

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Trabajo final de graduación bajo la modalidad de proyecto presentado a la Escuela de tecnología de Alimentos para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CANTIDAD DE FIBRA DE SALVADO DE TRIGO SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL SABOR SALADO DE UN PAN INTEGRAL DE MOLDE Y LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL PAN REDUCIDO EN SODIO

Rosseth Tencio Valverde

Carné B46965

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

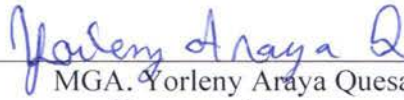
San José, Costa Rica

Agosto, 2021

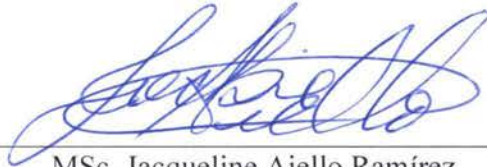
TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Aprobado por:



MGA. Yorleny Araya Quesada
Directora del proyecto



MSc. Jacqueline Aiello Ramírez
Asesora del proyecto



PhD. Elba Cubero Castillo
Asesora del proyecto



PhD. Jessie Usaga Barrientos
Presidente del tribunal



MSc. Ana Incer González
Profesor designado

DEDICATORIA

A mi madre que me ha acompañado en cada etapa de mi vida,
ha sido mi apoyo y sostén en cada momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi familia, que es lo más importante en mi vida. A mi madre Francine, que con su amor y dedicación me ha ayudado a alcanzar esta meta. A mi hermano Yonaikel, que es parte fundamental de mi vida. A mis padrinos, Marvin, Kattia, Jenny y Ale por ser incondicionales. A tío Rafa y Patri, Tony, Pame por siempre estar presentes. A mi tío Carlos por todo su apoyo, por motivarme y creer en mí. A mis tías que siempre han estado pendientes de mí. A Yeiner y Kris que han sido como hermanos para mí. A abuela Vilma por los “gallitos” que me daba para llevar a la U. A Dieguito por escucharme y motivarme siempre.

A la profe Yorleny, gracias por todo el apoyo que me brindó para terminar esta etapa, me asombra la gran dedicación a su trabajo, su interés por ayudar y enseñar, gracias por esas reuniones de noche donde me daba esos empujones que tanto necesitaba para salir adelante con este proyecto. A la profe Jacqui, para mí conocerla ha sido una gran bendición en mi vida, aprendí muchísimo de usted y no solo académicamente, puedo decir que es una de las mejores personas que conozco. A la profe Elba, gracias por la paciencia con la que me explicó muchas veces, por todo su apoyo y compañía en este proceso. Y a todos los profesores de la Escuela de Tecnología de Alimentos por sus enseñanzas.

A mis colegas y grandes amigos de la U: Fer, Kim, Nico, Naty, Fabián, José, gracias por toda la ayuda, las risas, las experiencias que me permitieron vivir durante los años de U y por una amistad que sé que durará toda la vida.

A mis primeros amigos de la U, gracias por formar parte de mi vida. Liz y María con quienes aprendí a sobrellevar la U, cómo vivir alejadas de nuestras familias, y hasta disfrutar las noches de estudio, gracias, por tanto. A Karol que siempre ha creído en mí a ojos cerrados, por estar siempre cuando las cosas se pusieron difíciles. Marcel y Sebas gracias por todo su apoyo y compañía durante este proceso.

A mis amigos y compañeros de vida: Yulieth, Jennifer y Luis David, gracias por acompañarme en cada logro de mi vida, gracias por ser esa mano amiga que siempre está ahí para levantarme, por darme ánimo más de una vez para salir adelante y por cada momento de felicidad que hemos compartido. Los amo.

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL EXAMINADOR.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
NOMENCLATURA	ix
RESUMEN	x
1. JUSTIFICACIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1 Reducción del consumo de sodio: situación a nivel nacional y en otros países; estrategias de reducción	6
3.2. Generalidades del pan: algo de historia y los países de mayor consumo	8
3.3. Tecnología del pan.....	10
3.1 Proceso de elaboración	10
3.2 Ingredientes utilizados en la elaboración de pan de molde integral y su función.....	12
3.3 Función de la sal en los alimentos en general y en el proceso de panificación.	15
4. Principales aspectos en el deterioro del pan integral.	17
5. Funcionalidades de la fibra en los alimentos y efecto de la fibra en el pan: hidratación de la fibra, capacidad de retención de agua y absorción de agua, hinchamiento	19
6. Generalidades del análisis sensorial	21
6.1 Percepción del sabor salado	21
6.2 Técnicas de análisis sensorial.....	22
7. Conceptos y fundamento de análisis fisicoquímicos.....	26

