



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

CAMPUS TUXTEPEC

Elaboración y caracterización de galletas libre de gluten con alto contenido de fibra, a partir de harina de malanga (*Colocasia esculenta*, L. Shott) y de bagazo de piña modificado (*Ananas comosus*)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

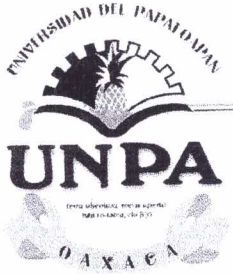
Ingeniera en Biotecnología

PRESENTA:

PALOMA DE LOS ÁNGELES GARCIA MUÑOZ

Director: M.C. Miguel A. García Muñoz

SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC, OAXACA., 2020



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
CAMPUS TUXTEPEC

Tuxtepec, Oaxaca, a 12 de noviembre de 2020
Oficio No. JCIB/005/11/2020

Lic. Yesenia Barrientos Arenal
Jefe de Servicios Escolares
Universidad del Papaloapan

Con base en el dictamen de la comisión revisora, se autoriza la impresión del trabajo de tesis de la alumna **Paloma de los Ángeles García Muñoz** titulado "Elaboración y caracterización de galletas libre de gluten con alto contenido de fibra, a partir de harina de malanga (*Colocasia esculenta*, L. Shott) y de bagazo de piña modificado (*Ananas comosus*)". Para ser presentado como trabajo de tesis para obtener el título de Licenciada en **Ingeniería en Biotecnología**, toda vez que cumple satisfactoriamente con la reglamentación establecida para tal fin.

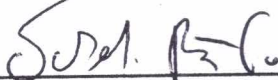
El Jurado de Examen Profesional estará compuesto por los siguientes profesores:

Presidente: Dr. Andrés Aguirre Cruz
Secretario: Dra. Rubí Utrilla Coello
Vocal: Dra. Delia Esther Páramo Calderón
Primer Suplente: Dr. Alejandro Aparicio Saguilán
Segundo Suplente: Dr. Julián Mario Peña Castro

Sin más por el momento le envío un cordial saludo.

Atentamente
Terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chí jí jú




Dr. Julián Mario Peña Castro
Jefe de Carrera de Ingeniería en
Biotecnología
Universidad del Papaloapan

Vo.Bo. M.C. Héctor López Arjona
Vice Rector Académico
Universidad del Papaloapan

c.c.p. M.C. Miguel Ángel García Muñoz. Director de tesis, Para su conocimiento
c.c.p. Paloma de los Ángeles García Muñoz, Alumna, Para su conocimiento
c.c.p. Archivo

Hoja de originalidad

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la **Universidad del Papaloapan** para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad del Papaloapan UNPA Campus Tuxtepec por abrirme las puertas y contribuir en mi formación profesional a largo de estos años.

Al personal que forma parte del Taller de Alimentos y demás Laboratorios de la Universidad (profesores y técnicos), por las facilidades otorgadas con el material y equipo utilizado para realizar este trabajo.

A la Dra. Rubí Guadalupe Utrilla Coello y Dr. Andrés Aguirre Cruz, por brindarme parte de sus conocimientos y enseñanzas que contribuyeron al enriquecimiento de este trabajo.

Al Dr. Enrique Ramírez Figueroa, Profesor del Tecnológico Nacional de México TecNM campus Tuxtepec, por otorgarme las facilidades en su Laboratorio para la realización de algunas pruebas.

A la empresa Integradora R y T de la cuenca S.A.P.I. de C.V. ubicada en el ejido de Sebastopol, Tuxtepec Oaxaca, por la donación de las materias primas.

A mi director de tesis el M.C. Miguel Ángel García Muñoz, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, paciencia y enseñanza, permitió el desarrollo de este trabajo.

Dedicatoria

Este trabajo realizado lo dedico a Dios, por colmarme de sabiduría y guiarme a lo largo de mi camino.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y motivación constante.

A mis compañeros y amigos de la carrera que hicieron más amena mi estadía en la universidad.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	X
Abstract	XI
Abreviaturas	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	
2.1 Alimentos funcionales	2
2.2 Enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT)	3
2.3 Fibra dietética	6
2.3.1 Factores asociados al bajo consumo de fibra	6
2.4 Piña (<i>Ananas comosus</i>)	8
2.4.1 Composición química de la piña	10
2.5 Productos de panificación	11
2.5.1 Clasificación de productos de panificación	12
2.5.2 Galletas	12
2.5.3 Efecto de los ingredientes	13
2.6 Malanga (<i>Colocasia esculenta</i>)	14
2.6.1 Composición química de la malanga	15
2.7 Enfermedad celíaca	17
2.8 Productos de panificación libre de gluten	19
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. HIPÓTESIS	22
5. OBJETIVOS	
5.1 Objetivo principal	23
5.2 Objetivos secundarios	23
6. MATERIALES Y MÉTODOS	
6.1 Materias primas	24
6.1.1 Harina de malanga	24
6.1.2 Harina de piña	24

6.2	Modificación enzimática de la fibra de piña	25
6.3	Formulación de masas	25
6.4	Proceso de elaboración de galletas	26
6.5	Análisis químico proximal	27
6.5.1	Humedad	27
6.5.2	Cenizas	28
6.5.3	Proteínas	28
6.5.4	Lípidos	29
6.6	Pruebas de color	30
6.7	Pruebas de textura	31
6.8	Evaluación sensorial	31
6.9	Determinación de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS)	32
6.10	Determinación de glucosa libre (GL), glucosa total (GT) y almidón total (AT)	33
6.11	Determinación de las fracciones de almidón de digestión rápida (ADR), lenta (ADL) y resistente (AR)	34
6.12	Análisis estadístico	35
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1	Composición química proximal de la harina de malanga	36
7.2	Composición química proximal de la fibra modificada de piña (<i>Ananas comosus</i>)	38
7.3	Caracterización química proximal de las formulaciones de las galletas obtenidas	41
7.4	Pruebas sensoriales	42
7.5	Pruebas de textura	44
7.6	Pruebas de color	47
7.7	Determinación de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS)	49
7.8	Determinación de glucosa libre (GL), glucosa total (GT) y almidón total (AT)	51
8.	CONCLUSIONES	53
9.	REFERENCIAS	54

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Descripción	
1	Composición química de la piña por cada 100 g	10
2	Clasificación de los productos de panificación	12
3	Clasificación de las galletas en función del contenido de grasa	13
4	Composición química de la malanga	16
5	Contenido nutricional de diferentes tubérculos	17
6	Formulación de mezclas para la obtención de masas	26
7	Formulación de una galleta estándar	26
8	Escala hedónica de 7 puntos para la evaluación sensorial	31
9	Composición química proximal de la harina de malanga (base seca)	36
10	Composición química proximal de la fibra de piña (base seca)	38
11	Determinación de fibra dietética total de la harina de piña nativa y modificada	40
12	Composición química proximal de las formulaciones elaboradas (base seca)	42
13	Resultados de preferencia obtenidos de la prueba hedónica para las galletas elaboradas	44
14	Parámetros de textura obtenidos de las formulaciones de galletas	45
15	Pruebas de color en las formulaciones de galletas	48
16	Porcentajes de fibra dietética en formulaciones de galletas obtenidas	50
17	Resultados de glucosa libre (GL), glucosa total (GT) y almidón total (AT) en formulaciones	52

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	
1	Plato del bien comer	5
2	Producción mundial de piña (<i>Ananas comosus</i>) en el 2017	9
3	Producción nacional de piña (<i>Ananas comosus</i>) en el 2018	9
4	Rendimiento en T/Ha de malanga a nivel mundial en el 2015	15
5	Proteínas del gluten	18
6	Comportamiento esfuerzo vs deformación de las formulaciones elaboradas	47

Resumen

El consumo de alimentos procesados ha aumentado de manera constante en las últimas décadas, aunado a la falta de ejercicio y malos hábitos alimenticios, ha propiciado el desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas, así como, efectos alarmantes en la salud. Entre los productos mayoritariamente consumidos destacan los productos de panificación, especialmente las galletas, las cuales están constituidas principalmente por harina de trigo refinada, azúcares simples y grasas, dando como resultado alimentos de alta densidad energética. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue elaborar galletas libre de gluten con alto contenido de fibra dietética. Se realizaron diferentes formulaciones de galletas mediante la sustitución parcial de harina de malanga (*Colocasia esculenta*, L. Shott) por fibra modificada de piña (*Ananas comosus*). Las formulaciones elaboradas estuvieron constituidas de harina de trigo refinada para F0 (control), harina de malanga (F1) y la mezcla de harina de malanga y fibra modificada de piña en la relación 90-10% (F2), 80-20% (F3) y 70-30% (F4). Se realizó la caracterización química proximal, así como, pruebas sensoriales, fisicoquímicas y digestibilidad de las galletas elaboradas. Los resultados obtenidos mostraron un alto contenido de carbohidratos en la harina de malanga (64.4 g/100 g) y en la fibra modificada de piña (84.7 g/100g). El contenido de fibra dietética total en la harina de piña fue 54.2 g/100g, del cual, el 0.2% corresponde a fibra soluble. Después de la modificación enzimática el contenido de fibra soluble aumentó 11% aproximadamente. Las formulaciones con mayor aceptabilidad en el análisis sensorial fueron F1 y F2 en la escala “me gusta mucho”, sin diferencia estadísticamente significativa, mientras que las formulaciones F3 y F4, fueron las de menor aceptabilidad. El análisis de color mostró valores de luminosidad más elevados para F1 y F2, mientras que la cromaticidad aumentó con el contenido de fibra. El análisis de textura presentó un incremento significativo en los parámetros de dureza y rigidez, a medida que se incrementó el contenido de fibra en las galletas, haciéndolas menos atractivas al consumidor en términos de textura. Finalmente, se observó un incremento significativo del contenido de fibra soluble en la formulación F2 hasta un 50% después del proceso de cocción. Por su alto contenido de fibra dietética total, fibra soluble y bajo contenido de glucosa libre en la galleta, hace de este producto una formulación atractiva para la funcionalización de alimentos con bajo contenido calórico y libre de gluten.

Abstract

The consumption of processed foods has increased steadily in recent decades, coupled with the lack of exercise and poor eating habits, has led to the development of chronic degenerative diseases, as well as, alarming effects on health. Among the products mostly consumed, bakery products stand out, especially cookies, which are mainly made up of refined wheat flour, simple sugars and fats, resulting in high energy density foods. The aim of this work was to elaborate gluten-free cookies with a high content of dietary fiber. Different cookie formulations were made by partially substituting taro flour (*Colocasia esculenta*, L. Shott) for modified pineapple fiber (*Ananas comosus*). The formulations were elaborate of refined wheat flour for F0 (control), taro flour (F1) and the mixture of taro flour and modified pineapple fiber in the relationship 90-10% (F2), 80-20% (F3) and 70-30% (F4). Proximal chemical characterization was carried out, as well as sensory, physicochemical and digestibility tests of the prepared cookies. The results obtained showed a high carbohydrate content in taro flour (64.4 g / 100 g) and in the modified pineapple fiber (84.7 g / 100g). The total dietary fiber content in pineapple flour was 54.2 g / 100g, of which 0.2% corresponds to soluble fiber. After the enzymatic modification, the soluble fiber content increased approximately 11%. Formulations with higher acceptability in sensory analysis were F1 and F2 on the scale "like very much", no statistically significant difference, while F3 and F4 formulations were lower acceptability. Color analysis showed higher luminosity values for F1 and F2, while chromaticity increased with fiber content. The texture analysis showed a significant increase in the hardness and stiffness parameters, as the fiber content in the cookies increased, making them less attractive to the consumer in terms of texture. Finally, a significant increase in the soluble fiber content in formulation F2 was observed up to 50%, after the cooking process. Due to its high content of total dietary fiber, soluble fiber and low content of free glucose in the cookie, it makes this product an attractive formulation for the functionalization of low calorie and gluten-free foods.

Abreviaturas

ECV	Enfermedades cardiovasculares
ACV	Enfermedades cerebrovasculares
OMS	Organización Mundial de la Salud
SSA	Secretaría de Salud
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SE	Secretaría de Economía
CANAIPA	Cámara Nacional de la Industria Panificadora
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería
INCAP	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
AACC	Asociación Americana de Química Clínica
CIE	Comisión Nacional de Iluminación
FD	Fibra dietética
FDS	Fibra dietética soluble
FDI	Fibra dietética insoluble
EC	Enfermedad celiaca
GOP-POD	Glucosa oxidasa peroxidasa
Termomyl	α -amilasa termoestable
GL	Glucosa libre
GT	Glucosa total
AT	Almidón total
AR	Almidón resistente

1. INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX se han manifestado cambios trascendentales relativos a las principales causas de mortalidad en México, muchas de ellas, relacionados con enfermedades infecciosas transmisibles. A partir de 1950, debido a cambios en las condiciones de vida, el aumento de problemas relacionados con enfermedades crónicas no transmisibles, cambió súbitamente el panorama (Soto-Estrada y col., 2016). La vida sedentaria del ser humano, el bajo consumo de frutas, verduras, leguminosas y fibra dietética ha permitido posicionar a las enfermedades isquémicas del corazón en el primer puesto, con un 31% como principal causa de muerte a nivel mundial en el 2019 (OMS, 2017). Por otra parte, el excesivo consumo de alimentos industrializados con alta densidad energética, ha constituido un grave problema, generando obesidad y aumentos de los niveles de glucosa en sangre, que a largo plazo propicia el desarrollo de diabetes. Derivado de lo anterior, se ha impulsado a los investigadores a crear alimentos funcionales con buenas propiedades sensoriales, con alto valor nutrimental y además prevengan el desarrollo de enfermedades y mejore las condiciones físicas y psíquicas (Zamora Vega, 2011; Solano García, 2017).

Por consiguiente, una de las áreas que más ha venido revolucionando la industria de los alimentos es la sustitución de carbohidratos simples o de digestión rápida como glucosa, fructosa y galactosa por fibra dietética. La fibra dietética es de utilidad para el buen funcionamiento gastrointestinal, además, se ha comprobado su papel en la prevención y tratamiento de algunas enfermedades como: diabetes, obesidad, dislipidemias e hipertensión arterial (Stanton y col., 2007). Es por ello, que este trabajo busca desarrollar y caracterizar galletas (*gluten free*) a base de harinas no convencionales como: malanga (*Colocasia esculenta*, L. Scott) y fibra modificada de piña (*Ananas comusus*). La modificación enzimática de fibra de piña permitirá incrementar el contenido de fibra soluble para su utilización como alimento funcional y potenciar los beneficios en la salud de los consumidores.

Asimismo, se busca diversificar el uso de recursos naturales (malanga y piña) que se producen en la región del Papaloapan y darle un valor agregado, potenciando así su desarrollo económico.

2. ANTECEDENTES

2.1 Alimentos funcionales

La relación entre alimento y medicina son milenarios, empezó a cobrar importancia desde que se asoció el consumo de alimentos con la prevención y cura de enfermedades. Los primeros registros de este conocimiento datan de la cultura China desde el año 1000 A.C., destacando en su filosofía principal “La medicina del hombre es el alimento”. Sin embargo, fue hasta el año 1980 cuando se introdujo en Japón un término denominado *alimentos funcionales*, principalmente guiados por las exigencias de los altos costos de salud en adultos enfermos (Cortés y col., 2005).

Actualmente este término es designado a todos aquellos alimentos naturales o procesados que son consumidos en la dieta y que han demostrado además de su importancia nutricional, generar beneficios, ya sea en la prevención o tratamiento de alguna enfermedad (Ashwell, 2002). El papel funcional de estos alimentos viene dado por el componente fisiológicamente activo añadido al producto y se clasifica de acuerdo a la siguiente categoría (Civeira Murillo y col., 2007).

1. Fibras alimentarias
2. Oligosacáridos
3. Alcoholes derivados de azúcares
4. Ácidos grasos poliinsaturados
5. Péptidos y proteínas
6. Glucósidos, isoprenoides y vitaminas
7. Alcoholes y fenoles
8. Colinas (lecitina)
9. Bacterias del ácido láctico
10. Minerales
11. Otros

Los componentes o el componente fisiológicamente activo que pueda tener un producto procesado para ser catalogado como funcional pueden presentar diferentes vías, o una combinación de éstas (Civeira Murillo y col., 2001):

1. La eliminación de un componente antinutricional o con efectos negativos en el organismo, mediante medios tecnológicos o biológicos.
2. El reemplazo de un componente nocivo, por otro con efectos beneficiosos.
3. El aumento en la concentración de algún componente que se encuentra presente de forma natural en el alimento, pero que, para su mayor beneficio, se necesita en mayor cantidad.
4. Aumentar la disponibilidad de un compuesto que no sea estable.
5. La adición de un componente que originalmente no se encontraba en el alimento, pero que se ha demostrado que su presencia, aumenta sus beneficios.

