). Functional Foods and Their Benefits: An Overview. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, *7*(4). <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2017.07.00247>
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Baez- Sañudo, M., & Araiza-Lizarde, E. (2009). Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Rev. Fitotec. Mex Vol.32 No.1*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100006
- Sridhar, K., Sharma, M., Choudhary, A., Dikkala, P. K., & Narsaiah, K. (2021). Fish and garlic oils hybridized microcapsules: Fortification in functional bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(4), e15346. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15346>
- Srivastava, S., & Mishra, H. N. (2021). Development of microencapsulated vegetable oil powder based cookies and study of its physicochemical properties and storage stability. *LWT*, *152*, 112364. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112364>
- Tur, J. A., & Bibiloni, M. M. (2016). Functional Foods. *Encyclopedia of Food and Health*, 157–161. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00340-8>
- Villacrés Gallardo, D. (2016). *Determinación del índice de peróxidos en aceites usados en la preparación de papas fritas de ocho diferentes restaurantes con el objetivo de determinar posibles efectos en la sal* [Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6300/1/129305.pdf>
- Villanueva Flores, R. M. (2019). Fibra dietaria: una alternativa para la alimentación. *Ingeniería Industrial*, *037*, 229–242. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2019.n037.4550>
- Wandersleben, T., Morales, E., Burgos-Díaz, C., Barahona, T., Labra, E., Rubilar, M., & Salvo-Garrido, H. (2018). Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine. *LWT*, *91*, 48–54. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.01.029>
- Whitney, K., & Simsek, S. (2020). Potato flour as a functional ingredient in bread: evaluation of bread quality and starch characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, *55*(12), 3639–3649. <https://doi.org/10.1111/IJFS.14698>
- Wongkaew, M., Chaimongkol, P., Leksawasdi, N., Jantanasakulwong, K., Rachtanapun, P., Seesuriyachan, P., Phimolsiripol, Y., Chaiyaso, T., Ruksiriwanich, W., Jantrawut, P., & Sommano, S. R. (2021). Mango peel pectin: Recovery, functionality and sustainable uses. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym13223898>
- Zain, M. Z. M., Baba, A. S., & Shori, A. B. (2018). Effect of polyphenols enriched from green coffee bean on antioxidant activity and sensory evaluation of bread. *Journal of King Saud University - Science*, *30*(2), 278–282. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2017.12.003>
- Zain, M. Z. M., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2022). Potential functional food ingredients in bread and their health benefits. In *Biointerface Research in Applied Chemistry* (Vol. 12, Issue 5, pp. 6533–6542). AMG Transcend Association. <https://doi.org/10.33263/BRIAC125.65336542>

Figura 3



Elaboración de harina de subproducto de mango

Figura 4

Diagrama de flujo de elaboración pan de molde