8. Perfil de textura (TPA)	27
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
4.1 Localización del estudio.....	29
4.2 Materia Prima.....	29
4.3 Metodología de investigación.....	30
4.4 Determinación de la máxima reducción de sodio que no es perceptible por el consumidor en pan integral de molde con salvado de trigo, con dos concentraciones de fibra, utilizando la prueba sensorial de umbrales.....	30
4.4.1 Definición de las concentraciones de fibra a utilizar en la formulación del pan integral.	30
4.4.2 Formulación.....	31
4.4.3 Proceso de elaboración del pan integral de molde.....	32
4.4.4 Determinación de los contenidos de sal en pan de molde para la determinación de la DAP	33
4.4.5. Determinación de la DAP por el método de estímulo constante	34
4.4.6 Prueba de confirmación.....	35
4.4.7 Análisis de datos	35
4.5 Determinación del efecto del contenido de fibra sobre las características fisicoquímicas de un pan integral reducido en sodio, con uno y con seis días de almacenamiento a temperatura ambiente.....	36
4.5.1 Diseño experimental.....	36
4.5.2 Pruebas realizadas	37
4.5.3 Análisis de datos	37
4.5.4 Métodos de análisis	37
• Pruebas fisicoquímicas.....	37
• Pruebas de discriminación	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
5.1 Determinación de la máxima reducción de sodio proveniente de la sal en pan integral de molde que no es perceptible por el consumidor para dos cantidades de salvado de trigo adicionado, utilizando pruebas sensoriales de umbrales y confirmación mediante prueba de discriminación.	43
5.2 Determinación del efecto de la cantidad de fibra utilizada, la reducción de sodio y el tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas del pan integral de molde.....	49
Volumen específico	50

Humedad	50
Actividad de agua (a_w)	52
Perfil de textura	53
Elasticidad.....	54
Cohesividad	55
Dureza	56
Masticabilidad	56
6. CONCLUSIONES	57
7. RECOMENDACIONES	58
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
9. ANEXOS	71
1. Ecuación utilizada para realizar el cálculo del porcentaje de reducción de sal en pan integral de molde.	71
2. Transformación del porcentaje panadero a porcentaje absoluto en la formulación y cálculo de la reducción de sodio en mg, proveniente de la sal, para ambos porcentajes de fibra estudiados.	71
3. Cálculo del porcentaje de reducción de sodio proveniente de la sal en las formulaciones reducidas respecto a su control de estímulo constante	72
4. Resultados de las variables respuesta evaluadas para pan integral de molde con dos concentraciones de fibra distintas, para el día 1 y 6 de almacenamiento.	72
5. Análisis de varianza para los tres factores evaluados y sus respectivas variables respuesta	73
6. Potencia de prueba calculada para los factores en los que no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos con respecto a las variables respuesta evaluadas.....	74
7. Información sobre la harina fuerte de trigo utilizada	75
8. Información de la harina de salvado utilizada en la formulación.....	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Materias primas utilizadas en la formulación del pan integral de molde.	29
Cuadro II. Formulación del pan integral de molde.	31
Cuadro III. Tratamientos evaluados para el estudio de las propiedades fisicoquímicas en los panes reducidos frescos y almacenados.....	36
Cuadro IV. Resultados obtenidos en la prueba de confirmación, evaluando los panes reducidos contra su respectivo pan sin reducción para cada porcentaje de fibra, utilizando una prueba de comparación pareada 2-AFC y un nivel de significancia de 5 %.	45
Cuadro V. Reducción de sal lograda con la aplicación de la DAP para el pan integral de molde con diferente porcentaje de fibra.	47
Cuadro VI. Reducción de sodio lograda en el presente estudio para dos situaciones de consumo habitual de pan integral.	49
Cuadro VII. Comparación de medias de la humedad para la interacción significativa de los factores sal*fibra.	51
Cuadro VIII. Comparación de medias de a_w del pan con salvado de trigo para cada uno de los efectos simples evaluados.	52
Cuadro IX. Comparación de medias de los parámetros de textura para cada uno de los efectos simples evaluados.	54
Cuadro X. Formulación en porcentaje absoluto para el cálculo de la reducción de sodio.	71
Cuadro XI. Valores promedio de las variables respuesta evaluadas para el pan reducido y control en el día 1 y 6 de almacenamiento.....	72
Cuadro XII. ANDEVA obtenido al evaluar los factores tiempo de almacenamiento, contenido de sal y cantidad de fibra para cada variable respuesta.....	73
Cuadro XIII. Potencia de prueba calculada para los factores que no presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza, respecto a las variables respuesta evaluadas.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribuciones de frecuencia que representan estímulos confundibles, con un enfoque de modelo Thurstoniano ilustrando la prueba de comparación por pares (Angulo & O'Mahony, 2009).	24
Figura 2. Esquema resumen de la metodología empleada en la investigación.	30
Figura 3. Proceso de elaboración de pan integral de molde.	32
Figura 4. Compresión de la muestra de pan integral de molde, utilizando el analizador de textura TA. TXPlus.....	40
Figura 5. Paquetes entregados al panelista para la realización del panel sensorial en casa.	41
.....	42
Figura 6. Presentación obtenida por el panelista una vez colocadas las muestras según el orden en que debe probar siguiendo las instrucciones de preparación brindadas.	42
Figura 7. Relación entre el porcentaje de panelistas que seleccionaron la muestra diferente como la más salada que el estímulo constante, respecto a la concentración de sal en las diferentes muestras de pan con 10 % fibra.	43
Figura 8. Relación entre el porcentaje de panelistas que seleccionaron la muestra diferente como la más salada que el estímulo constante, respecto a la concentración de sal en las diferentes muestras de pan con 6 % fibra.	44