La vía de aplicación que se elija para la creación de un alimento con enfoque funcional, siempre dependerá de las demandas de la sociedad y los posibles problemas que se pretendan evitar. Es bien sabido que alguno de los problemas que actualmente se enfrenta el mundo occidental es la incidencia de las ECNT. En el 2001, representaron el 46% de las enfermedades y se espera que aumente al 57% en el presente año. Las ECNT son responsables de 41 millones de muertes cada año, lo que equivale al 71% de las muertes que se producen en el mundo. Cada año mueren por ECNT 15 millones de personas de entre 30 y 69 años de edad; más del 85% de estas muertes "prematuras" ocurren en países de ingresos bajos y medianos. Las enfermedades cardiovasculares constituyen la mayoría de las muertes por ECNT (17.9 millones cada año), seguidas del cáncer (9.0 millones), las enfermedades respiratorias (3.9 millones) y la diabetes (1.6 millones) (GDB, 2015).

2.2 Enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT)

En la actualidad los problemas relacionados con la mala alimentación están incrementando exponencialmente, llegándose a considerar un problema de salud pública y un reto global. A causa del creciente desarrollo económico de los países, ligados a cambios en el estilo de vida, ha permitido a la población consumir más productos ricos en calorías, grasas saturadas, exceso de sal y aunado a la falta de actividad física, sentaron las principales bases para el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) (Rondanelli Izquierdo y Rondanelli Salas, 2014).

Las ECNT son aquellas patologías de larga duración con períodos de remisión y recurrencia, en donde existe ausencia de un microorganismo causal, la cual tiene factores de riesgo múltiples con

posibles consecuencias a largo plazo (minusvalías físicas y mentales). Las ECNT representan la mayor carga de salud pública, tanto en los países desarrollados y cada vez en mayor medida en los países en desarrollo, ya sea en términos de costo directo para la sociedad y el gobierno, o en años productivos perdidos por discapacidad (FAO/OMS, 2003). Dentro de las ECNT se encuentra la obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer, osteoporosis, entre otras.

En México hay tres tipos de enfermedades que concentran más del 33% de las muertes en mujeres y más del 26% en hombres: la diabetes mellitus, las enfermedades isquémicas del corazón y las enfermedades cerebro-vasculares. Estas enfermedades comparten algunos factores de riesgo, como el sobrepeso y la obesidad (Programa Nacional de Salud, 2007).

La evolución natural de las ECNT puede modificarse con acciones que cambien el curso de las condiciones que determinan su incidencia a través de la alimentación; debido a que, los alimentos tienen una función bien establecida como determinantes de las ECNT, por lo tanto, también lo tienen en las actividades de prevención (FAO/OMS, 2003).

En relación a lo anterior, uno de los factores de riesgo controlables que destaca es la alimentación, debido a que permite perpetuar la salud en la población que la atiende de forma efectiva. Según la FAO este aumento en la calidad de vida, involucra un bienestar físico y mental en todas las edades, por lo que una mala alimentación influye en el desencadenamiento de enfermedades cardiovasculares (ECV), el aumento del consumo de solo ciertos nutrientes genera problemas como la obesidad y diabetes, mientras que la falta de otros genera repercusiones relacionadas con el desarrollo físico y motriz (Levy Shamah y col., 2015). Por esta razón la NOM-043-SSA2-2005 estableció el concepto del plato del bien comer (Figura 1), que nos genera una pauta de cómo debe establecerse una alimentación para considerarse saludable.

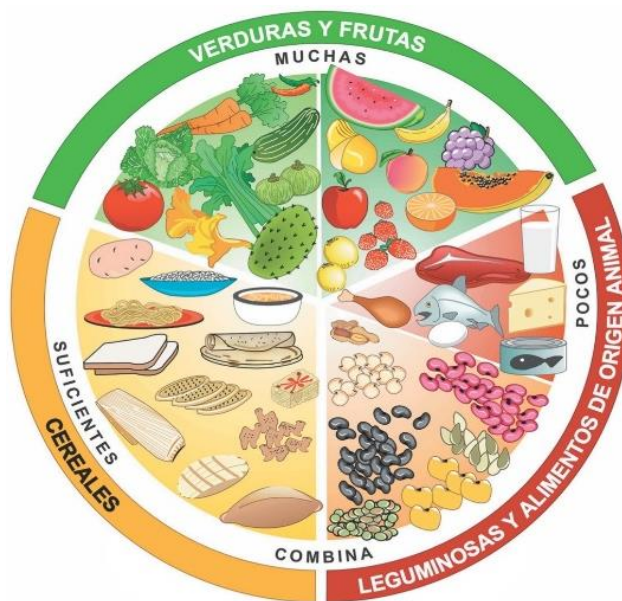


Figura 1. El plato del bien comer (NOM-043-SSA2-2005).

Los alimentos se encuentran distribuidos en tres grandes grupos, el constituido por vitaminas y minerales, los que están conformados por leguminosas y alimentos de origen animal y el tercero constituido por los cereales. La importancia de considerar todos los segmentos radica en el aporte de vitaminas y minerales, el aporte de proteínas para la formación de piel, cabello, uñas y músculos; mientras que el aporte de energía necesaria está proporcionado por los cereales, por lo que la alimentación variada y saludable involucra el consumo de diferentes alimentos, en proporciones balanceadas, con ello se asegura una correcta suficiencia nutrimental (Calañas Continente, 2005).

En México, el consumo de fibra es de 16 a 18 g/día, esta cifra se encuentra por debajo de lo requerido, además de que el consumo de cereales se les atribuye solamente a las harinas refinadas y en menor medida a los productos integrales. La OMS establece que al menos la mitad del consumo de cereales debe provenir de granos integrales y consumir diariamente entre 25 a 30 gramos de fibra (SSA, 2016).

2.3 Fibra dietética

La fibra dietética (FD) es uno de los componentes reconocidos como ingrediente funcional, ésta se define como hidratos de carbono con tres o más unidades monoméricas que no se digieren ni se absorben en el intestino delgado humano, incluye los carbohidratos comestibles que se producen de forma natural, los obtenidos a partir de materias primas alimentarias mediante tratamientos físicos, químicos o enzimáticos y los sintetizados artificialmente pero que demuestran beneficios para la salud (CODEX, 2009). La FD está formada por una mezcla heterogénea de sustancias que por sus propiedades físicas y el efecto que cumplen en el organismo se clasifican como fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI), referida dicha solubilidad a las fibras que se dispersan en el agua (Rodney y col., 2017). Se ha demostrado que la fibra soluble en contacto con el agua se hincha por efecto de un retículo que atrapa el agua, originando soluciones de gran viscosidad, este efecto es importante en el organismo porque en el intestino delgado enlentece el tiempo de tránsito y en el estómago retarda el vaciamiento gástrico prolongando la sensación de saciedad. Mientras que la fibra insoluble se caracteriza por atrapar el agua en su matriz provocando mezclas de baja viscosidad agilizando el tránsito intestinal (Escudero Alvarez y Gonzáles Sánchez, 2006). Debido a las funcionalidades que otorga la fibra dietética (FD) soluble e insoluble en el organismo de los consumidores, se ha creado una asociación entre el consumo de fibra dietética (FD) y el desarrollo de algunas enfermedades.

2.3.1 Factores asociados al bajo consumo de fibra

“La teoría de la fibra”, fue establecida en los años setenta, tras numerosas investigaciones, abanderadas por Denis Burkitt y col., (1972) y más tarde confirmadas por Cleave, Walter y Trowell (1978), y sirvieron de pauta para comenzar a revolucionar el mundo de los alimentos. Esta teoría establecía que el reemplazo de harinas refinadas por integrales, proponía no solo la eliminación de padecimientos propios del mundo occidental, si no que evitaba el desarrollo de enfermedades, además de actuar como agente terapéutico (García Peris y Velasco Gimeno, 2007).

Entre los padecimientos y enfermedades producto de la falta del consumo de fibra dietética se encuentra el estreñimiento, la diabetes, la diverticulosis, la enfermedad inflamatoria intestinal, el cáncer colorrectal, las cardiopatías coronarias y la obesidad (Rubio Herrera, 2002).

En cuanto a la relación que existe entre la fibra dietética y el estreñimiento, se ha confirmado que consumir de 20 a 35 gramos de fibra al día generará una masa fecal crítica que a su vez elimina el riesgo de padecer estreñimiento, (Moreira Vicente y López San Roman, 2006; SSA, 2016), evitando la generación de hernias a lo largo del colon, por efecto de los vasos sanguíneos que penetran las zonas más delgadas de la pared del intestino, debido a esfuerzos prolongados durante las deposiciones (Moreira Vicente y López San Roman, 2005; Fuxá y Quera Pinto, 2017).

Por otro lado, la diabetes es otro de los padecimientos asociados a la falta de fibra que ha llamado la atención debido a que en los últimos años se ha convertido en una epidemia global, llegándose a triplicar la cifra de casos presentados. Hernández Ávila y col. (2013) señalan que a partir de 1995 los países que destacan con los mayores casos de esta enfermedad son China, India, Estados Unidos, Brasil, Rusia y México alrededor del mundo. Por otro lado, Gray (2006) determinó que el consumo de fibra soluble está estrechamente relacionado con la prevención y tratamiento de la diabetes mellitus, debido a que la incorporación en la dieta evita los niveles bruscos de glucosa en la sangre y atenúa los niveles por más tiempo, permitiendo una mejor respuesta de insulina.

Por último, se ha vinculado el consumo de fibra dietética (FD) con la saciedad y el control del peso corporal, el vaciamiento gástrico, así como a la absorción de los niveles de colesterol y carbohidratos (Sánchez Almaraz y col., 2015), la reabsorción de los ácidos biliares, alteraciones en la producción de lipoproteínas en el hígado y cambios en la depuración de lipoproteínas en el torrente sanguíneo. Esta capacidad es debido a que las fibras solubles como las pectinas, gomas y mucilagos, tienen la propiedad de captar agua y generar soluciones de gran viscosidad. Con respecto a lo anterior, las investigaciones han sugerido un consumo abundante de frutas y verduras, no solo por su aporte nutricional, si no que destaca la presencia de la fibra dietética soluble (FDS) e insoluble (FDI) en estos alimentos, estos mismos autores, establecieron que las mayores proporciones de FD se ha encontrado en frutas, seguidas de las verduras y en menor proporción en cereales integrales. Estos alimentos prometen ser una excelente opción para cumplir el requerimiento diario en todas las edades (Escudero Álvarez y González Sánchez, 2006).

2.4 Piña (*Ananas comosus*)

Este fruto se caracteriza por ser ampliamente utilizado para la elaboración de jugos, néctares, vinagres, jaleas, licores, mermeladas, almíbar y dulces. Asimismo, destaca su alto contenido de fibra, representando aproximadamente el 20% del total del fruto, distribuida en fibra soluble e insoluble. A su vez, tras el procesamiento de las materias primas, se obtiene gran cantidad de (desechos agroindustriales), produciéndose hasta un 65% de material no utilizado (Quesada Solís y col., 2005).

Por otro lado, cuando los frutos no cumplen con las características deseadas para ser sometidas a procesos que implican la elaboración de alimentos (diámetro, uniformidad en color, índice de madurez y longitud etc.), son rechazados. Por otra parte, debido a las recomendaciones por los organismos internacionales para la incorporación de fibra en los alimentos, y la necesidad del mercado de los alimentos de adaptarse a las nuevas tecnologías que exige la sociedad, se buscan alternativas para la extracción de fibra de las frutas. Estos desechos y frutos expendidos pueden ser reutilizados para la extracción de altas cantidades de fibra (Miguel Hajar, 2008).

Ramulu y Udayasekhara (2003) reportaron que la piña es uno de los frutos tropicales que aporta cantidades considerables de fibra, aproximadamente el 20% del total del fruto, corresponde a la parte comestible, en la que destaca la fibra dietética soluble e insoluble.

Este fruto pertenece a la familia de las bromeliáceas, nativa de América del sur, crece en zonas tropicales produciendo un único fruto, caracterizado por su notable sabor dulce y ácido. Es considerada la segunda fruta tropical más importante debido a sus altas producciones a nivel mundial. A nivel mundial, México ocupa uno de los diez primeros lugares en producción de piña como se observa en la Figura 2.

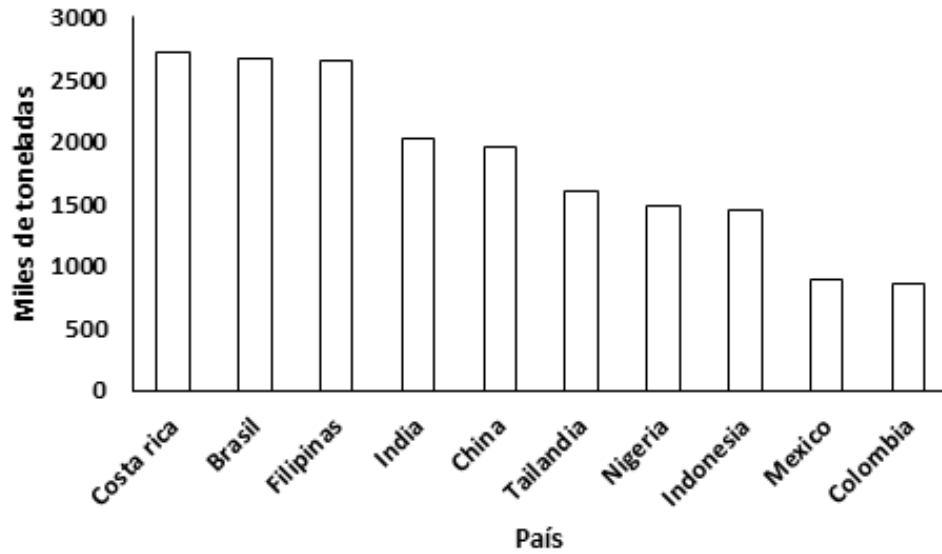


Figura 2. Producción mundial de piña (*Ananas comosus*) (FAO, 2017).

Los principales estados productores de piña a nivel nacional son Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Quintana Roo y Jalisco sumando el 92.2 % del total de la producción nacional (SIAP, 2018) Figura 3.

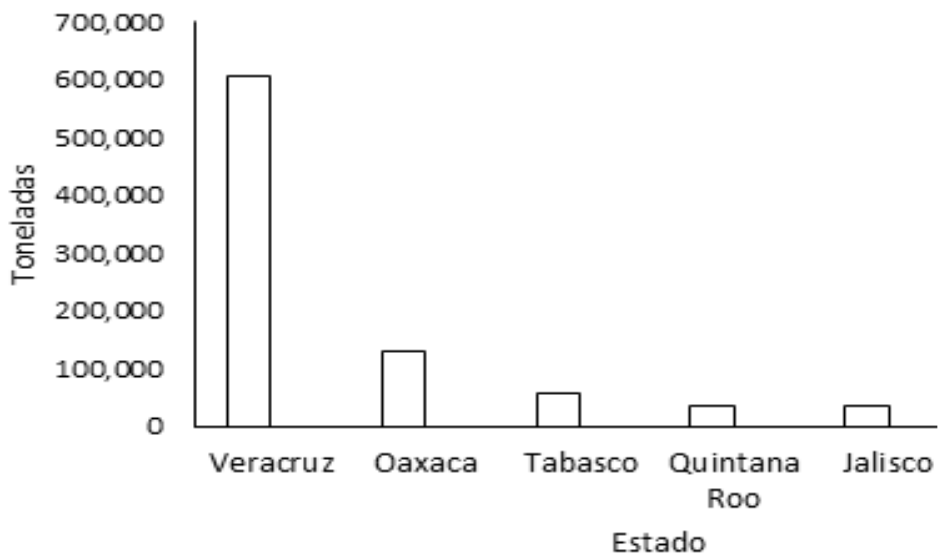


Figura 3. Producción nacional de piña (*Ananas comosus*) (SIAP, 2018).

2.4.1 Composición química de la piña

La piña, además de ser utilizada para generar diferentes productos alimenticios por su apreciable sabor, es importante por su composición nutrimental.

Se ha demostrado que la composición puede variar de un tipo a otro, pero de manera general se encuentran libres de grasa, poca cantidad de proteínas y carbohidratos, alta cantidad de agua, fibra, vitaminas y bromelina, Tabla 1.

Esta característica la convierte en un excelente fruto con propiedades medicinales, ayudando a normalizar la digestión, metabolizar grasas, carbohidratos, potencial agente antiinflamatorio, antitrombótico y antiedematoso.

Tabla 1. Composición química de la piña por cada 100 g (Mataix Verdú y col., 2009).

Componente	Unidad	Valor
Energía	kcal	45.00
Proteínas	g	0.50
Carbohidratos	g	11.50
Fibra	g	1.20
Calcio	mg	12.00
Hierro	mg	0.50
Magnesio	mg	14.00
Sodio	mg	3.00
Potasio	mg	250.00
Fosforo	mg	11.00
Vitamina E	mg	0.10
Niacina	mg	0.30
Ácido fólico	µg	11.00
Vitamina C	mg	20.00
Vitamina A	µg	13.00

Debido a la importancia que ha tomado la fibra en la elaboración de alimentos funcionales, y a la gran disponibilidad de la misma en frutas, se ha enfocado esfuerzos a la incorporación de fibra, en los alimentos, no solo para beneficiar la salud, sino para que brinde nuevos sabores y texturas. Es por ello que, en los últimos años la tendencia en el desarrollo de alimentos funcionales con alto contenido de fibra ha sido orientado a la elaboración de productos de rápido consumo, como los productos de panificación.