NOMENCLATURA

AFC	Alternative Forced Choice
ANDEVA	Análisis de varianza
Aw	Actividad de agua
CITA	Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos
CO ₂	Dióxido de carbono
Cn	Concentración
° C	Grados celsius
DAP	Diferencia apenas perceptible
FDA	The United States Food and Drug Administration
g	Gramos
HR	Humedad relativa
INCIENSA	Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud
Kg	Kilogramos
LDPE	Low density polyethylene
L	Litros
min	Minutos
MEIC	Ministerio de Economía Industria y Comercio
mL	Mililitro
mg	Miligramos
mm	Milímetros
N	Newtons
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
R ²	Coefficiente de determinación
s	Segundos
*	Multiplicación
%	Porcentaje
% p/p	Porcentaje peso/peso

RESUMEN

Tencio Valverde, Rosseth

Determinación del efecto de la cantidad de fibra de salvado de trigo sobre la percepción del sabor salado de un pan integral de molde y las características fisicoquímicas del pan reducido en sodio

Proyecto de graduación de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos - San José, Costa Rica.

Tencio-Valverde, R. 2021.

90h. 8 il. 104refs.

Se estudió la máxima reducción de sal, que se puede realizar sin que sea perceptible por los consumidores, en pan integral de molde con 6 % y con 10 % de fibra de salvado de trigo. Para realizar la determinación se utilizó la prueba sensorial de umbrales. Adicionalmente se evaluó el efecto de la reducción de sal, con los panes reducidos en sal obtenidos y un pan sin reducción, se determinaron las características fisicoquímicas del pan fresco y almacenado por 6 días.

La diferencia apenas perceptible (DAP) fue de 0,33 % para el pan con 10 % fibra de salvado, mientras que para el pan con 6 % fue de 0,28 %. El pan con 10 % de fibra de salvado se redujo a 1,53 % de sal y el de 6 % fibra se redujo a 1,58 % de sal. Estos panes reducidos fueron comparados en una prueba de diferencia respecto al pan sin reducción (1,8 % de sal) para validarlos. Se encontró que los consumidores lograron apenas percibir la diferencia, se obtuvo un valor de d' de 0,58 que indica la dificultad para los panelistas de percibir la diferencia, es decir, aunque los consumidores perciben la diferencia al probar los panes juntos, al probarlos en forma separada no podrían distinguirlos, porque el valor de d' es menor a 1.

Se encontró que el volumen específico del pan no se ve afectado por el tiempo de almacenamiento, reducción de sal ni cantidad de fibra. La reducción de sodio no tuvo efecto en los parámetros de textura del pan, solamente en su a_w . En cuanto al almacenamiento, para el día 6 se obtuvo un pan menos húmedo, con menor a_w y menos cohesivo, con respecto al pan fresco. La adición de una mayor cantidad de fibra solamente afectó la elasticidad del pan, ya que se obtuvo una menor elasticidad en el pan con 10 % fibra de salvado.

La reducción de sal para el pan con 10 % fibra fue de 15 %, logrando la meta de la industria alimentaria costarricense de disminuir 15 % de sal en los alimentos procesados al 2021, mientras que para el pan con 6 % de fibra la reducción de sal fue de 12 %.

Se comprobó estadísticamente que la reducción de sal propuesta provoca cambios sensoriales y fisicoquímicos mínimos en el pan, por lo que es una buena recomendación para la industria alimentaria aplicar un nivel de reducción de hasta un 15 % en el pan con 10 % de fibra y un 12 % en el pan con 6 % de fibra.

DAP; PAN CON FIBRA; SALVADO DE TRIGO; REDUCCIÓN DE SODIO.
Yorleny Araya Quesada.

1. JUSTIFICACIÓN

La hipertensión arterial (HTA) es el factor de riesgo más importante de las enfermedades cardiovasculares (ECV), principal causa de muerte y discapacidad a nivel mundial (Montero *et al.*, 2015). La Organización Mundial para la Salud (OMS) señala las cardiopatías como la principal causa de muerte al 2019 (OMS, 2020). Dentro de las principales consecuencias de la hipertensión arterial se encuentran endurecimiento de las arterias, agrandamiento del corazón, daño renal, daño ocular, disfunción eréctil, pérdida de memoria y acumulación de líquido en los pulmones. Un exceso de sal en la dieta es el responsable de la hipertensión en un 30 % de los casos (Blanco *et al.* 2014). Se estima que cada año en Costa Rica mueren 5900 personas por enfermedades cardiovasculares. Además, la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) de nuestro país gastó, solamente para 2017, un monto de ¢78 898 millones en la atención de enfermedades cardiovasculares (CCSS, 2018).