2.5 Productos de panificación

Los productos de panificación tienen un arraigado consumo en la población mexicana. De hecho, México se encuentra entre los diez principales productores de alimentos procesados en el mundo, entre los que destaca la industria de la panadería con un 21 %, seguido de los lácteos 19% y los alimentos refrigerados con un 10.5% (SE, 2013).

A su vez, la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAIPA, 2017), en México anunció que el consumo per cápita de estos productos es de 33.5 kg al año, de los cuales el 70% corresponde a pan y el 30% a galletas y pasteles. Los principales estados que concentran más de la mitad de las producciones son el estado de México, CDMX, Puebla, Oaxaca, Veracruz, Sonora y Michoacán. Por lo que el uso de fibra dietaria procedentes de piña puede ser una alternativa viable y saludable en la elaboración de productos de panificación.

La Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996 define a los productos de panificación como los productos obtenidos de las mezclas de harinas de cereales o harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no; pueden contener sal comestible, mantequilla, margarina, aceites comestibles hidrogenados o no, leudante, polvo de hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos u otros productos comestibles similares, pueden emplear o no aditivos para alimentos; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso. Sin embargo, la materia prima básica para la elaboración de pan común puede limitarse a 4 componentes: harina, agua, sal, levadura,

la inclusión de algún componente especial conlleva la elaboración de pan especial (Mesas Mesas y Alegre Rivas, 2002).

2.5.1 Clasificación de productos de panificación

Los productos de panificación se clasifican de acuerdo a su composición según la NMX-F-516-1992 como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los productos de panificación (NMX-F-516-1992).

TIPO I: Pan Blanco, Bolillo y Telera	TIPO V: Galletas
TIPO II: Pan de Harinas Integrales	a) Galletas Finas
TIPO III: Pan, Productos de Bollería	b) Galletas Entrefinas
TIPO IV: Pan Dulce	c) Galletas Comerciales
a) Panquelería	d) Galletas Básicas
b) Hojaldre y feite	e) Galletas Simples
c) Fritos	f) Galletas compuestas
d) Danés	g) Galletas combinadas
e) Soletas	TIPO VI: Pastas secas
f) Polvorones	a) Pastas Secas de Mantequilla
g) Bisquet	TIPO VII: Pastel
h) Bizcocho	TIPO VIII: Pay o Tarta

2.5.2 Galletas

Las galletas constituyen el tipo V en la clasificación de los productos de panificación y se pueden describir 7 variedades, (ver Tabla 2). Éstas dependen de los ingredientes empleados y del proceso de elaboración. La definición propuesta en la NMX-F-516-1992, indica que es el resultado de hornear una pasta o masa con o sin levadura, preparada con un mínimo de 40 % de harinas de cereales y/o leguminosas, con azúcares, adicionada o no de huevo, mantequilla o grasas y/o aceites comestibles, agentes leudantes, sal yodada, otros ingredientes y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud. La masa puede ser moldeada, modelada o extruida de distintas formas y cuyo contenido de humedad no debe ser mayor al 8 %. A su vez el contenido

de humedad dependerá, si la misma presenta componentes adicionales como relleno, cobertura u otro tipo de decoración extra. Por otro lado, la clasificación de las galletas es determinada por su porcentaje de grasa que contenga y si esta presenta algún relleno o decorado.

Tabla 3. Clasificación de las galletas en función del contenido de grasa (NMX-F-516-1992).

Clasificación	Contenido de grasa
Finas	15 % mínimo
Entrefinas	10 % mínimo
Comerciales	7 % mínimo
Básicas	3 % mínimo

La segunda clasificación hace hincapié a la presencia de rellenos o decorados ya sea antes o después de ser sometida a un proceso de horneado. Esta categoría corresponde a las galletas simples, compuestas y combinadas. Siendo las simples, aquellas que no presentan relleno, ni decorado, las compuestas pueden presentar relleno o decorado, mientras que las combinadas presentan relleno y decorado. Estas categorías tienen en común los ingredientes básicos para elaborar la galleta siempre estarán presentes. Aunque los ingredientes que se le incorporen a la galleta sean diferentes, los ingredientes presentes tenderán a presentar el mismo comportamiento en el producto.

2.5.3 Efecto de los ingredientes

Las propiedades organolépticas de los ingredientes influyen en la calidad del producto final. La harina es la materia prima principal para la elaboración de las galletas, constituye el componente mayoritario y la matriz donde se agrupan los demás ingredientes. Está constituida principalmente por 75% de almidón y su clasificación depende de la cantidad de proteínas formadoras de gluten. Las harinas duras contienen más del 10% de proteínas, incrementando la elasticidad, cohesión, extensibilidad y firmeza de las masas. Efecto contrario se observa en las harinas blandas, el cual contienen menos del 10% de proteínas (Manley Duncan, 1989).

Otro de los ingredientes que constituyen a las galletas es el azúcar. Se ha observado que la incorporación de azúcar interviene en el aspecto y textura crocante del producto final, así como en la fijación de agua, la reducción de la viscosidad de la masa y relajación, retiene la humedad y propicia la reacción de Maillard (Maache Rezzoug y col., 1989; Coultate, 1984).

De la misma manera que el azúcar, la grasa constituye otro de los ingredientes con mayor uso dentro de esta área, debido a que proporciona un efecto aglutinante a la masa y permite la incorporación de todos los ingredientes. Otra de las funciones que realiza es competir con la fase acuosa y permite rodear los gránulos de almidón provocando una textura crujiente en la galleta, tras su fragmentación a la hora de su consumo. La homogenización adecuada de la grasa en la masa es importante, ya que, si no se lleva a cabo adecuadamente, la textura de la galleta cambia (Coultate, 1984).

Por último, el agua constituye un aditivo incorporado a la masa, este renombre se le ha designado debido a que no forma parte de las sustancias nutritivas. Su incorporación representa un tercio de la cantidad de harina utilizada, entre sus efectos destaca la solubilización de los ingredientes, su hidratación, así como el comportamiento reológico de las masas (Manley Duncan, 1989). La calidad de este componente es importante, ya que debe incorporarse libre de microorganismos, sustancias disueltas.

Es importante conocer el efecto y la proporción de los ingredientes (harina, azúcar, grasa y agua) ya que permitirá conocer las propiedades finales del alimento y reaccionar frente a los desafíos de la innovación.

2.6 Malanga (*Colocasia esculenta*)

Este tubérculo pertenece a la familia de las aráceas, constituye una forma subglobosa con una pulpa blanca almidonosa de 6 cm de diámetro aproximadamente y una cáscara de color marrón oscura.

Se ha identificado diferentes géneros como son *Colocasia*, *Xanthosoma*, *Alocasia*, *Cyrtosperma* y *Amorphophallus* (Martínez Muñoz, 2013). Estas plantas pueden llegar a sobrepasar los 2.5 metros

de altura y constituyen un importante cultivo en muchas zonas tropicales y subtropicales, siendo parte de la base de la alimentación en muchas partes del mundo. Los principales países productores de malanga a nivel mundial son Cuba, Venezuela y El Salvador. Sin embargo, México sobresale ya que tiene los mayores rendimientos medidos por T/Ha en la producción de Malanga como se observa en la Figura 4. A nivel nacional los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla son los principales productores de este tubérculo debido a la condición geográfica del sureste del país y a la rentabilidad del producto (SAG, 2018).

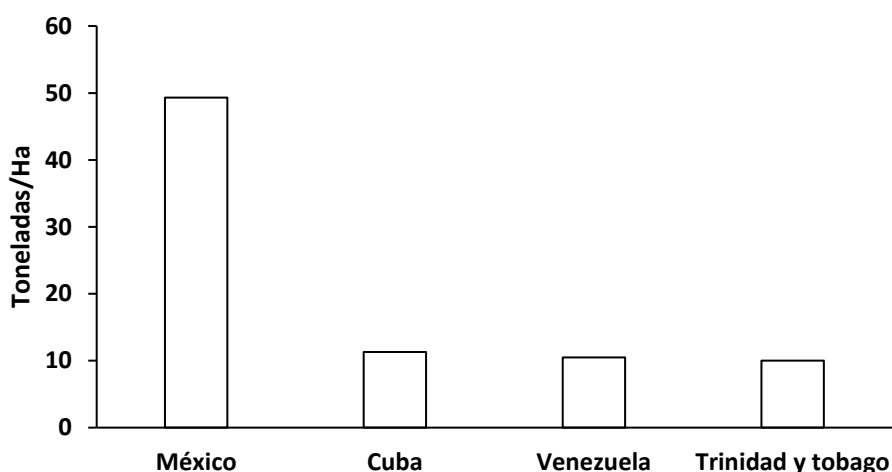


Figura 4. Rendimiento en T/Ha de malanga a nivel mundial en el 2015 (SAG, 2018).

2.6.1 Composición química de la malanga

Entre los nutrientes que aporta este tubérculo están, las vitaminas, minerales, aminoácidos esenciales y carbohidratos como se observa en la Tabla 4, (Dendy y Dobraszcyk, 2001), estos nutrientes proporcionan una excelente digestibilidad, mantenimiento del sistema inmunológico, prevención de enfermedades degenerativas, crónicas, cardiovasculares y cerebrovasculares, entre otras. Este tubérculo también ha destacado por poseer diferentes compuestos fenólicos de importancia tecnológica e industrial, así como, metabolitos secundarios que le brindan protección a la planta, frente a los ataques de bacterias y hongos. Así mismo, nos brindan la oportunidad de contribuir al mantenimiento de la salud en los seres humanos. Por otro lado, los estudios demuestran un menor contenido energético y un elevado contenido de proteínas en la malanga,

así como una mayor calidad nutricional de la malanga frente a otros tubérculos como la papa, el camote y la yuca (Rodríguez Reyes, 2006), como se observa en la Tabla 5.

Tabla 4. Composición química de la malanga (SAG, 2018).

Componente	Unidad	Valor	Componente	Unidad	Valor
Agua	%	65.9	Tiamina	mg	0.13
Energía	kcal	132	Riboflavina	mg	0.03
Proteínas	g	1.7	Niacina	mg	0.7
Grasa	g	0.3	Vitamina C	mg	5
			Vitamina A		
Carbohidratos	g	30.9	Equivalente	mcg	1
			a Retinol		
Fibra Dietética	g	2.4	Colesterol	mg	0
Ceniza	g	1.2	Vitamina B6	mg	0.29
Calcio	mg	14	Vitamina B12	mcg	0
Fósforo	mg	56	Ácido Fólico	mcg	23

Tabla 5. Contenido nutricional de diferentes tubérculos (Rodríguez Reyes, 2006).

Alimento	Kcal	Proteína (g)	Calcio (g)
Malanga	8.5	2.5	19.10
Camote	103	10	14
Papa	76	1.6	17.50
Yuca	121	1.0	18.20

Las investigaciones confirman que la malanga (*Colocasia esculenta*), así como, el tiquizque, yuca o el arroz, al estar exento de proteínas del gluten, constituye una vía eficaz para elaborar alimentos para personas que presentan trastornos tales como celiaquía o alergia al gluten (Acuña Quirós y col., 2010).

2.7 Enfermedad celiaca

La enfermedad celíaca (EC) es un trastorno del sistema inmunológico ocasionado por una intolerancia a las proteínas formadoras de gluten. Se caracteriza por una inflamación crónica de la mucosa del intestino delgado debido a una intolerancia total y permanente a la gliadina en el trigo (Figura 5), secalina en el centeno, hordeína en la cebada y en algunos casos aveninas en la avena (Kagnoff, 2005).

La frecuencia de celiaquía es muy variable y va aumentando constantemente en diferentes áreas geográficas. Este incremento puede atribuirse, en parte, a la mejora de técnicas diagnósticas y a una mayor conciencia social sobre la enfermedad; pero, a pesar de ello, el aumento de incidencia en los últimos 30 o 40 años (igualmente bien documentado) no puede explicarse tan fácilmente.

En México más de 1% de la población padece esta enfermedad y aproximadamente el 80 % de los enfermos celíacos no sabe que la padece. Existen estudios que sugieren que la frecuencia de la enfermedad en la población general y de alto riesgo es tan común como se ha reportado en otras áreas del mundo (Celiacos de México, 2018).

Se estima que entre 1: 100 y 1: 200 individuos de cualquier población dada sufren de alguna forma de enfermedad celiaca (Sotelo Cruz y col., 2013).

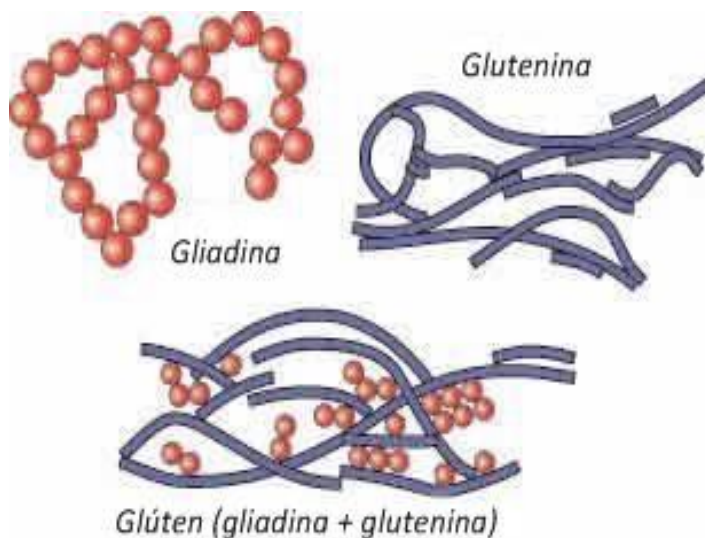


Figura 5. Proteínas del gluten (Ortiz, 2017).

La celiacía es una enfermedad clínicamente difícil de diagnosticar debido a la variedad de cuadros sintomáticos que pueden presentarse. Sólo uno de cada doce pacientes presenta la sintomatología clásica, 3 presentan sintomatología atípica, mientras que los 8 restantes no muestran síntomas clínicos, aunque sí lesiones intestinales (Gómez y col., 2001). Con esta diversidad de signos y síntomas, el diagnóstico de la enfermedad celiaca y otras alteraciones asociadas al gluten tienden a ser complicadas, oscureciendo la dimensión del problema.

Esta enfermedad daña las vellosidades del intestino delgado e interfiere en la buena absorción de macronutrientes, micronutrientes y minerales, incluyendo hierro, ácido fólico, calcio y vitaminas solubles en agua. Los síntomas clínicos de esta enfermedad incluyen diarrea, pérdida de peso, estrés, vómitos, anemia y dolor abdominal. El único tratamiento que existe en la actualidad es el apego a una dieta libre de gluten, de por vida. Si esta dieta no se lleva a cabo adecuadamente pueden desencadenarse complicaciones como osteoporosis, desarrollo de linfomas intestinales, o pueden presentarse problemas en el crecimiento y en la fertilidad de los pacientes (Fasano y Cattasi, 2001).

En las últimas décadas se ha incrementado la necesidad por los productos libres de gluten (*gluten free*) como consecuencia del aumento del número de enfermos diagnosticados. Aunado a lo anterior, la meta es generar productos libre de gluten que posean buenas características sensoriales, similares a los elaborados con trigo convencional. Todos estos productos son aquellos que no están elaborados con derivados del trigo, cebada, centeno y avena, según el Codex Alimentarius (CODEX STAN 118-1979).

2.8 Productos de panificación libres de gluten

Actualmente las personas celiacas demandan nuevos productos que permitan satisfacer sus necesidades tanto nutricionales como sensoriales. Es por ello, que diversos investigadores han usado diferentes ingredientes para reemplazar el gluten; por ejemplo: almidones de mandioca papa o arroz, cereales como el maíz, el arroz o sorgo; pseudocereales, leguminosas, semillas, nueces e ingredientes a base de frutas, y así ofrecer a los consumidores productos que contribuyan a mejorar su calidad de vida.