Muchos países han optado por crear planes con metas de reducción del consumo de sodio en sus habitantes en un plazo definido. Buscando alcanzar el consumo recomendado por la OMS, Costa Rica ha creado un Plan Nacional de Reducción de consumo de sodio 2011-2021, donde se propone la reducción bajo tres pilares fundamentales que son: reformulación de alimentos, concientización al consumidor y cambios ambientales (OPS, 2011). En cuanto al cambio en la composición de los alimentos, se debe aplicar ya sea, legislación a las industrias de alimentos, o bien negociaciones con el fin de lograr reducir el contenido de sodio en los alimentos y lograr el cumplimiento en cuanto al etiquetado respecto a este micronutriente.

En Costa Rica, el consumo aparente de sal proveniente de todas las fuentes es mayor a los 5 g/ persona/ día recomendados por la OMS. Se estima que el consumo proveniente solamente de la sal de mesa es de 7 g/ persona/ día. No se conoce realmente el aporte de sal consumida contenida en los alimentos procesados (OPS, 2011). Alrededor del 60 % de sal proviene de la sal de mesa, es decir que 40 % provendría de los alimentos industrializados (INCIENSA, 2016).

El valor diario (VD) de consumo para el sodio es menos de 2300 mg al día. Se considera que un alimento es bajo en sodio cuando su contenido por porción es menor o igual a un 5 % del VD y un alimento con un contenido de 20 % o más del VD por ración es considerado un aporte alto de sodio (FDA, 2018).

Los panes y los productos de panadería representan la categoría principal en la que varios países de las Américas han establecido metas de reducción de sodio. Existen distintos productos que cuentan con un mayor contenido de sodio, como es el caso de los *snacks*, sin embargo, el alto consumo de panes es el que hace el mayor aporte de sodio a la dieta de la población (Montero *et al.* 2015). De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2013, en nuestro país los panes y cereales representan el subgrupo de alimentos de mayor consumo de los costarricenses, representan un 23 % del total de gasto en alimentos (Gómez & Quesada, 2018).

Existen distintos beneficios asociados al consumo de pan integral. Sin embargo, en la zona urbana del país, el pan blanco es más gustado. El consumo promedio de pan blanco es de 101 g/ persona/ día, mientras que el promedio de consumo de pan integral es de 92,3 g/ persona/ día (Gómez & Quesada, 2018).

En Costa Rica, el contenido de sodio para el pan blanco de molde industrial se reporta alrededor de 617 - 620 mg/100 g, y entre 697 - 744 mg/100 g para el pan integral de molde industrial (Montero *et al.*, 2015). Estos datos comprueban que ambos productos presentan un aporte importante de sodio; sin embargo, es mayor en el caso del pan integral, evidenciando la necesaria reforma en su producción para contribuir con el Plan Nacional de Reducción del Consumo de Sodio.

Las guías alimentarias, para conseguir una alimentación correcta, establecen como aconsejable consumir tres o más raciones de cereales integrales de grano completo al día (Ortega *et al.* 2015). El pan integral puede aportar hasta un 20 % de fibra, representa un bajo aporte de grasa y es fuente de vitaminas B1, B6, niacina y minerales como el hierro, magnesio y zinc. El consumo de pan integral brinda diversos beneficios al consumidor, como son la reducción del riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, resistencia a la insulina,

sobrepeso u obesidad y cáncer colorrectal (Gómez & Quesada, 2018). Sin embargo, el alto contenido de sodio en este tipo de productos podría estar contrarrestando los beneficios a la salud que se asocian con su consumo.

El sabor salado es muy apreciado por muchos y se considera como uno de los cinco sabores básicos. En el aspecto sensorial, la importancia de la adición de sal a los alimentos radica en que el sodio suprime los sabores amargos mejorando el sabor general del alimento y potencia el de otros componentes del alimento (Ramírez *et al.*, 2017). Debido a lo anterior, en la mayoría de los casos se encuentra un mayor contenido de sodio en los panes integrales con respecto al pan blanco, por lo que sus beneficios se pueden ver afectados, más aún si se toma en cuenta que está dirigido a un segmento de la población que se encuentra en búsqueda de cuidar su salud. El alto contenido de sodio en panes integrales es un tema de alta preocupación en otras latitudes; por ejemplo, un estudio realizado en los municipios de Bijelina, Zvornik y Sarajevo, en Bosnia y Herzegovina, encontró que la población que consume pan de trigo integral a diario, podría estar en riesgo de enfermedades cardiovasculares, según las recomendaciones de consumo de la OMS, debido al alto contenido de sodio presente en este producto (Vukić *et al.*, 2013).