Onyango y col. (2011) estudiaron el efecto de las concentraciones de almidones de mandioca, maíz, papa y arroz en la elaboración de pan libre de gluten. Los investigadores reportan que el origen botánico y las proporciones de los almidones afectan las propiedades reológicas de la pasta, así como del pan. Específicamente, el aumento del contenido de almidón disminuyó la firmeza y masticabilidad de las migas, y aumentó la cohesión, la elasticidad y la resiliencia de todos los panes. Por otro lado, Dos Reis y col. (2012) estudiaron el efecto de la incorporación de harina de amaranto en las propiedades físicas y valor nutricional del pan de queso (producto tradicional brasileño), cuya formulación base es a partir de harina de mandioca y destinados a celiacos. Los investigadores encontraron que el aumento de los niveles de amaranto oscureció el producto, redujo el volumen específico y aumentó la fuerza de compresión. Sin embargo, la utilización de un 10% de harina integral de amaranto en la formulación fue adecuada obteniéndose un producto con alto contenido de fibra dietética, hierro y el mismo nivel de aceptación que el de la formulación convencional. Por último, Sayed y col., (2016) evaluaron la sustitución de harina de trigo por harinas de pseudocereales tales como: sorgo, mijo y alforfón para la elaboración de pan

libre de gluten. Los investigadores concluyen que el remplazo total de harina de trigo aumentó la dureza del producto, sin embargo, la sustitución parcial de pseudocereales mejoró las características sensoriales e incrementó el contenido de minerales derivado de la harina de mijo.

En las últimas décadas se ha incrementado la necesidad por los productos libres de gluten (*gluten-free*) como consecuencia del aumento del número de enfermos celíacos diagnosticados. Dichos productos deben poseer las mismas características sensoriales que los productos con gluten, sin olvidar los aspectos nutricionales de los mismos. Estos productos son todos aquellos que no están constituidos o elaborados con derivados del trigo, cebada, centeno y avena, según el Codex Alimentarius (CODEX STAN 118-1979, 2008). Los productos elaborados a base de harinas tales como panes, galletas y pasteles están formando parte de la base de la alimentación de los mexicanos, generando una tendencia que ha venido incrementando en los últimos años.

3. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de productos horneados a base de cereales tales como: trigo, cebada y centeno ha ido en aumento, convirtiéndose, hoy en día, en una necesidad en nuestra alimentación. Sin embargo, el uso excesivo de productos a base de harinas refinadas ha generado en los consumidores problemas de salud pública tales como: diabetes, obesidad, etc., deteriorando la calidad de vida de los mismos. Por otro lado, otro sector de la población escasamente atendidos son los enfermos celíacos, debido a trastornos generados por la intolerancia al gluten. Derivado de lo anterior, en los últimos años se han explorado el uso de harinas no convencionales tales como: malanga, sorgo, amaranto, etc., de tal forma que, lejos de ser un problema en la salud del consumidor genere beneficios a los mismos.

Es por ello que, en este trabajo se propone el uso de harinas no convencionales obtenidas a partir de malanga y fibra modificada de piña para la elaboración de productos de panificación (galletas), como una alternativa saludable y funcional, libre de gluten, que pueda mejorar la nutrición y calidad de vida de los consumidores.

Por otro lado, la utilización de materias primas como la malanga permitirá el aprovechamiento de los recursos cultivados en la cuenca del Papaloapan, como una vía para reactivar la economía de la región mediante la obtención de productos alimenticios con buenas características físicas, sensoriales y nutrimentales. De igual forma, la incorporación de fibra extraída de los residuos de la piña, permitirá el aprovechamiento integral de la fruta, reintegrándolos a la cadena de producción.

4. HIPÓTESIS

La incorporación de materias primas no convencionales tales como la harina de malanga y fibra modificada de piña en la elaboración de un producto horneado (galletas) permitirá la obtención de un alimento con buenas propiedades sensoriales, nutricionales y libre de gluten.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo principal

Desarrollar galletas libre de gluten a partir de harinas de malanga y fibra modificada de piña, y caracterizar sus propiedades sensoriales y nutricionales.

5.2 Objetivos secundarios

- Obtener hidrolizado de bagazo de piña y harina de malanga para su utilización como materias primas en la elaboración de galletas libre de gluten.
- Establecer la formulación de galletas con diferentes sustituciones de fibra modificada de piña y harina de malanga.
- Caracterizar mediante un análisis químico proximal, sensorial, textura y color, las galletas obtenidas.
- Evaluar su contenido de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS), así como, la digestibilidad de carbohidratos.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Materias primas

Se utilizó tubérculo fresco de malanga (*Colocasia esculenta*) el cual fue donado por la empresa Integradora R y T de la cuenca S.A.P.I. de C.V. ubicada en el ejido de Sebastopol, Tuxtepec Oaxaca. A su vez, el bagazo de piña (*Ananas comosus*), fue adquirido de una juguería local, ubicada en el poblado antes mencionado, ambas materias primas fueron procesadas en estado fisiológico maduro.

6.1.1 Harina de malanga.

La harina de malanga se procesó siguiendo el protocolo estipulado por (Madrigal Ambriz y col. 2018). La malanga se procesó en el taller de alimentos de la Universidad del Papaloapan. El tubérculo se lavó para eliminar las impurezas, se peló y posteriormente se cortó en rodajas de 3.5 mm de espesor. Las rodajas fueron escaldadas durante 20 s a 90°C, seguidas de cinco lavados con abundante agua purificada para reducir el contenido de compuestos antinutricionales, como oxalato de calcio, taninos y fitatos. (Caicedo y col., 2014)

Después del tratamiento anterior, se llevó a cabo la deshidratación en un horno secador marca Scorpion scientific, (modelo A-52040) durante 20 h, a 55°C. Seguido, se redujo el tamaño de partícula con una licuadora Óster (modelo 006859-013-000). Una vez terminada la molienda se tamizó con una malla No. 40. El producto terminado se almacenó en bolsas herméticas en un desecador a temperatura ambiente.

6.1.2 Harina de piña.

La harina de piña se obtuvo a través del proceso descrito por Rivera Cruz, (2018). Se eliminaron los residuos (corazón y cáscara) del bagazo de la piña, posteriormente se llevaron a cabo cinco lavados con agua purificada para eliminar el jugo excedente y se pasó por un colador para escurrir toda el agua contenida. Se sometió a un proceso térmico durante 15 min, a 15 lb/in² de presión en autoclave (Montaña Bueno y Ortigón, 2000). Terminado este proceso, se procedió a la deshidratación utilizando un horno de secado, durante 8 h a 75°C.

Posteriormente, se redujo el tamaño de partícula del bagazo seco en una licuadora Óster (modelo 006859-013-000). Una vez terminada la molienda, el producto obtenido se tamizó con una malla número 40. La harina obtenida se guardó en bolsas herméticas y almacenó en un desecador hasta su modificación enzimática.

6.2 Modificación enzimática de la fibra de piña

Para llevar a cabo la modificación enzimática de la fibra de piña, se utilizó el método descrito por Rivera Cruz, (2018). En un matraz Erlenmeyer, se mezclaron la solución reguladora de fosfatos (0.2 M, pH 5) y 10 g de harina de piña, manteniendo la relación 1:12 (p/v). Posteriormente la mezcla se colocó en baño María, con constante agitación para mantener la mezcla homogénea. Al alcanzar los 40°C se adicionó 1 U/g de enzima celulasa (*Aspergillus niger*) y se dejó actuar por un periodo de 30 min. Pasado el tiempo de hidrólisis, se colocó la mezcla a ebullición durante 15 min para detener la actividad de la enzima y finalmente se dejó enfriar. La fibra hidrolizada se secó en un horno (marca Scorpion scientific, modelo A-52040), durante 22 h, a 70 °C. Se redujo el tamaño de las partículas con una licuadora Óster (modelo 006859-013-000), finalmente se tamizó con una malla número 40. La harina obtenida se almacenó en bolsas herméticas, a temperatura ambiente.

6.3 Formulación de masas

Después de obtener las materias primas (harina de malanga y fibra hidrolizada de piña), se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles máximos de sustitución de fibra modificada de piña, por harina de malanga, para una galleta estándar, y posteriormente se realizaron las formulaciones que se describe en la Tabla 6.

Tabla 6. Formulación de mezclas para obtención de masas

Formulación	Harina de malanga (%)	Fibra modificada de piña (%)	Harina de trigo(%)
F0	-	-	100
F1	100	-	-
F2	90	10	-
F3	80	20	-
F4	70	30	-

A partir de las formulaciones anteriores, se procedió a incorporar todos los elementos que constituyen una galleta estándar, como lo establece Pareyt y col. (2009), el cual deben estar constituidas por cinco ingredientes principales: harina, azúcar, grasa, agua y un agente leudante, como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Formulación de una galleta estándar propuesto por Pareyt y col. (2009).

Ingrediente	Contenido (%)
Harina (14% de humedad)	39.37
Azúcar granulada	28.34
Margarina	23.6
Agua	7.87
Vainilla	1.31
Bicarbonato de sodio	1.04
Total	100%

6.4 Proceso de elaboración de galletas

Para la elaboración de las galletas, inicialmente se atemperó la margarina y se derritió en un microondas durante 1 min empleando una potencia de 1000 W. Posteriormente en un recipiente se incorporó la margarina derretida y se añadieron lentamente 108 g de azúcar batiendo a velocidad constante en un equipo marca Hamilton Beach mod. 64650 durante 180 s.

Cuando se alcanza el punto de pomada (3 min aproximadamente), se adicionaron las mezclas de harinas, según las formulaciones establecidas, posteriormente el agente leudante previamente cernido. Se continuó el mezclado durante 120 s mientras se incorporaba los 30 g de agua purificada y 5 g de vainilla.

La masa preparada se dejó reposar durante 30 min a 24°C. Tras el reposo, se realizó un laminado de 3 mm de espesor y posteriormente el corte de las masas. Las galletas se troquelaron con un molde circular de 40 mm de diámetro y se hornearon a 120 °C durante 23 min en un horno eléctrico (Mejía Domínguez y col., 2013). Una vez terminado este proceso se enfriaron durante una hora y se empaquetaron en bolsas herméticas para su análisis posterior.

6.5 Análisis químico proximal

Se realizó el análisis químico proximal a las materias primas y formulaciones elaboradas. Para ello, se determinó el contenido de humedad (NMX-f-428-1982), cenizas (AOAC, 2010), proteínas (AOAC, 1990) y lípidos (AOAC, 1990). El contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia (100% menos el contenido de los otros componentes ya mencionados). Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

6.5.1 Humedad

La determinación de humedad se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. La determinación se realizó en base al método descrito en la NMX-f-428-1982. Se utilizaron charolas de aluminio previamente sometidas a peso constante. Para la determinación se utilizaron 3 g de muestra molida y se sometió a secado durante 4 h a 100 °C en un horno de convección (marca Vinder). Los resultados se obtuvieron por diferencia de pesos a través de la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

Donde:

$M1$ = Peso de la charola (g)

$M2$ = Peso de la charola más muestra húmeda (g)

$M3$ = Peso de la charola más muestra seca (g)

6.5.2 Cenizas

Este método se basa en la descomposición de la materia orgánica mediante calcinación, quedando únicamente la materia inorgánica de la muestra. El análisis se realizó utilizando el método descrito por la (AOAC, 2010). La muestra se homogenizó y se pesó 1 ± 0.01 g en un crisol seco (puesto a peso constante), posteriormente, se carbonizó en un mechero y se introdujo en una mufla (Wisetherm) a 550°C durante 5 h. Posteriormente se enfrió en un desecador y se registró el peso obtenido para realizar los cálculos correspondientes (AOAC, 2010).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(C - A)}{B} \times 100$$

Donde:

A = Peso del crisol vacío (g)

B = Peso de la muestra en base seca (g)

C = Peso del crisol con cenizas (g)

6.5.3 Proteínas

La determinación de proteínas se realizó mediante el método descrito por la AOAC (1990). Se agregaron a tubos de digestión Kjendhal 0.25 g de K_2SO_4 , 4 g de CuSO_4 , 0.25 g de muestra y 5 mL de H_2SO_4 concentrado. Se sometieron a digestión en dos intervalos de temperatura; 200°C durante 0.5 h y 400°C por 1 h. Posteriormente se enfriaron y se agregaron 21 mL de agua a los tubos (excepto el blanco al que se le adicionó 40 mL). Enseguida se colocó la primera réplica del tubo de digestión en el microdestilador, donde se neutralizó con 12 mL de NaOH al 60% antes de iniciar el proceso de destilación. El destilado se recolectó en matraces Erlenmeyer con 12 mL de

solución de ácido bórico al 4%. Terminada todas las réplicas se agregaron tres gotas de indicador Wesslob a los matraces y se tituló con HCl al 0.01N.

El porcentaje de proteína se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ de Proteína} = \frac{V * N * 0.014 * 100}{M} * f$$

V = Volumen empleado en la titulación (ml)

N = Normalidad del ácido de valoración

M = Masa de la muestra en base seca (g)

0.014 = Miliequivalentes del N

f= factor de conversión a proteínas (6.25 para harinas)

6.5.4 Lípidos

El contenido de lípidos se determinó de acuerdo a lo establecido por la (AOAC, 1990). Antes de iniciar la determinación se sometieron los matraces de bola del equipo Soxhlet a peso constante en un horno de convección a 103°C por 30 min. Mientras tanto se elaboraban cartuchos de extracción con papel filtro, a los que se les incorporó 1 g de muestra, junto con 1 g de sulfato de potasio (K₂SO₄).

Transcurridos los 30 min en el horno, se retiraron los matraces y se enfriaron en un desecador para después obtener el registro del peso seco. Una vez terminado se le incorporó a cada uno 45 mL de éter de petróleo y posteriormente se realizó la extracción por 5 horas.

Transcurrido el tiempo se evaporó el disolvente del matraz y se llevó a peso constante en un horno de convección, finalmente se registró el peso de la grasa seca (AOAC, 1990).

$$\% \text{ de lípidos} = \frac{PG - PB}{PM} * 100$$

PG: Peso final del matraz con grasa seca (g)

PB: Peso inicial del matraz a peso constante (g)

PM: Peso de la muestra en base seca (g)

6.6 Pruebas de color

La determinación del color como una característica de valoración física y de calidad en los alimentos hace necesario disponer de métodos objetivos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles.

Para evaluar los atributos del color de las muestras, se utilizó un colorímetro Hunter Lab. (Modelo: MINI SCAN). Se determinó el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ y se obtuvieron los siguientes parámetros:

L^* = Luminosidad

a^* =cromaticidad (+rojo, -verde)

b^* =cromaticidad (+amarillo, -azul)

A partir de los valores anteriores se calcularon los valores de cromaticidad (C^*) y ángulo de Hue (h^*), utilizando las siguientes ecuaciones.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$H^* = \text{Tg}^{-1}(b^*/a^*)$$

6.7 Pruebas de textura

Para esta determinación se utilizó un texturómetro marca Brookfield Texture Analyzer provisto de una plataforma de aluminio, sobre la cual se colocaron las muestras, con una celda de carga de 500 N y velocidad de 5 mm/s. Se realizó una prueba de compresión unidireccional con la finalidad de medir los parámetros de fracturabilidad (fuerza a la que el alimento empezó a quebrarse) y dureza (fuerza máxima a la que el producto se quebró totalmente). Los análisis se realizaron por quintuplicado.

6.8 Evaluación sensorial

Se utilizó una escala hedónica preferencial de siete puntos (Tabla 8), en la que se evaluaron el grado de preferencia sobre las formulaciones presentadas. El análisis fue realizado en las instalaciones del taller de alimentos de la Universidad del Papaloapan. Se contó con 100 panelistas no entrenados (46 hombres y 54 mujeres) con un intervalo de edad entre 18 y 60 años, al cual se les dio las indicaciones correspondientes. En la prueba, se presentaron 5 g de cada formulación previamente codificada y aleatorizada y el panelista degustó cada muestra indicando de acuerdo a la escala hedónica su nivel de preferencia (Lutz Riquelme y col., 2008).

Tabla 8. Escala hedónica de 7 puntos para la evaluación sensorial

Escala hedónica	Puntos
Me disgusta mucho	1
Me disgusta moderadamente	2
Me disgusta poco	3
Ni me gusta, ni me disgusta	4
Me gusta poco	5
Me gusta moderadamente	6
Me gusta mucho	7

6.9 Determinación de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS)

Las técnicas utilizadas para la determinación de FDT, FDI y FDS, se basaron en los métodos descritos por la AOAC 991.43 (1995) y la AACC 32-07.01 (2010).

El método consiste en separar la fracción soluble de la fibra dietética presente en las muestras, mediante digestión enzimática. Para esto se utilizaron las enzimas α -amilasa termoestable, amiloglucosidasa y proteasa, así como, etanol al 95% para lograr la precipitación de la misma.

Las determinaciones se hicieron a pruebas previamente desengrasadas, por duplicado.

Para la hidrólisis enzimática se utilizaron frascos Duran de 250 mL, a las que se le agregó 1 g de muestra desengrasada y 40 mL de solución tampón (MES-TRIS a 0.05M, pH 8.0 a 23°C). Seguido, la solución se mezcló y se colocó en un baño de agua con recirculación a una temperatura de 80°C, se agregó 50 μ L de solución de α -amilasa termoestable, incubándose durante 35 min. Posteriormente se agregó 100 μ L de proteasa, dejándola actuar durante 30 min. Terminado el tiempo requerido de actividad enzimática, se agregó 5 mL de ácido acético 3M, manteniendo la agitación y la temperatura. Cinco minutos después se agregaron 200 μ L de solución de amiloglucosidasa, manteniendo la hidrólisis durante 30 min.

Por último, las mezclas hidrolizadas se filtraron, secaron y pesaron para realizar los cálculos correspondientes.

El contenido de FDT se obtuvo por la suma de los resultados para FDI y FDS. Los resultados para FDS y FDI se determinaron de acuerdo a las ecuaciones siguientes:

$$\mathbf{FD(\%)} = \frac{\frac{R1 + R2}{2} - P - A - B}{\frac{m1 + m2}{2}} \times 100$$

Donde:

$R1$ = Peso del residuo $m1$

$R2$ = Peso del residuo $m2$

$m1$ = Peso de la muestra 1

$m2$ = Peso de la muestra 2

P = Proteína de $R1$

A = Ceniza de *R2*

B = Blanco

$$\mathbf{Blanco} = \frac{BR1 + BR2}{2} - BP - BA$$

Donde:

BR = Residuo blanco

BP = Blanco de proteínas *BR1*

BA = Blanco de cenizas *BR2*

6.10 Determinación de glucosa libre (GL), glucosa total (GT) y almidón total (AT)

Se utilizaron 800 mg de muestra y se mezclaron con 25 mL de solución reguladora de acetato 0.1 M, y 0.2 mL de invertasa, se incubó a 37°C por 30 min. Se retiró 1 mL de la alícuota para determinar el contenido de glucosa libre. A las muestras se les agregó 0.1 mL α -amilasa termoestable (Termomyl) y se incubaron en baño maría en ebullición durante 15 min. Se agregó 10 mL de KOH 7M, se mezcló por inversión y se colocaron en baño de agua a 0°C durante 30 min. Por otro lado, se prepararon tubos con 10 mL de ácido acético 0.5 M al cual se adiciono 1 mL de alícuota, se añadió 0.2 mL de amiloglucosidasa (diluida a 50 AGU/ml), incubándose a 70 °C durante 10 min. Finalmente, se enfrió a temperatura ambiente y se le agregó 40 mL de agua, centrifugándose a 1500 *g* por 10 min para remover el precipitado. Se cuantificó el contenido de glucosa utilizando el reactivo de glucosa oxidasa peroxidasa (GOP-POD). Se realizó un análisis de regresión lineal para determinar las concentraciones de las muestras y determinar el contenido de glucosa total y almidón resistente (Englyst y col., 1992).

6.11 Determinación de las fracciones de almidón de digestión rápida (ADR), lenta (ADL) y almidón resistente (AR)

Se pesaron 800 mg de muestra y 50 mg de goma guar en matraces Erlenmeyer de 125 mL. Se adicionaron 10 mL de una solución de pepsina (50 mg enzima/ 10 mL de HCl 0.05M) y 5 perlas de ebullición, se homogenizó el contenido con el vortex. Para la incubación, los matraces se colocaron en un baño de agua con agitación orbital (200 strokes/min) a 37°C durante 30 min. Después se adicionaron 5 mL de acetato de sodio (0.5M) y se homogenizó el contenido. Los matraces se colocaron en baño de agua a 37°C, se adicionó 5 mL de una mezcla de enzimas (pancreatina, invertasa y amiloglucosidasa) a intervalos de 1 min entre cada tubo. El baño de agua con agitación orbital se ajustó a una velocidad de agitación 200 strokes/min. Después de los 20 min, se tomó una alícuota de 0.5 mL de la muestra (G20), se colocó en un tubo de centrifuga de 50 mL, el cual contenía 20 mL de etanol al 66% y se homogenizó con la ayuda del vortex. Después de 120 min, se tomó una segunda alícuota (G120) de 0.5 mL. De igual manera, la alícuota se transfirió a un tubo de centrifuga con 20 mL de etanol al 66%. Los tubos con las muestras (G20 y G120) se centrifugaron a 1500 g por 5 min y se cuantificó el contenido de glucosa con el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD-POD). Se realizó un análisis de regresión lineal para calcular la concentración de muestras (Englyst y col, 1992). Empleando ésta, se calculó la concentración de glucosa y por tanto de las fracciones del almidón de digestión rápida y lenta. El contenido de almidón resistente se determinó por diferencia.

Para el cálculo de las fracciones del almidón se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$ADR = G20 * 0.9$$

$$ADL = (G120 - G20) * 0.9$$

$$AR = AT - (ADR + ADL)$$

Donde:

ADR: Almidón de digestión rápida

ADL: Almidón de digestión lenta

AR: Almidón resistente

G20: Concentración de glucosa determinada a los 20 min

G120: Concentración de glucosa a los 120 min

0.9: Factor de conversión de glucosa a glucano

6.12 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos por triplicado fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA). Se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para discriminar entre las medias, en caso de encontrar diferencia estadísticamente significativa.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Composición química proximal de la harina de malanga

Una vez procesado el tubérculo en fresco para la obtención de harina, se realizó un análisis químico proximal para determinar su composición química, los resultados se presentan en la Tabla 9. Esta información es muy importante ya que esta materia prima constituye la base para la formulación de las galletas, y determinará el valor nutrimental de la misma.

Tabla 9. Composición química proximal de la harina de malanga (base seca).

Componente	Contenido (g/100 g b.s)
Humedad	7.96 ±0.03
Cenizas	3.67 ±0.25
Grasa cruda	1.99 ±0.17
Proteína*	6.10 ±0.13
Fibra dietética total	11.68 ±0.14
Carbohidratos ¹	68.6 ±1.35

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

*N x 6.25

¹El valor se obtuvo por diferencia

El contenido de humedad es un parámetro de calidad en la conservación de algunos productos, y en las harinas no es la excepción. Como se puede observar, el contenido de humedad fue de 7.96 g/100 g b.s., este valor se encuentra dentro del intervalo que establece la NOM-147-SSA1-1996, la cual indica que para poder catalogar como harinas, al polvo procedente de la molienda de cereales, tubérculos y semillas, se requiere presentar un porcentaje de humedad menor al 15%, ya que, un valor por encima de lo requerido propiciaría un ambiente adecuado para la proliferación de bacterias, hongos, etc.

Por otro lado, el contenido de cenizas obtenido fue de 3.67 g/100 g b.s. valor similar a lo reportado por Rodríguez Miranda y col. (2011), donde caracterizaron harina de malanga de la misma especie

y cultivada en la misma región. Los minerales mayoritariamente encontrados según Madrigal Ambriz y col. (2018) son: potasio, magnesio, calcio, entre otros. El contenido de grasa cruda fue de 1.99 g/100 g b.s., valores bajos en comparación a lo reportado para otros tubérculos, debido a que la grasa solo es proveniente de la membrana celular de la planta y a su vez se ve influenciado por la variedad del mismo (Madrigal Ambriz y col., 2018). El valor de proteínas obtenido para malanga fue de 6.10 g/100 g b.s. muy similar a lo reportado por Rodríguez Miranda y col. (2011) en tubérculos cultivados en la misma región. Sin embargo, se han reportado valores muy variados de proteínas en malanga de la misma especie, cultivadas en otros países, el cual oscila entre 1.7 g/100 g (INCAP, 1996) hasta 8.5 g/100 g (Chinnasarn y Manyasi, 2010). A su vez los valores encontrados para malanga son bajos en comparación con otros alimentos, tales como camote, papa y yuca (Púa Rosado y col., 2019).

El contenido de fibra dietética total presente en la harina de malanga es de 11.68 g/100 g, valores muy similares son reportados por Madrigal Ambriz y col. (2018). En ambas determinaciones el estudio se realizó en tubérculos sin cáscara, por lo que la naturaleza fibrosa de la misma podría aumentar este valor. Por otro lado, estos valores son superiores a los reportados por Chandrasekara y Josheph Kumar (2016) en raíces de este tubérculo. Otros autores (Subhash y col., 2012; Mulugeta y Tabeka, 2017) reportaron valores que van de 5 a 7 g/100g de fibra dietética en malanga cultivada en otras regiones. Respecto al contenido de carbohidratos en la harina de malanga, se obtuvieron valores de 68.6 g/100 g por lo que este tubérculo se convierte en una rica fuente de energía, viable para la elaboración de productos alimenticios. Es importante mencionar que estos carbohidratos están constituidos principalmente por almidón, el cual es el polisacárido más abundante en tubérculos, frutos en estado fisiológico inmaduro, cereales, entre otras.

Como se observa, existe mucha variabilidad en los valores obtenidos y podría atribuirse a que éstos dependen de la especie, condiciones de cultivo, condiciones ambientales para su desarrollo, etapas de desarrollo de la planta, tecnologías implementadas, entre otras. Sin embargo, puede considerarse una fuente no convencional de importancia tecnología y comercial con aplicación potencial en el desarrollo de alimentos.

7.2 Composición química proximal de la fibra modificada de piña (*Ananas comosus*).

Después de la modificación enzimática de la fibra de piña se determinó su composición química proximal, los resultados se presentan en Tabla 10.

Tabla 10. Composición química proximal de la fibra modificada de piña.

Componente	Contenido (g/100 g b.s)
Humedad	6.25 ±0.102
Cenizas	1.77 ±0.055
Grasa cruda	1.90 ±0.001
Proteína*	1.92 ±0.174
Carbohidratos ¹	87.90 ±2.141

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

*N x 6.25

¹El valor se obtuvo por diferencia

Los valores de humedad presentados son similares a la malanga, debido a las mismas condiciones de secado empleadas, permitiendo alcanzar valores menores a 15 g/100 g b.s. Por otro lado, la cantidad de minerales o residuos inorgánicos presentes en la muestra fue de 1.77 g/100 g b.s., un valor muy similar a lo presentado por Correia da Costa y col. (2007) donde reportaron 2.03 g/100 g de minerales presentes en la harina proveniente únicamente de la cáscara de piña y 2.15 g/100 g para el bagazo. Se ha demostrado que la cantidad de minerales presentes en la harina dependerá del tipo de materia prima utilizada, así mismo, se ha encontrado que la parte central del fruto presenta un mayor porcentaje de minerales que la cáscara. Los principales minerales presentes en la pulpa, de acuerdo a lo reportado por Ramírez y Pacheco (2011) son hierro, calcio y potasio con valores de 4.92 mg, 6.95 mg y 57 mg respectivamente.

La cantidad de grasa cruda fue de 1.90 g/100 g un valor superior a lo reportado por Correia da Costa y col. (2007) reportando valores de 1.60 g/100 g el cual fue determinado en la cáscara de piña variedad *Cayena lisa*. Así mismo, se ha reportado que las frutas contienen cantidades mínimas de grasa, donde esas pequeñas variaciones están influenciadas por factores genéticos,

factores como la edad de la planta, la época de cosecha, la fertilidad del suelo y la precipitación, entre otras cosas.

El contenido de proteínas encontradas fue de 1.99 g/100 g, valor más elevado al reportado por Cubas Juárez (2016) donde obtuvieron 0.58 g /100 g de proteínas en la pulpa de la piña variedad *Cayena lisa*. Por el contrario, Cedeño y Zambrano (2014) reportaron valores superiores a los reportados en este trabajo (3.52 g/100g) para la harina de cáscara de piña de la misma variedad.

Según estudios realizados por López y col. (2014), la mayoría de las variedades de piña reportan valores menores de 8% de proteínas, donde el principal constituyente son las enzimas. En el caso de la piña, resalta la presencia de la glicoproteína bromelina de importancia farmacéutica, alimentaria, entre otros. En cuanto al contenido total de carbohidratos presentes se reportó un valor de 87.90 g/100g, del cual el 52.4 g/100 g corresponde a la fibra dietética total. El valor correspondiente a los carbohidratos totales es similar a lo reportado por Mayorga (2013), los investigadores encontraron un promedio de 91 g/100 g en base seca de harina de residuos de piña para el desarrollo de fibra dietética. Como se observa la cantidad de carbohidratos presentes en la harina de piña es alta, del cual la fibra dietética, constituye más del 50%, entre lo que destacan la celulosa, hemicelulosa y lignina, principalmente, permitiendo ser una excelente materia prima para la elaboración de alimentos funcionales ya que se le atribuyen diversas propiedades que benéficas para la salud. En la Tabla 11 se presentan los resultados de fibra dietética total, fibra dietética soluble e insoluble, como se observa se obtuvieron 52.4 g/100 g de fibra dietética total, valores esperados según la naturaleza fibrosa de la fruta. Rivera (2018) reportó valores muy similares (53.54 g/100 g), para la piña de la misma variedad y cultivada en la misma región. Sin embargo, otros investigadores reportan valores distintos, según la especie de la piña, tal es el caso de Chareonthaikij y col. (2016) el cual reportó valores de 70 g/100 g, de fibra dietética de la pulpa de piña *Ananas comosus L*. Por último, Mabel Selani y col. (2014) reportaron valores de 45.2 g/100 g en piña *Ananas comosus Gold*.

La fibra dietética de piña reportada, en su mayoría es fibra insoluble, sin embargo, a partir de la modificación enzimática se logra aumentar el contenido de fibra soluble y con ello potencializar los beneficios y su uso de diversos productos alimentarios. Para ello, se determinó el contenido

de fibra soluble e insoluble antes y después de la modificación enzimática, los resultados se muestran en la tabla 11. Como se puede observar el contenido de fibra dietética total antes de la modificación enzimática fue de 52.04 g/100g, del cual, 99.8 % corresponde a fibra dietética insoluble (FDI) y solo el 0.2 % a fibra dietética soluble (FDS). Después de la modificación enzimática el contenido de FS aumentó un 11% aproximadamente, este aumento es causado por la acción secuencial de enzimas celulasas el cual catalizan la hidrólisis del enlace glucosídico de la celulosa hasta la obtención de oligosacáridos resistentes (Gutiérrez-Rojas y col. 2015; Escudero Álvarez y González Sánchez, 2006). La eficiencia hidrolítica de estos complejos enzimáticos depende tanto de las propiedades individuales de cada enzima (eficiencia catalítica, estabilidad a temperatura alta y pH ácido), como de su proporción en la mezcla, lo que influye en la eficiencia de la hidrólisis (Van y Pletschke, 2012). Esto es muy relevante ya que la FDS está relacionada con beneficios a la salud, entre ellos, reducir la respuesta glucémica y el colesterol plasmático, disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y proteger contra el cáncer colorrectal (Roehrig, 1998; Theuwissen y Mensink, 2008). Estos datos coinciden con lo reportado por Rivera (2018) donde obtiene las mejores condiciones para la modificación enzimática de fibra de piña para aumentar su contenido de FDS. Otros investigadores (Mabel Selani y col., 2014) reportaron un contenido de FDT de 45.22 g/100 g de fibra, presente en la pulpa de piña, del cual el 98.28 % corresponde a la fracción insoluble de la misma. De igual forma Laurrari y col. (1997) reportaron valores de FD de 70.6 g/100 g en cáscara de piña, del cual el 99.28% corresponde a FDI.

Tabla 11. Determinación de fibra dietética total de la harina de piña nativa y modificada

Componente	Contenido (g/100 g b.s.)	
	Antes de la modificación	Después de la modificación
Fibra dietética total	52.04 ±0.21	52.20 ±2.06
Fibra dietética soluble	0.100 ±0.02 ^a	5.90 ±0.12^b
Fibra dietética insoluble	51.94 ±0.24 ^a	46.3 ±2.06 ^b

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

Los valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes (p <0.05).

7.3 Caracterización química proximal de las formulaciones de las galletas obtenidas

En la Tabla 12 se observan los resultados del análisis químico proximal de las formulaciones elaboradas. El contenido de humedad para F0 fue menor, sin embargo, para F1, F2, F3 y F4 se observaron valores aproximadamente de 6 g/100 g b.s. y no presentaron diferencia estadísticamente significativa, lo que sugiere que estas formulaciones por su alto contenido de malanga (un tubérculo almidonoso con capacidad higroscópica) y fibra hidrolizada de piña, tienen la capacidad de absorber agua cuando se somete a un proceso de calentamiento, como es el caso de la elaboración de galletas. Dicha capacidad de absorción de agua viene dado principalmente a la estructura molecular del almidón y celulosa, el cual presenta una gran cantidad de grupos hidroxilos permitiendo mayor interacción con el agua a través de los puentes de hidrógeno (Naknaen y col., 2016).

Para cenizas y grasa cruda, se observa un incremento significativo en los valores obtenidos, y es directamente proporcional al aumento del porcentaje de fibra en las formulaciones. Respecto al contenido de cenizas, este incremento se debe tanto a la malanga como a la fibra modificada de piña, ambos contienen minerales en su composición química y a medida que aumenta las cantidades de fibra, los valores de minerales aumentan de manera paralela. Para grasa cruda, el incremento en los valores obtenidos se le atribuye al aumento de fibra dietética, como se observa en las formulaciones F2, F3 y F4. Según Prakongpan y col. (2002) sugieren que el aumento de fibra está relacionado con el contenido de retención de grasa, este efecto determinó que la estructura de la fibra dietética está relacionada con la capacidad tecno-funcional de absorción de aceite. En general las fibras dietéticas insolubles tienen una mayor absorción de aceite que las solubles, dado principalmente por su contenido de lignina y su mayor tamaño de partícula (Púa Rosado y col., 2019). Por otro lado, Naknaen y col. (2016) atribuyen que a medida que aumenta la cantidad de fibra, la capacidad de absorción de aceite viene dado por la capacidad de las fibras de poder absorber grasa por capilaridad.