En cuanto a la ingesta de fibra, la recomendación de consumo para una persona adulta se encuentra entre 25 g y 38 g/ día, en la actualidad la media de consumo en Estados Unidos, por ejemplo, ronda los 12 - 19 g/ día (Vilcanqui & Vílchez, 2017). Esto refleja la necesidad de incrementar el contenido de fibra en la producción de alimentos, y esta puede ser adicionada de diferentes fuentes y en diferentes formas.

El salvado de trigo presenta un contenido de fibra total de 35,7- 53,4 g/100 g, y contiene celulosa, hemicelulosa, lignina y arabinoxilanos, presenta un importante contenido de proteína (9,9 - 18,6 % p/p), lípidos (5 - 6,3 % p/p) y de cenizas (5,7 - 6,5 % p/p), tiene minerales como magnesio, fósforo, potasio, calcio y sodio (Chaquilla *et al.*, 2018).

La diferente composición química de los ingredientes de un alimento podría generar diferencias en la percepción del sabor salado, es por esto que resulta interesante estudiar si al utilizar dos cantidades diferentes de esta fibra se obtiene una diferencia en la percepción del

sabor salado de los panes. La fibra de salvado es oscura por lo que el pan se oscurece y se imparten sabores (Pascqualone *et al.*, 2019). Por ejemplo, se ha relacionado la disminución en el contenido de grasa de un alimento con una reducción del sabor salado (Villareal, 2014). También, cantidad de fibra, lípidos, proteína, se asocia con una variación en la textura del pan, y debe tomarse en cuenta como parámetro de calidad del pan ya que después del sabor, la textura es el segundo factor que más se considera por los consumidores al seleccionar un producto horneado (Lezama, 2015). Debido a lo anterior, la textura junto con otros parámetros fisicoquímicos como humedad, actividad de agua (A_w), volumen específico son pruebas de calidad para el pan integral reducido en sodio tanto fresco como almacenado que se pretenden analizar.

Se han realizado diferentes estudios sobre la reducción de sodio en pan. Benavidez (2017) encontró la máxima reducción de sodio proveniente de la sal en pan blanco de molde que es aceptada por los consumidores, así como los efectos de la reducción sobre las características fisicoquímicas y reológicas del producto en el almacenamiento. También, Leandro (2019) estudió el efecto del uso de un mejorador panario, gomas y potenciadores de sabor sobre la percepción del sabor salado de un pan blanco de molde. Debido a que la reducción de sodio es diferente dependiendo de la matriz alimentaria, se pretende con el presente proyecto determinar el efecto del contenido de fibra sobre la percepción del sabor salado, utilizando dos porcentajes de fibra distintos debido a que esto genera un importante cambio en la matriz alimentaria, y encontrar la formulación que permita una mayor reducción de sodio sin que sea perceptible por el consumidor.

La reducción gradual del contenido de sodio en los alimentos permite alcanzar concentraciones bastante menores en el porcentaje de sal sin que sean perceptibles por los consumidores para que no se vea afectada la elección del producto (Quitral *et al.*, 2015). Es por eso que el presente estudio se basa en la prueba sensorial de umbrales para establecer la reducción de sodio en el pan integral. El obtener un pan alto en fibra, y reducido en sodio, es una propuesta innovadora que podría aportar valor a la industria de la panificación en Costa Rica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de dos cantidades de fibra de salvado de trigo sobre la percepción del sabor salado del pan integral de molde y las características fisicoquímicas de un pan integral de molde reducido en sodio en dos tiempos de almacenamiento.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Encontrar la máxima reducción de sodio proveniente de la sal que no es perceptible por el consumidor en pan integral de molde con dos concentraciones de fibra de salvado de trigo, utilizando la prueba sensorial de umbrales.

2.2.2 Determinar el efecto del contenido de fibra sobre el cambio en las distintas características fisicoquímicas para un pan integral reducido en sodio, en dos tiempos de almacenamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Reducción del consumo de sodio: situación a nivel nacional y en otros países; estrategias de reducción

La Estrategia sobre Régimen Alimentario, Actividad Física y Salud de la OMS establece que los factores determinantes para las enfermedades no transmisibles son en gran medida los mismos: mayor consumo de alimentos hipercalóricos poco nutritivos con alto contenido de grasas, azúcares y sal; menor actividad física y consumo de tabaco. La Estrategia recomienda reducir el consumo de sal de toda procedencia y consumir la sal yodada. Como medida de apoyo a esta estrategia, el *Codex Alimentarius* estableció como obligatorio incluir en el etiquetado nutricional de los productos el contenido de sodio (Montero *et al.*, 2015).

El sodio es el catión extracelular más abundante en el organismo humano y ejerce un papel clave en la comunicación celular, regulando el potencial eléctrico de las membranas plasmáticas y la presión osmótica. Además, este mineral determina el balance hídrico y electrolítico y mantiene el volumen sanguíneo; funciones relacionadas con la regulación de la presión arterial (Gaitán *et al.*, 2015).