Tabla 12. Composición química proximal de las formulaciones elaborados (base seca).

Componente (g/100g)	Formulaciones				
	F0	F1	F2	F3	F4
Humedad	1.42 ±0.01 ^b	6.11 ±0.102 ^a	6.10 ±0.04 ^a	5.97 ±0.22 ^a	5.84 ±0.01 ^a
Cenizas	0.90 ±0.01 ^e	2.66 ±0.11 ^d	3.20 ±0.20 ^c	4.13 ±0.11 ^b	5.03 ±0.05 ^a
Grasa cruda	15.5 ±0.44 ^b	16.7 ±0.59 ^b	20.5 ±2.02 ^{ab}	24.0 ±2.60 ^a	23.9 ±2.62 ^a
Proteína*	2.59 ±0.06 ^a	0.78 ±0.04 ^c	1.46 ±0.18 ^b	2.59 ±0.09 ^a	2.38 ±0.58 ^{bc}
Carbohidratos ¹	79.3 ±0.50 ^a	73.6 ±0.59 ^b	68.7 ±2.74 ^{bc}	64.1 ±2.36 ^c	63.2 ±3.02 ^c

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

*N x 6.25

¹El valor se obtuvo pro diferencia

Los valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes (p <0.05).

Con respecto a la cantidad de proteínas presentes en las formulaciones, se puede observar que F0 presenta un valor significativamente mayor al resto de los resultados obtenidos. Cabe hacer mención que F0 está elaborado con 100 % harina de trigo, y esta, a su vez, se caracteriza por el alto contenido de gluten que se encuentra en la harina de trigo, lo que da como resultado 2.59 g/100 g de proteínas, valor significativamente mayor al encontrado en el resto de las formulaciones. Para F2, F3 y F4 la disminución gradual del contenido de proteínas puede atribuirse a que las proteínas que en conjunto con los azúcares son reducidos en las reacciones de Maillard por efecto de las altas temperaturas en el horneado, lo que disminuye de manera gradual este parámetro, al igual que el contenido de carbohidratos presentes en las formulaciones. Por otro lado, a medida que aumenta el contenido de fibra en las formulaciones tienen a disminuir el contenido de proteínas presentes.

7.4 Pruebas sensoriales

Como se observa, F0 obtuvo un valor medio de 6.36, el más elevado y con diferencia estadísticamente significativa al resto de las formulaciones. Según la escala hedónica corresponde a las categorías “*me gusta moderadamente y me gusta mucho*”. Esta formulación consta

únicamente de harina de trigo, por ello los consumidores están más identificados con sus características organolépticas, ya que la mayoría de galletas comerciales están elaboradas a base de harina de este cereal, por lo que es esperado este valor. Estos valores coinciden con lo reportado por Bazan-Aliaga y col. (2015) quienes elaboraron galletas a partir de mezclas de harina de arroz y papa, comparándolas con galletas de harina de trigo, reportando que estas últimas presentaron mayor aceptación en el análisis sensorial con valores promedio de 7 y 7.03 en una escala hedónica de nueve puntos. Por otro lado, para F1 y F2 los valores medios obtenidos fueron de 5.40 y 5.19, de acuerdo al análisis de varianza, no hubo diferencia estadísticamente significativa, es decir, los panelistas mostraron el mismo nivel de aceptación para estas dos formulaciones. Es importante mencionar que la formulación F2, tiene un 10% de harina de piña modificada, lo que resulta muy conveniente ya que el resultado es una galleta con alto contenido de fibra aceptable por los consumidores, según la prueba sensorial. De igual forma, Cedeño Reyes, (2014) reportó que las galletas cuya formulación estaban constituidas por el 8 % de harina de piña y 92% de harina de trigo, presentaron mayor aceptación en las pruebas hedónicas en diferentes atributos sensoriales (color, olor, textura y sabor), en comparación con aquellas donde la sustitución de harina de trigo por harina de piña fue mayor. A su vez Sadal y col. (2018) y Kuldip y col. (2014) confirmaron que las formulaciones elaboradas a base de fibra de piña, pueden presentar excelentes características sensoriales hasta un 10% de fibra añadida, intensificando sus propiedades organolépticas. Este cambio positivo de las propiedades organolépticas de las galletas se presenta a partir del 6% de fibra añadida y se mantiene hasta el 10%. Concluyendo que un incremento de las cantidades de fibra, por arriba del 10% se empieza a presentar una menor aceptabilidad de las formulaciones (Thivani y Mahendran, 2016), como lo reportado en este trabajo.

Las formulaciones de menor aceptación fueron F3 y F4. El valor medio obtenido fue de 2.38 y 1.99 respectivamente, sin diferencia estadísticamente significativa. Estos valores, según la escala hedónica corresponden a “*me disgusta moderadamente y me disgusta mucho*”. Por lo anterior, los panelistas concluyeron que ambas formulaciones no fueron de su preferencia, debido al sabor y textura que presentaban las galletas.

Este análisis permitió concluir que una galleta con contenidos de fibra mayores al 10%, si bien, es un alimento con buenas propiedades nutrimentales por el aporte de fibra, es un alimento con pobres características sensoriales y que los consumidores no lo consideran aceptable.

Tabla 13. Resultados de preferencia obtenidos de la prueba hedónica para las galletas elaboradas

Formulaciones	Resultado de la aceptación
F0	6.360 ± 0.76 ^a
F1	5.420 ± 1.02 ^b
F2	5.190 ± 1.10 ^b
F3	2.380 ± 0.99 ^c
F4	1.990 ± 0.14 ^c

Los valores expresados como media ± desviación estándar

Los valores en la misma columna con letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

7.5 Pruebas de textura

Uno de los parámetros de calidad más importantes para las galletas es su textura, ya que, si esta no es la del agrado de los consumidores, es inevitable el rechazo de la misma. Por otro lado, la determinación de los parámetros texturales por medios instrumentales es compleja, ya que son materiales de composición heterogéneos y estructura poco uniforme (Rodríguez y col., 2005). Usualmente este tipo de alimentos no fluyen frente a esfuerzos de presión, pero son frágiles y quebradizos (Romero y col., 2014), es por ello que es importante la determinación de sus parámetros de textura. Los resultados de textura obtenidos de las formulaciones elaboradas se presentan en la Tabla 14.

Como se observa, la formulación F0 presentó el menor valor de dureza de todas las formulaciones, aproximadamente 17.9 N. Estos valores son similares a los reportados por Rao Galla y col. (2017) en muestras control de galletas de harina de trigo, cuyo valor reportado fue de 2138 Kgf (20.9 N),

de igual forma, Aquino Ruiz (2013) reportó valores de dureza de 15.9 N, para galletas elaboradas a partir de trigo de diferentes variedades. Sin embargo, Soler Martínez y col. (2017) reportaron valores de 0.565 Kgf (5.48 N) valores muy inferiores a los reportados anteriormente. Es sabido que el trigo, centeno, cebada y avena, son algunos de los cereales con mayor contenido de gluten (<20 mg/kg), y este a su vez juega un papel importante en la elaboración de productos horneados, ya que permite darles extensibilidad a las masas y una estructura más uniforme de galletas (Castro y col., 2003; Sindhuja y col., 2005; Sciarini y col., 2016).

Tabla 14. Parámetros de textura obtenidos de las formulaciones de galletas

Formulaciones	Dureza (N)	Deformación(mm)	Rigidez (N/mm)
F0	17.91±1.18 ^d	0.15±0.014 ^c	119.40±25.6 ^a
F1	24.18±0.99 ^c	0.17±0.014 ^b	142.00±2.56 ^a
F2	23.61±1.01 ^c	0.28±0.021 ^b	84.320±2.19 ^a
F3	28.44±0.78 ^b	0.19±0.014 ^{bc}	149.68±9.02 ^a
F4	31.79±0.48 ^a	0.33±0.007 ^a	97.630±7.44 ^a

Media aritmética de 5 repeticiones ± desviación estándar

Los valores en la misma columna con letras diferentes son significativamente diferentes (p <0.05).

En la formulación F1 y F2, se observa un aumento significativo en el parámetro de dureza de aproximadamente 8 N, es importante mencionar que esta formulación está elaborada únicamente de harina de malanga, y a su vez, es libre de gluten. Los valores resultantes de dureza en F1 y F2 fueron de 24.18 y 23.61 N respectivamente, y no presentan diferencia estadísticamente significativa, por lo que los consumidores no perciben diferencia entre estas dos formulaciones en cuanto a la dureza de las galletas. Estos resultados concuerdan con los valores obtenidos en el análisis sensorial, ya que ambas formulaciones presentaron el mismo nivel de preferencia de los consumidores. Por otro lado, a medida que aumentó el porcentaje de fibra para F3 y F4, el parámetro de dureza aumentó de forma proporcional haciendo de estas galletas más resistentes, es decir, se requiere mayor fuerza para poder fracturar las muestras, lo cual ocasiona dificultad en el proceso de masticación y el rechazo de los consumidores. Sadal y col. (2018) reportaron el

mismo patrón creciente de dureza en galletas elaboradas a partir de mezclas de harina de trigo integral sustituidas con harina de piña (5 al 15 %) atribuyendo el incremento de la dureza a la adición de fibra y una disminución considerable de crujibilidad.

Escobar (2012) estableció una relación directa entre el incremento de fibra y la fuerza necesaria para generar fracturas, haciéndose más evidente a medida que aumenta el porcentaje fibra. Otro parámetro de importancia que se determinó fue la rigidez, el cual se define como la tendencia que tiene el alimento a romperse ante una fuerza aplicada. La rigidez de las formulaciones no mostró diferencia estadísticamente significativa, atribuido a que dichas muestras procedían del mismo lote, por lo tanto, presentaron un buen grado de frescura y no afectó la estructura interna de las galletas horneadas, no dando lugar a la retrogradación.

En la Figura 6 se observa, de manera gráfica, el comportamiento de textura de las galletas analizadas, observándose que para las formulaciones F0, F1 y F2 presentan un solo pico máximo de ruptura, cuando se somete a esfuerzo de tensión, reflejando menores valores de dureza y una consistencia más uniforme en la estructura interna de la galleta. Sin embargo, para F3 y F4, presentan valores mayores a F0 y F1, además de presentar dos y tres picos máximos de fuerza de ruptura de las galletas, respectivamente. Se sugiere que múltiples picos pueden ser atribuidos a bolsas de aire presentes en la estructura interna de los productos, o derivado de la superficie irregular de la muestra al ser sometidas a pruebas de fractura, experimentando un rompimiento inadecuado e induciendo una mayor dispersión de los valores en los parámetros texturales calculados (Castro y col., 2003; Ranasalva y Visvanathan, 2014 y Park y col., 2015). Por otro lado, Baños y Guemes (2007) atribuyen que los máximos picos positivos presentados en las gráficas de textura hacen referencia al esfuerzo de oposición que presenta el alimento para ser comprimido o penetrado.

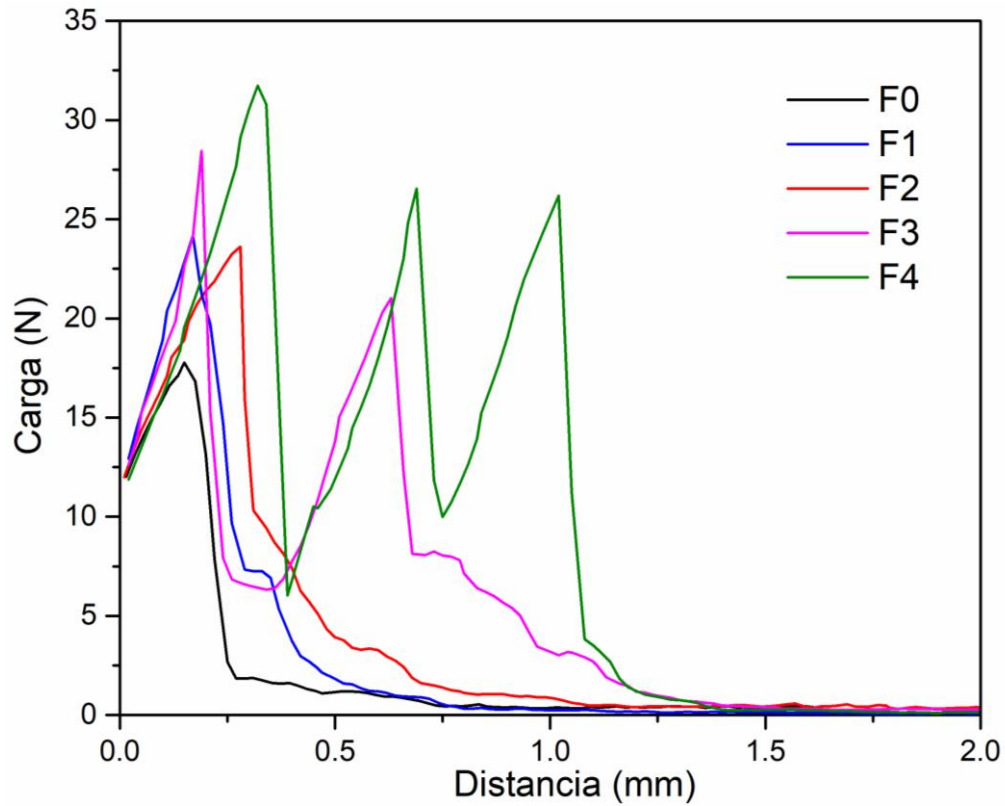







Figura 6. Comportamiento Esfuerzo vs deformación de las formulaciones elaboradas

7.6 Pruebas de color

Las pruebas de color son otro parámetro de importancia asociado a la calidad del producto, ya que los consumidores manifiestan una fuerte preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva, siendo el color el primer atributo que se juzga de los productos. Para ello, se llevó a cabo las determinaciones de color en todas las formulaciones, para determinar cuantitativamente las diferencias, así como, relacionarlas con el nivel de satisfacción al consumidor. Los resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Pruebas de color en las formulaciones de galletas

Parámetro	Formulaciones				
	F0	F1	F2	F3	F4
L*	57.97 ±3.9 ^b	68.23 ±1.6 ^a	65.62 ±2.2 ^a	60.33 ±2.0 ^b	60.28 ±1.4 ^b
a*	7.75 ±1.0 ^b	6.88 ±0.4 ^b	8.13 ±1.2 ^b	10.10 ±0.6 ^a	10.80 ±0.8 ^a
b*	23.46 ±0.4 ^c	26.49 ±1.0 ^{ab}	26.57 ±2.5 ^b	30.09 ±0.8 ^a	28.38 ±1.7 ^{ab}
C*	24.45 ±0.6 ^c	27.23 ±0.8 ^b	27.79 ±2.7 ^b	31.74 ±0.9 ^a	30.37 ±1.9 ^{ab}
H°	74.06 ±2.0 ^a	73.55 ±0.8 ^{ab}	73.02 ±1.1 ^{ab}	71.43 ±0.9 ^b	69.18 ±1.1 ^c
Cartilla de color					

Media aritmética de 5 repeticiones ± desviación estándar

Los valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

La coordenada L* es definida como luminosidad o claridad, donde 0 es el negro y 100 es el blanco. Como se observa, para F0 se obtuvo el valor más bajo de este parámetro, siendo F1 y F2 las formulaciones que presentaron valores más altos, sin diferencia estadísticamente significativa. Es decir, se perciben galletas con valores de luminosidad más elevados para F1 y F2 que para F0, encontrándose el resto de las formulaciones F3 y F4 entre estos dos intervalos. Para F0, se obtuvo valores de luminosidad muy similares a los reportados por Vásquez y col. (2018), quien elaboró galletas de trigo, obteniendo los siguientes parámetros L*=58.72, C*=30.67 y H°=70.11. Jeltema y col. (1983) determinó que entre mayor sea la concentración de fibra se propiciaba un color más oscuro y menos amarillo en los productos, como consecuencia se ha considerado que las galletas más oscuras se asocian con menor calidad. Por otro lado, el color oscuro se puede atribuir a que las proteínas y azúcares reductores, en la cocción, genera un complejo de interacciones químicas conocidas como reacciones de Maillard, formándose un color marrón, dado por la formación de melanoidinas (Secchi y col., 2011; Taranto y col., 2012). Estas reacciones de pardeamiento están influenciadas por muchos factores como: actividad del agua, el pH, la temperatura, los azúcares, el tipo y la proporción de compuestos amino, entre otros (Sharma y Gujral, 2013).

En cuanto a los valores de cromaticidad C^* , nos indica que tan puro e intenso está el color y está constituido por los valores (a^* , b^*), es decir la posición del espectro en la que se encuentran y el valor H^* que indica el ángulo exacto de posicionamiento dado en valores de 0 a 360°.