En la actualidad, la ingesta de sodio a nivel mundial excede notablemente las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud de 2 g/día y es ingerido principalmente por medio de alimentos procesados o con sal adicionada en la cocción casera (77 %) y alimentos que naturalmente contienen este mineral (11,6 %). El alto consumo de sodio es una situación preocupante debido a que por cada 2,3 g/día de aumento en el consumo se espera un aumento de 4,5 y 2,3 mmHg en presión arterial sistólica (PAS) y de presión arterial diastólica (PAD) respectivamente. Y en el caso de la población mayor a los 40 años de edad podría presentarse un efecto aún mayor, con aumentos de 7,0 mmHg PAS y 4,0 mmHg PAD (Gaitán *et al.*, 2015). La hipertensión arterial, asociada en la mayoría de los casos a un elevado consumo de sodio, es la patología de mayor incidencia y prevalencia a nivel mundial y constituye una de las principales causas de enfermedad cardiovascular (Rukavina, 2017).

Debido a lo anterior y al tener en cuenta la buena relación costo-efectividad de la reducción de consumo de sal, varios países han implementado medidas nacionales para disminuir la ingesta en la población o bien se han unido a programas globales de reducción. Algunos países han realizado grandes esfuerzos para lograr una reducción y con esta la mejora en la salud, como es el caso de Reino Unido, que hace más de 50 años empezó a realizar acciones para reducir el consumo de sal, creando la Acción de Consenso Sobre Sal y Salud (CASH) por sus siglas en inglés, que tiene como fin interactuar con la industria alimentaria para reducir el contenido de sal de los alimentos procesados, educar a la población, informar al gobierno sobre evidencia disponible de los riesgos de la sal. En Estados Unidos por otra parte, se ha trabajado en etiquetado obligatorio de contenido de sodio en los alimentos, reducción voluntaria de sal por parte de la industria, además la Asociación Americana del Corazón (AHA por sus siglas en inglés), colabora informando a la población sobre las fuentes de sodio en los alimentos, cómo interpretar el etiquetado, equivalencias de gramos de sodio en sal y recomendaciones para reducir el sodio en la dieta (Valenzuela & Atalah, 2011).

En el caso de Costa Rica, se encuentra en implementación el Plan Nacional de Reducción de consumo de sodio 2011-2021, este plan propone la reformulación de alimentos, concientización al consumidor y los cambios ambientales como los tres pilares para lograr una efectiva reducción del mineral. En cuanto a la concientización, se ha evidenciado vacíos de conocimiento en la población costarricense sobre este tema, por lo que la educación es fundamental para lograr un cambio en la dieta de las personas. En Costa Rica 64,6 % de las personas adultas mayores de 20 años tienen problemas de presión arterial elevada, 37,8 % son hipertensos y 26,8 % son pre hipertensos (Heredia *et al.*, 2014). En el quinquenio de 2014-2018 la incidencia de hipertensión en adultos de más de 40 años representó casi el 75 % de los casos (Ministerio de Salud, 2019). A pesar de la situación, un estudio realizado a cuatrocientas personas, de clase media dividida en tres sustratos (alto, medio y bajo) de entre cuarenta y cincuenta y cinco años de edad demostró que el 70 % no presentó conocimiento de la relación entre la sal y el sodio, además, presentaron un conocimiento calificado como

medio acerca del riesgo del consumo excesivo de sal/sodio y de los beneficios de la disminución de su ingesta (Heredia *et al.*, 2014).

En cuanto al papel de la industria alimentaria de Costa Rica para la reducción del consumo de sodio se han creado lazos, como es el caso de la alianza entre el Ministerio de Salud de Costa Rica y la Cámara Costarricense de la Industria Alimentaria, que busca implementar acciones y fomentar estilos de vida saludables, asociados particularmente al consumo moderado de sodio, que incluyan una alimentación saludable y equilibrada. Uno de los avances que se obtuvo con la negociación es la "Estrategia Nacional Abordaje Integral de las Enfermedades Crónicas No Transmisibles y Obesidad 2014-2021", en la que acuerdan la meta de "reducción relativa del 15 % de la ingesta diaria promedio de sal/sodio de la población" mediante diversas acciones estratégicas, entre las que figura la negociación con la industria alimentaria, con la que se pretende la reducción de este mineral en los alimentos procesados para consumo de la población (CACIA, 2016).

Al reducir sodio en la reformulación de alimentos, ha sido útil enfocarse en aquellos que constituyen las principales fuentes de sodio y que están incluidos en la alimentación diaria de la población. Debido a que el pan es uno de los principales alimentos en Costa Rica, su reducción es clave para lograr las metas de consumo establecidas por las organizaciones de salud internacionales. Esto mismo ocurre en otros países de América, por ejemplo, en Estados Unidos el pan aporta un 44 % del sodio de la dieta y en Canadá es el alimento que más aporta sodio a la dieta debido a que a pesar de que no contiene elevadas cantidades de sodio su consumo es muy elevado (Guillén & Picado, 2013).