Para todas las formulaciones, los parámetros correspondientes a la cromaticidad (a^* , b^*), se ubicaron dentro del cuadrante positivo tendiendo hacia el rojo para a^* y amarillo para b^* . Estos valores aumentaron, conforme se incrementó el porcentaje de fibra en las formulaciones F2, F3 y F4, mientras que para F1 se obtuvieron los valores menores, sugiriendo que esto se debe a la presencia de pigmentaciones amarillas, rosa y blanca, por la variación en el contenido de flavonoides y antocianinas, así como la cantidad de carbohidratos y proteínas presentes en la harina, tal y como lo reporta Rodríguez-Miranda y col. (2011).

De manera general se observó que los valores de color tanto para F1 y F2 no presenta diferencias estadísticamente significativas, siendo estos imperceptibles por el consumidor como lo expresan los resultados obtenidos en la evaluación sensorial y de textura.

7.7 Determinación de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDS) y soluble (FDI)

Después de haber analizado las pruebas sensoriales, textura y color, se determinó que las formulaciones F3 y F4, si bien presentaban altos contenidos de fibra, estos carecían de atributos sensoriales y texturales que pudieran ser aceptados por los consumidores. De acuerdo con los resultados antes mencionados, solo las formulaciones F0, F1 y F2 se les determinó el contenido de fibra dietética total (FDT), fibra soluble (FDS) y fibra insoluble (FDI). Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Los resultados de FDT, FDS y FDI (Tabla 16) para la formulación F0 fueron los más bajos de las tres determinaciones, lo que concuerda con lo reportado en el análisis químico proximal, ya que ésta formulación está constituida de harina de trigo refinada. Estos valores son similares a los reportados por Canett Romero y col. (2004), quienes elaboraron galletas de trigo, obteniendo 3.93% de FDT, así como valores de 1.90 y 2.03 % para FDI y FDS respectivamente. Por otro lado, los resultados obtenidos por Ortega y col. (2016) en galletas de trigo comerciales (marca Kellogs),

mostraron un contenido de fibra total de 2.79%. Los valores en este trabajo, estuvieron acorde a lo reportado por estos investigadores y menores al resto de las formulaciones elaboradas a partir de harina de malanga y la combinación de ésta con fibra modificada de piña, ya que la harina de trigo comercial, al ser procesada pierde gran parte del salvado, el cual aporta la fibra a este cereal.

Tabla 16. Porcentajes de fibra dietética en formulaciones de galletas obtenidas.

Formulaciones	FDT (%)	FDI (%)	FDS (%)
F0	3.950±0.321 ^a	1.880±0.092 ^a	2.070±0.28 ^a
F1	13.695±1.25 ^b	11.708±1.47 ^b	1.987±0.10 ^a
F2	51.426±3.82 ^c	20.339±2.54 ^c	31.087±2.34 ^b

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

Los valores en la misma columna con letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

El contenido de FDT en la formulación F1 no sufrió cambios significativos a lo reportado en el análisis químico proximal. Por su parte, Müge Hendek y col. (2019) reportaron 7.60 % de FDT en sus formulaciones de galletas elaboradas con harina de malanga, valores muy por debajo de los reportados en este trabajo. Sin embargo, para la formulación F2 aumentó significativamente el contenido de FDT, es decir, con el 10% de fibra modificada de piña añadida a la formulación aumentó significativamente hasta un 51.4 %. De igual forma, el contenido de fibra soluble que se reportó durante la hidrólisis enzimática, aumento de 11% en la harina hasta un 31.08% en la galleta.

Zhou y col. (2012) y Pathera y col. (2017) atribuyen que los procesos térmicos pueden cambiar la proporción de fibras solubles e insolubles, así como, las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética. La cantidad de fibra dietética soluble producida depende en gran medida de la temperatura de procesamiento de los alimentos. Las altas temperaturas rompen los enlaces glucosídicos del polisacárido y pueden conducir a la liberación de oligosacáridos y así aumentar la cantidad de fibra soluble (Yi y col., 2014; Wang y col., 2015). Por su parte Nelly Pak (2000) determinó que durante el procesamiento los enlaces glucosídicos de los polisacáridos de la fibra pueden romperse causando solubilización de la FDI, así como, una degradación de la FDS a fragmentos más pequeños; además, la presencia de otros productos de interacción amilosa-

lípidos o la formación de almidón resistente, puede causar un aumento en la fibra dietética total en los alimentos, así como sucedió en las galletas estudiadas en este trabajo. Huma Bader (2018) reportó un aumento del contenido de FS de aproximadamente el 68.08% en cebada, después de someterse a procesos de cocción, atribuyendo ese aumento a los fenómenos descritos anteriormente.

Los resultados obtenidos son muy prometedores, ya que, tanto la FDT, FI y FS son parte fundamental en la funcionalidad del alimento y pueden considerarse una fuente importante para aprovecharse en productos alimenticios que beneficien la salud de los consumidores.

7.8 Determinación de glucosa libre (GL), glucosa total (GT) y almidón total (AT)

Los resultados de glucosa libre (GL) presentada en las formulaciones F0, F1 y F2 fueron bajos, de 1.2 g/100 g aproximadamente, sin diferencia estadísticamente significativa para las tres formulaciones (Tabla 17). La glucosa libre es de fácil disponibilidad y de digestión rápida, incrementa los niveles de glucosa en sangre en un tiempo corto (20 min), de modo que la baja concentración en las formulaciones, es de consumo benéfico. El mayor contenido de almidón se presentó para la formulación F0, es sabido que los cereales contienen hasta un 80% de almidón, y concuerda con lo reportado en este trabajo. De igual forma, Maldonado y Pacheco de Delahaye (2000) reportaron valores de 68.13% de almidón total en galletas de trigo, valores menores a los reportados anteriormente.

Por otro lado, para la formulación F1, la cual se elaboró con harina de malanga, presentó un valor de 68.4% de almidón, valores similares a los reportados para este tubérculo (60 a 90%). Por último, para la formulación F2, constituida con 10% de harina de piña, presentó un valor de 58.1% de almidón total, un valor menor a las demás formulaciones, derivado de la sustitución parcial de harina de malanga por harina de piña. Esos valores resultan razonables, considerando que a media que se agrega fibra modificada de piña, disminuye la cantidad de almidón de malanga presente en las formulaciones.

Tabla 17. Resultados de glucosa libre (GL), glucosa total (GT) y almidón total (AT)

Formulaciones	Glucosa libre (GL)	Glucosa total (GT)	Almidón total (AT)
*F0	1.275±0.0176 ^a	91.80±0.0331 ^a	81.47±0.0297 ^a
**F1	1.257±0.0055 ^a	77.25±0.0522 ^{ab}	68.40±0.0470 ^{ab}
F2	1.242±0.0216 ^a	65.85±0.1077 ^b	58.14±0.0967 ^b

*Maldonado y Pacheco de Delahaye (2000), Villarroel (2018)

** Solano García (2017)

Sumado a los resultados anteriores, se determinó el contenido de almidón de digestión lenta y almidón resistente para la formulación F2, y se obtuvo un valor medio de 3.36 y 54.4%, respectivamente. Lo que indica que la fracción mayoritaria presente en la muestra es almidón del tipo resistente, la cual concuerda con los valores de FDT reportada en la Tabla 16. Por lo que, se confirma que el aumento de contenido de fibra dietética no solo se debe a la adición de harina modificada de piña, si no a la formación de almidón resistente, sugiriendo que puede producirse por retrogradación o por la formación del complejo amilosa-lípido de la harina de malanga (Villarroel, 2018).

La importancia de estos parámetros permite conocer la cantidad y la velocidad de glucosa que puede liberarse durante la digestión del producto, siendo de suma importancia para los consumidores cuyo metabolismo está comprometido con el control de la glucosa.

8. CONCLUSIONES

La modificación enzimática de fibra de piña incrementó un 10% el contenido de fibra dietética soluble en la harina, haciendo de ésta una opción viable para mejorar las propiedades de la fibra soluble

El proceso de cocción de la galleta para F2, favoreció el incremento de la fibra dietética total y soluble hasta un 50 %, lo que hace suficiente la sustitución parcial de harina de malanga por harina modificada de piña.

La incorporación de más de 10% de fibra modificada de piña afectan el grado de aceptación de los consumidores dando como resultados valores en la categoría de la escala hedónica *“me disgusta moderadamente y me disgusta mucho”*.

La formulación elaborada con 90% harina de malanga y 10% fibra modificada de piña presentó los valores más bajos de dureza y una consistencia uniforme en la estructura interna de la galleta, haciéndolas más atractivas al consumidor.

El estudio de digestibilidad muestra que la glucosa libre presente en las formulaciones es muy baja, dando como resultado un producto que puede considerarse de lenta digestión. Por otro lado, aproximadamente el 60% del almidón es de tipo resistente, haciendo de éste un alimento con características funcionales con alto contenido de carbohidratos no digeribles.

La incorporación de harinas de malanga y fibra modificada de piña, como sustituyentes en la galleta, permiten obtener, un alimento libre de gluten y rico en fibra dietética, lo que constituye una alternativa para consumidores celíacos y/o con alguna enfermedad crónica degenerativa.

9. REFERENCIAS

- AACC (2010): Métodos de análisis aprobados por la AACC, 11ª ed. Método 32-07.01. Fibra dietética soluble, insoluble y total en alimentos y productos alimenticios. St. Paul, MN, EE. UU: Asociación de Cereales y Granos
- Acuña Quiros M.D., Alons Franch M., Álvarez Coca J., Aguelles Martin F., Armas Ramon H., Barrio Merino A., Barrio Torres J., Bautista Casanovas A., Bedate Calderon P., y Alvares J. (2010). Protocolos, diagnostico- terapéuticos de gastroenterología, hepatología y nutrición pediátrica. Majadahonda Madrid: Ergón S.A.
- AOAC. (1990) Official Methods of Analysis. Association of official analytical chemist. U.S.A.
- AOAC. (1995). Official Methods of Analysis. Association of official analytical chemist. U.S.A 16ª Ed. Washington DC.
- AOAC. (2010). Official Methods of Analysis. Association of official analytical chemist. U.S.A. 18a.Ed Gaithersburg, DC.
- Aquino Ruiz E.L. (2013). Elaboración de galletas de sal utilizando harina de trigo *Triticum aestivum* nacional de la variedad INIAP – COJITAMBO, con suplementos parciales de harina de trigo importado. (Tesis de Licenciatura). Universidad técnica de Ambato, Facultad de ciencia e Ingeniería en alimentos.
- Ashwell M. (2002). Conceptos sobre alimentos funcionales. Bélgica, Bruselas: ILSI Europe. Extraído de: <http://www.ilsisurandino.cl/>
- Baños E., Guemes N. (2007). Caracterización reológica de masas de harina de trigo, adicionadas con fibra soluble. (Tesis de pregrado). Instituto de ciencias pecuarias. Tulancingo de Bravo, Hidalgo.
- Bazán Aliaga G., Gabrielli González R., Acosta Chinchayhuara D., Rojas Castillo J.A. (2015). Galletas de buena aceptabilidad a base de harina de arroz *Oriza sativa* y harina de papa *Solanum tuberosum* var. parda pastosa. *Agroindustrial Science*. 5(1): 69-75.
- Burkitt D, Walter ARP, Painter NS. (1972). Effect of dietary fibre on stools and transit time and its role in the causation of disease. *Lancet*. 2:1408-1411
- Caicedo Q.W., Rodríguez B.R., Valle R.S. (2014). Una reseña sobre el uso de tubérculos de papa china *Colocasia esculenta* conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 15 (1):1-10.
- Calañas Continente A.J. (2005). Alimentación saludable basada en la evidencia. *Endocrinología y nutrición*. 52(2): 8-12.

Canett Romero R., Ledesma Osuna A.I., Robles R.M., Morales Castro S.R. León Martínez L., León Gálvez R. 2004. Caracterización de galletas elaboradas con cascarilla de orujo de uva. Arch. Latinoam. Nutr. 54(1):93-99.

Castro E., Verdugo M., Miranda M., Rodríguez A. (2003). Determinación de parámetros texturales de galletas. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/c20028221225determinacionparametros1.pdf. (Visitada en septiembre de 2019).

Cedeño Reyes J.L., Zambrano Delgado J.B. (2014). Cáscaras de piña y mango deshidratadas como fuente de fibra dietética en producción de galletas. (Tesis de licenciatura). Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.

Celiacos de México, A.C. (2018). Una enfermedad silenciosa. Recuperado de: <http://www.celiacosdemexico.org.mx/enfermedad-celiaca>

Chandrasekara A., Josheph Kumar T. (2016). Roots and Tuber Crops as Functional Foods: A Review on Phytochemical Constituents and Their Potential Health Benefits. International Journal of Food Science. 2016: 1-11.

Chareonthaikij P., Tanat Uan-On T., Prinyawiwatkul W. (2016). Effects of pineapple pomace fibre on physicochemical properties of composite flour and dough, and consumer acceptance of fibre-enriched wheat bread. International Journal of Food Science and Technology. 51: 1120–1129.

Chinnasarn S., y Manyasi R. (2010). Chemical and physical properties of taro flour and the application of restructured taro strip product. World Applied Sciences Journal. 9(6): 600-604.

Civeira Murillo F., Cordero Fort A., Delgado Lista J., Ferreira Montero I.J., Grima Serrano A., Jarauta Simon E., Laclaustra Jiménez M., López Miranda J., Pérez Jiménez F., Pérez Martínez P., Ros Rahola E., Sastre Gallego A. (2007). Alimentos funcionales o nutraceuticos. Madrid, España. Acción médica.

Codex Alimentarius. (1979). Standard for foods for special dietary use for persons intolerant to gluten. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/es/>

CODEX. (2009). Codex Alimentarius Commission, ALINORM 09/32/26. *Report of the 30th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses*. Cape Town, South Africa, 3 - 7 November 2008

Correia da Costa J.M., Milô de Freitas Felipe E., Arraes Maia G., Montenegro Brasil I., Fernando Herreyra Hernandez F. (2007). Comparação dos parâmetros físico-químicos e químicos de pós alimentícios obtidos de resíduos de abacaxi. Revista Ciência Agronômica. 38(2): 228-232.

Cortés R.M., Chiralt B.A., Puente D.L. (2005). Alimentos funcionales: una historia con mucho presente y futuro functional foods: A history with a lot of present and future. Vitae. 12(1): 5–14.

Coulter T.P. (1984). FOOD: The chemistry of its components, the royal society of chemistry, Londres Inglaterra: Acribia, Zaragoza.

Cubas Juárez L.M., Seclén Leonardo O.P., León Roque N. (2016). Influencia del porcentaje de adición de quinua *Chenopodium quinoa*, piña *Ananas comosus L. Merr* y nivel de dilución en la fortificación del néctar de manzana *Malus domestica* sobre la calidad del producto. *Agroindustrial Science*. 97-105.

Dendy D.A.V., Dobraszczyk Bogdan J. (2001). Cereales y productos a base de cereales: Tecnología y química. Filadelfia, EUA: Aspen Publishers, Inc.

Dos Reis Lemos A., Diaz Capriles V., Machado Pinto M.E., Gómez Areas J.A. (2012). Effect of incorporation of amaranth on the physical properties and nutritional value of cheese bread. *Ciencia y tecnología de alimentos*., 32(3): 427-431.

Englyst H.N., Kingman S.M., Cummings J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of clinical nutrition*. 46(2): 33-50.

Escobar Moreno N.P. (2012). Evaluación del comportamiento de la fibra soluble como compuesto bioactivo, adicionada en productos horneados de panadería y bizcochería. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

Escudero Alvarez E., Gonzáles Sánchez P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*. 21(2): 61-62.

FAO. (2017). Perspectivas alimentarias informe bianual sobre mercados globales de alimentos. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-l8080e.pdf>

FAO/OMS. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. Organización Mundial de la Salud, Geneva (World Health Organization technical report series; 916).

Fasano A., Cattasi C. (2001). Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease. *Gastroenterology*. 120(1): 636-651.

Fuxá D., Quera Pinto R.E. (2017). Enfermedad diverticular, mitos y realidades. *Revista médica de Chile*. 145(2): 209-210.

García Peris P., Velasco Gimeno C. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición hospitalaria*. 22(2): 20-5.

GBD 2015 Risk Factors Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 2016; 388(10053):1659-1724

Gómez J.C., Selvaggio G.S., Viola M., Pizarro B., La Motta G., De barrio S., Castelletto R., Echeverría R., Sugai E., Vázquez H., Mauriño E., Bai J.C. (2001). Prevalence of celiac disease in Argentina: Screening of an adult population in the la Plata area. *The American Journal of Gastroenterology*. 96(9): 2700-2704.

Gray J., (2006). Fibra. Bélgica, Bruselas: ILSI Europe. Extraído de: <http://www.ilsisurandino.cl/>

Gutiérrez Rojas I., Moreno Sarmiento N., y Montoya D., (2013). Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. *Rev Iberoam Micol*. 32(1): 1-12.