3.2. Generalidades del pan: algo de historia y los países de mayor consumo

Cuando se habla de la historia de la humanidad, es indispensable referirse al trigo y al pan como uno de los principales alimentos. Aunque ha sido determinado que el hombre utilizó el trigo hace más de 11000 años para su alimentación, los primeros panes se hallan en el Neolítico y su antigüedad es de entre 6000 y 9000 años (Gil & Serra, 2010). Los primeros panes fueron elaborados como una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados y cocidos, sobre piedras planas y calientes. Años después, en Egipto se

desarrollan los primeros panes fermentados, gracias a que se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a nueva masa de harina generaba un pan más ligero y de mejor gusto (Mesas & Alegre, 2002).

El pan ha sido considerado desde el principio el mejor aliado de muchas civilizaciones para combatir el hambre y su importancia es tal que incluso en la actualidad la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO) basa su logo en una espiga de trigo y el lema “Fiat panis” que significa “Hágase el pan” y representa el objetivo de la organización de luchar por un mundo sin hambre (Gil & Serra, 2010).

Debido a su simplicidad y versatilidad, el consumo de pan en diferentes momentos del día y cada día de la semana hace que sea uno de los productos con mayor consumo. A nivel mundial, Turquía es el país donde más pan per cápita se consume, con 104 kilos/año. En el extremo contrario, los consumos más bajos se localizan en Asia, debido a que el arroz es el principal alimento para la población, desplazando de la dieta los productos de panificación. En España, durante el año 2015, los hogares consumieron 1.567,9 millones de kilos de pan (35,1 kilos per cápita) y gastaron 3.781,8 millones de euros en esta familia de productos (Marqués, 2016).

En América Latina el consumo de pan es muy elevado, los diez países que encabezan el consumo de pan en la región ingieren conjuntamente más de 430 Kg /persona /año, donde los principales consumidores son Chile con 98 Kg per cápita (segundo consumidor a nivel mundial) y Argentina con 83 Kg per cápita. Costa Rica por su parte tiene un consumo per cápita de pan de 52 Kg aproximadamente (Banco Mundial, 2013). El consumo de algunos grupos de alimentos fue estudiado por Guevara *et al.* (2019) para la población urbana costarricense de entre 15 y 65 años de edad, resultando que el promedio diario de consumo para la categoría “panes y tortillas” fue de 56,08 g, lo que equivale a dos rebanadas de pan de molde. En el estudio se evaluó las tendencias de consumo en los diferentes tiempos de comida durante el día, resultando que, en el desayuno, los alimentos más consumidos fueron café y panes, y en la merienda de la tarde café, panes, repostería y postres. También se encontró que, se consume más café y pan a mayor edad de los participantes en el estudio.

Las materias primas utilizadas para la elaboración del pan son las que van a conllevar a la clasificación del mismo. Los ingredientes base para la elaboración de pan son harina, agua, levadura y sal, por lo que los panes elaborados con estos ingredientes corresponden a la categoría de panes comunes, conforme se eliminan estos componentes o se añaden componentes nuevos se da paso a la elaboración de los panes especiales (Mesas & Alegre, 2002). A nivel de normativa costarricense el pan blanco común es el producto que se prepara con harina blanca de trigo (extracción máxima 75 %), a través de la elaboración de una masa pesada, formada, fermentada y cocinada; mientras que la denominación de pan integral hace referencia al producto fabricado de forma tal que mínimo un 90 % de la cantidad total de los productos molidos usados sea harina integral (MEIC, 1993).

3.3. Tecnología del pan

3.1 Proceso de elaboración

La elaboración de pan consta de diversas técnicas, dependiendo de los países en los que se realiza, de las costumbres, y de los gustos diversos de la población. Con el transcurso de los años se han conseguido mejoras en la textura, sabor más agradable, mayor conservación, todo con el fin de producir panes de mayor calidad (Ma-Seoane, 1997). Dentro de las principales etapas en la elaboración de pan integral de molde se encuentran: pesado de materias primas, mezclado, reposo, formado y boleado, moldeado, fermentación, horneado/cocción y enfriamiento.

El primer paso para la elaboración del pan es preparar una formulación, de acuerdo con las especificaciones que se requiere que cumpla el producto final. Los insumos son expresados en porcentaje panadero al cien por ciento de la harina o en el caso del pan integral al 100 % de la mezcla de harina y salvado de trigo, los demás ingredientes adicionados a la masa panaria se expresan como un porcentaje por peso de esa cantidad total (Cerón *et al.*, 2011).