Hernández Ávila M., Gutiérrez J.P., Reynoso Noveron N. (2013). Diabetes mellitus en México, el estado de la epidemia. *Salud pública de México*. 15(2):130.

Huma Bader U.A., Saeed F., Muhammad A.K., Bushra Niaz, Madiha Rohi, Muhammad Adnan N., Tufail T., Anbreen F., Muhammad Anjum F. (2018). Modification of barley dietary fiber through thermal treatments. *Food Sci Nutr*. 7(5):1-5.

INCAP. 1996. Tabla de composición de alimentos de Centro América. Primera edición, versión preliminar. Págs. 17 y 22.

Jeltema M.A., Zabik M. E., Thiel L.J. (1983). Prediction of Cookie Quality from Dietary Fiber Components. *Cereal Chem*. 60: 227-230.

Kagnoff F.M. (2005). Overview and Pathogenesis of Celiac Disease. *Gastroenterology*. 128(1): 10-18.

Kuldip D A., Aditya L., Akash S. (2014). Development and quality evaluation of pineapple pomace and wheat bran fortified biscuits. *International Journal of Research in Engineering and Advanced Technology*. 2(3): 2320 – 8791.

Larrauri J.A., Ruperez P., Saura Calixto F. (1997). Pineapple Shell as a Source of Dietary Fiber with Associated Polyphenols. *J. Agric. Food Chem*. 1997 (45): 4028-4031.

Levy Shamah T., Amaya Castellanos M. A., y Cuevas Nasu L. (2015). Desnutrición y obesidad: doble carga en México. *Revista Digital Universitaria*. 16(5): 1-17.

López Herrera M., WingChing Jones R., y Rojas Bourrillón A. (2014). Meta-análisis de los subproductos de piña *Ananas comosus* para la alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*. 25(2): 383-392.

Lutz Riquelme M., Morales D., Sepulveda B.S., y Alviña M.W. (2008). Evaluación sensorial de preparaciones elaboradas con nuevos alimentos funcionales destinados al adulto mayor. *Revista Chilena de nutrición*. 35(2):131-137.

Maache Rezzoug Z., Marie Bouvier J., Allaf K., Patras C. (1989). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*. 35(1): 23-42.

Mabel Selani M., Canniatti Brazaca S.G., Dos Santos Dias C.T., Ratnayake W.S., Flores R.A., Bianchini A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*. 163(15): 23-30.

Macarron Larumbe R. (1992). Purificación y caracterización de endoglucanasa III de *Trichoderma reesei* QM9414. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid Facultad de ciencias biológicas, departamento de bioquímica y biología molecular I. Madrid, España.

Madrigal Ambriz L., Hernández Madrigal J., Carranco Jáuregui M., Calvo Carrillo M., Casas Rosado R. (2018). Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de malanga *Colocasia esculenta* L. Schott de Actopan, Veracruz, México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 68(2): 175–183.

Maldonado R., Pacheco de Delahaye E. (2000). Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y plátano verde. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 50(4): 387-393.

Manley Duncan J.R. (1989). *Tecnología de la Industria Galletera: galletas, crackers y otros horneados*. Madrid, España: Acribia, S.A. Zaragoza.

Martínez Muñoz A.G. (2013). Elaboración de una botana a base de malanga *Colocasia esculenta* utilizando microondas para su procesamiento. (Tesis de maestría). Universidad veracruzana. Xalapa, Veracruz.

Mataix Verdú J., García Diz L., Mañas Almendros M., Martínez de Victoria E., Llopins Gonzales J. (2009). *Tabla de composición de alimentos*. Cartuja, Granada, España: Universidad de Granada.

Mayorgan Gross L. (2013). Desarrollo de fibra dietética a partir de un subproducto industrial de piña y su aplicación en un producto alimenticio. (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Mejía Domínguez C., Macavilca Ticlayauri E., Velásquez Gamarra J., Palacios Rodríguez B., Garcia Alor L. (2013). Formulación y evaluación de galletas enriquecidas con micronutrientes y proteínas de origen animal y vegetal para desayunos escolares. *Infinitum*. 3(2): 22-32.

Mesas Mesas J.M., Alegre Rivas M.T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(5), 307-313.

Miguel Hajar E.H. (2008). Obtención de fibra dietética a partir de piña *Ananas comosus* del cultivar cayena lisa. (Tesis de pregrado). Universidad nacional del centro del Perú, Facultad de ciencias agrarias. Escuela académico profesional de ingeniería en industrias alimentarias tropical. Satipo, Perú.

Montaña Bueno J.N., Ortégón S. (2000). Inactivación de Microorganismos por Altas Presiones en la Industria Vinícola. *Revista Ingeniería e Investigación*. 45(1): 18-23.

Moreira Vicente F., López San Román A. (2005). Enfermedad diverticular del colon. *Revista española de enfermedades digestivas*. 97(6): 458.

Müge Hendek E., Rabia Atasoy, Şeyma Selin A. (2019). Evaluation of taro *Colocasia Esculenta*, L. Schott flour as a hydrocolloid on the physicochemical, rheological, and sensorial properties of milk pudding. 43(10): 1-9.

Mulugeta M., Tebeka T. (2017). Proximate and Some Minerals Analysis of *Colocasia esculenta* (Taro) Tuber in Southern Ethiopia. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Research. 10(2): 1-12.

Naknaen P., Itthisoponkul T., Sondee A., Angsombat N. (2016). Utilization of watermelon rind waste as a potential source of dietary fiber to improve health promoting properties and reduce glycemic index for cookie making. Food Science and Biotechnology. 25(2): 415–424.

Nelly Pak D. (2000). Fibra dietética en verduras cultivadas en Chile. Archivos latinoamericanos de nutrición. 54(1): 97–101.

NMX-F-428-1982. (1982). Norma oficial de la república mexicana. 7 de octubre de 1982. Extraído de <http://www.colpos.mx/>

NMX-F-516-1992. (1992). Norma oficial de la república mexicana. Extraído de: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-521-1992.PDF>

NOM-043-SSA2-2005. (2005). Diario oficial de la República Mexicana, 23 de enero de 2006. Extraído de: <http://www.salud.gob.mx>.

NOM-147-SSA1-1996. (1996). Norma oficial de la república mexicana, 17 de noviembre de 1999. Extraído de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/147ssa16.html>

OMS (2017). Enfermedades cardiovasculares. Extraído de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))

Onyango C., Mutungi C., Unbehend G., Georg Lindhauer M. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. Food Science and Technology. 44(3): 681-686.

Ortega M., Yasmina Barboza, Piñero M.P., Parra K. (2016). Formulación y evaluación de una galleta elaborada con avena, linaza y pseudofruto del caujil como alternativa de un alimento funcional. Multiciencias. 16(1): 76-86.

Ortiz C., Valenzuela R., Yalda L.A. (2017). Enfermedad celíaca, sensibilidad no celíaca al gluten y alergia al trigo: comparación de patologías diferentes gatilladas por un mismo alimento. Revista chilena de pediatría. 88(3): 417-423.

Pareyt B., Talhaoui F., Kerckhofs G., Brijs K., Goesaert H., Wevers Martine J. (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. Journal of food engineering. 90(3): 400–408.

- Park J., Choi I., Kim Y. (2015). Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose. *Food Science and Technology*. 63: 660-663.
- Pathera A.K., Riar C.S., Yadav S., Sharma D.P. (2007). Effect of Dietary Fiber Enrichment and Different Cooking Methods on Quality of Chicken Nuggets. *Korean J. Food Sci. An.* 37(3): 410-417.
- Prakongpan T., Nitithamyong A., Luangpituksa P., (2002). Extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple cores. *Journal of Food Science*. 67(4): 1308–1313.
- Programa Nacional de Salud. (2007). Secretaría de Salud, México.
- Púa A.L., Barreto G. E., Zuleta J.L., Herrera O.D. (2019). Nutrient analysis of taro root *Colocasia esculenta*, *L. Schott* in the dry tropics of Colombia. *Información tecnológica*. 30(4): 69–76.
- Quesada Solís K., Alvarado Aguilar P., Sibaja Ballesteros R., Vega Baudrit J. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña *Ananas comosus*, variedad champaka como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 6(2): 158.
- Ramírez A., Pacheco de Delahaye E. (2011). Composición química y compuestos bioactivos presentes en pulpas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*. 36(1): 73.
- Ramulu P., Udayasekhara Rao P. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Foods composition and Analysis*. 16(6): 677-685.
- Ranasalva N., Visvanathan R. (2014). Development of cookies and bread from cooked and fermented pearl millet flour. *African journal of food science*. 8(6): 330-336.
- Rao Galla N., Rao Pamidighantam P., Karakala B., Rudrayya Gurusiddaiah M., Akula S. (2017). Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach *Spinacia oleracea* L. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 7: 20-26.
- Ríos K. (2014). Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga *Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta* cultivadas en el estado de Oaxaca. (Tesis grado), Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca (México).
- Rivera Cruz E. (2018). Efecto de la hidrólisis enzimática en el contenido de fibra soluble, propiedades fisicoquímicas, funcionales, reológicas y estructurales del bagazo de piña *Ananas comosus*. (Tesis de licenciatura). Universidad del Papaloapan. San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca.
- Rodney, A., Samaan, M. D., MPH. (2017). “Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease”. ProgressiveMD. Los Angeles, CA, United States, 26-29.
- Rodríguez Miranda J., Rivadeneyra Rodríguez J.M., Ramírez Rivera E.J., Juárez Barrientos J.M., Herrera Torres E., Navarro Cortez R.O., Hernández Santos B. (2011). Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga *Colocasia esculenta* cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*. 15(43): 37-47.

- Rodríguez Reyes M.Y. (2006). Obtención y caracterización de almidones modificados de Malanga *Colocasia esculenta* y Trigo *Triticum sativum* y su aplicación en la fabricación de yogurt. (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana. Instituto de ciencias básicas, Xalapa, Veracruz.
- Rodríguez Sandoval E., Fernández Quintero A., Ayala Aponte A. (2005). Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación*. 25(2): 72-78.
- Roehrig K.L. (1988). The physiological effects of dietary fiber—A review. *Food Hydrocolloids*. 2(1): 1–18.
- Romero Bonilla H., Ayala Armijos H., Lapo Calderón B. (2015). Efecto de tres pre-tratamientos de cáscara de banano para la obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática. *Avances en Química*. 10(1), 79-82.
- Romero Bonilla H., Tinoco Gómez O., y Dávila Dávila K., (2015). Hidrólisis enzimática de residuos agroindustriales del banano para la obtención de jarabe glucosado aplicando tres pretratamientos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*. 18(1): 101-107.
- Romero D., Cambero M.I., Ordóñez J.A., De la Hoz L., Herrero A.M., (2014). Comportamiento reológico de productos cárnicos cocidos evaluados mediante ensayo de tracción y análisis de perfil de textura (TPA). *Meat Science*. 98(2): 310-315.
- Rondanelli Izquierdo R., y Rondanelli Salas R. (2014). Estilo de vida y enfermedad cardiovascular en el hombre. *Revista médica clínica Condesa*. 25(1): 69-77.
- Rubio Herrera M.A. (2002). Implicaciones de la fibra en diferentes patologías. *Nutrición Hospitalaria*. 7(2): 17-18.
- Sadal K.B., Dabhade S.B., Bornare D.T. (2018). Development and quality evaluation of Pineapple Pomace Powder fortified biscuits. *International Journal of Chemical Studies*. 6(4):1019-1023.
- SAG (2018). Programa nacional de desarrollo agroalimentario. Honduras, 7-8.
- Sánchez Almaraz R., Martín Fuentes M., Palma Milla S., López Plaza B., Bermejo López L.M., Gómez Candela C. (2015). Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías. *Nutrición hospitalaria*. 31(6): 2372-2383.
- Sayed H.S., Sakr A.M., Hassan Nhala M.M. (2016). Effect of Pseudo Cereal Flours on Technological, Chemical and Sensory Properties of Pan Bread. *World Journal of Dairy Food Sciences*. 11(1): 10-17.
- Sciarini L.S., M.E. Steffolani, León A.E. (2016). The role of gluten in breadmaking and the challenge of elaborating gluten-free bread the role of gluten in breadmaking and the challenge of elaborating gluten-free bread. *Agriscientia*. 33 (2): 61-74.
- SE. (2013). Alimentos procesados, unidad de inteligencia de negocios, (pp.8-10) Ciudad de México: Gibran Quiroga.

Secchi N., Stara G., Anedda R., Campus M., Piga A., Roggio T., Catzeddu P., (2011). Effectiveness of sweet ovine whey powder in increasing the shelf life of Amaretti cookies. *LWT Food Science and Technology*. 44: 1073–1078.

Sharma P., Gujral H.S. (2013). Extrusion of hulled barley affecting b-glucan and properties of extrudates. *Food and Bioprocess Technology*. 6: 1374-1389.

SIAP. (2018). Resumen Nacional Intención de cosecha 2018. Extraído de: <http://infosiap.siap.gob.mx/>

Sindhuja A., Sudha M. L., Rahim A., (2005). Effect of Incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. *Journal of european food research and technology*. 221(5): 597-601.

Solano Garcia Y. I. (2017). Elaboración y caracterización de galletas con propiedades funcionales a partir de una mezcla de harina de trigo, harina de malanga *Colocasia esculenta*, *L. Scott* modificada y harina de Moringa *oleífera*. (Tesis de maestría). Tecnológico nacional de México. Acapulco, Guerrero.

Soler Martínez N., Castillo Ruíz O., Rodríguez Castillejos G., Perales-Torres A., González Pérez A.L. (2017). Análisis proximal, de textura y aceptación de las galletas de trigo, sorgo y frijol. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 67(3): 227-233.

Sotelo Cruz N., Calderón de la Barca A.M., Hurtado Valenzuela J.G. (2013). Enfermedad celíaca en niños del noroeste de México: características clínicas de 24 casos. *Revista de Gastroenterología de México*. 78(4): 211-218.

Soto-Estrada G., Moreno-Altamirano L., Pahuá Díaz D. (2016). Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Revista de la facultad de medicina (México)*. 59(6): 8–22.

SSA. (2001). Programa de Acción: Enfermedades Cardiovasculares e Hipertensión Arterial. México, D.F.

SSA. (2016). ¿Cuánta fibra dietética se debe consumir?. México, D.F. Extraído de: <https://www.gob.mx>

Stanton C., Carapetis M., Phillips P. (2007). Fiber facts: Dietary fiber. *Medicine Today*; 9(2): 63-68.

Subhash C., Sarla S., Jaybardhan S., (2012). Phytochemical screening of garhwal himalaya wild edible tuber *Colocasia esculenta*. *International research journal of pharmacy*. 3(3):181-186.

Taranto F., Delvecchio L. N., Mangini G., Del Faro L., Blanco A., Pasqualone A., (2012). Molecular and physico-chemical evaluation of enzymatic browning of whole meal and dough in a collection of tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science*. 55(3): 405-414.

Texas Heart Institute. (2019). Factores de riesgo cardiovascular. Houston, Texas. Extraído de: <https://www.texasheart.org>.

Theuwissen E., Mensink R.P., (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology y Behavior*. 94(2): 285–292.

Thivani T., Mahendran and Kanimoly M., (2016). Study on the physico-chemical properties, sensory attributes and shelf life of pineapple powder incorporated biscuits. *Ruhuna journal of science*. 7: 32-42.

Trowell H. (1978). The development of the concept of dietary fiber in human nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 31(10): 3-11.

Vásquez Cabral K., Quiñones Rutiaga O. M., Trancoso Reyes N., Pensaben Esquivel J.M., Ochoa Martínez L.A. (2018). Evaluación sensorial y propiedades fisicoquímicas de galletas suplementadas con harina de camote *Ipomoea batatas L.* *Agroproductividad*. 11(7): 113-119.

Villarroel P., Gómez C., Vera C., Torres J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Rev. chil. nutr.* 45 (3): 271-276.

Wang X., Xu Y., Liang D., Yan X., Shi H., Sun Y. (2015). Extrusion- assisted enzymatic hydrolysis extraction process of rice bran dietary fiber. In *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*. 2015 : 1337–1345.

Yi T., Wang K., Zhuang Z., Pan S., Huang X. (2014). Comparative analysis of dietary fibre extract isolated from citrus juice by-products using water extraction, fermentation and enzymatic treatment methods. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 6(9): 1058– 1066.

Zamora Vega R. (2011). Elaboración de un alimento funcional a base de *Saccharomyces boulardii* e inulina. (Tesis de maestría). Instituto politécnico nacional. Centro interdisciplinario para el desarrollo integral, regional unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México.

Zhou X., Qian Y., Zhou Y., Zhang R. (2012). Effect of enzymatic extraction treatment on physicochemical properties, microstructure and nutrient composition of tartary buckwheat bran: A new source of antioxidant dietary fiber. *Advance Materials Research*. 396(398): 2052–2059.