En la etapa de pesado, los principales desafíos son evitar los cuellos de botella, ya que suele ser la etapa que requiere un mayor tiempo, también es fundamental la planificación

y control para evitar equivocaciones en cantidades de materia prima (Flecha, 2015). Posterior al pesado se pasa a la operación de mezclado, que suele realizarse en varias etapas, inicialmente se realiza un mezclado de los ingredientes secos para obtener una mejor dispersión entre estos, en el segundo mezclado se adiciona el agua, permitiendo que se hidraten los ingredientes, principalmente las proteínas y el almidón. El mezclado continúa para lograr homogenizar los ingredientes, también, con la hidratación de las gluteninas y gliadinas se inicia en esta operación la formación del enrejado de gluten, con ayuda de la acción mecánica de la batidora, formándose una estructura tridimensional viscoelástica que va a permitir la incorporación de aire a la masa (Mesas & Alegre, 2002).

Luego del mezclado, se procede a amasar la masa panaria, con el fin de completar el mezclado de los ingredientes y conseguir las características plásticas de la masa, así como su completa oxigenación. Posterior al amasado, se divide y pesa la masa para obtener las piezas del tamaño deseado. Las piezas se pasan a un boleado, se generan pequeños fragmentos de masa en forma de bola con el fin de reconstruir la estructura de la masa después de la división, puede realizarse a mano, si es baja producción o panes artesanales o mediante boleadores industriales (Mesas & Alegre, 2002).

El tiempo de reposo después del amasado es importante para obtener panes con buena miga, de buen tamaño y de excelente presentación. Si se emplea el tiempo adecuado de reposo para cada masa se obtiene mayor tolerancia de la masa, mayor volumen, mejor alveolo, aumento del aroma y sabor, proporciona una corteza más fina y crujiente, se mejora la consistencia de la miga y la forma del producto final (Gómez *et al.*, 2006).

La fermentación panaria es la hinchazón de la masa que posteriormente permitirá la obtención de un pan alveolado, esponjoso y ligero; todo esto se debe a la producción de gas en el interior de la masa, es la etapa de panificación con mayor influencia sobre el sabor y el aroma del pan (Flecha, 2015). La levadura es la responsable de la fermentación alcohólica, que es la generación de CO₂ y etanol a partir de la ruptura de los azúcares, el etanol producido es liberado de la masa panaria en el horneado. Otras bacterias presentes actúan durante la fermentación dando los productos secundarios que confieren al pan las características sensoriales esperadas, como cierta acidez (Mesas & Alegre, 2002).

La última etapa de la elaboración de pan es donde aparecen los cambios más significativos en su estructura. Con la cocción se aumenta el volumen de la masa y se forma la costra superficial. En esta etapa de horneado se da la transformación de la masa fermentada en pan, se evapora todo el etanol producido en la fermentación, se evapora una parte del agua contenida en el pan, se da la coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y pardeamiento de la corteza. La cocción se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 220 a los 260 °C, aunque el interior de la masa nunca llega a rebasar los 100 °C (Mesas & alegre, 2002).

Por último, es muy importante tomar en cuenta la etapa de enfriamiento, ya que esta permite conservar el máximo tiempo posible la calidad del pan desde el final de su cocción hasta el consumo. Al sacar el pan del horno y entrar este en contacto con el ambiente se genera la migración del agua, alcohol y gas carbónico del interior del mismo hacia el medio exterior, a través de la corteza, es importante que este proceso se realice con condiciones de humedad ambiental y temperatura controladas para lograr una mayor conservación de las características del pan (Flecha, 2015). Posterior a esta etapa, se puede proceder a empacar el pan.

3.2 Ingredientes utilizados en la elaboración de pan de molde integral y su función.

Los principales ingredientes para elaborar un pan integral de molde son harina integral, agua, levadura y sal. Sin embargo, son muchos los ingredientes que se permite añadir a este tipo de productos para obtener distintos beneficios en el proceso de producción y en la calidad del producto final.

La harina panificable es una harina fuerte, es decir contiene aproximadamente un 14 % de proteína, casi 5 % más que una harina débil. Una de las principales características de este tipo de harina es que contiene alto porcentaje de gluten, que representa un 85 % de las proteínas del trigo y es el responsable de la elasticidad de la masa de harina, permite su fermentación y otorga la esponjosidad de las masas horneadas. Por otra parte, la harina integral utilizada para elaborar el pan integral es el resultado de moler el grano de trigo entero, conservando los componentes de sus capas externas, lo que le confiere un alto porcentaje de

minerales como magnesio, hierro, potasio y también un alto contenido de fibra, ese resultado es la principal diferencia de esta con la harina blanca utilizada para la elaboración del pan blanco, sin embargo este tipo de harina, por su menor contenido de gluten podría presentar dificultades para lograr ciertas características deseadas en el pan si se pretende elaborar un pan 100 % integral, por lo que industrialmente se realiza una mezcla de harina integral con harina fuerte de trigo en un porcentaje que mantenga la categoría de pan integral y permita obtener un pan de alto agrado sensorial (Tinoco, 2009). Por estandarización de materias primas o preferencia de algunos proveedores, algunas industrias elaboran la harina integral mezclando harina de trigo fuerte y salvado de trigo, cuidando que se mantenga el porcentaje de fibra para que el pan elaborado pueda ser clasificado como integral.

En cuanto a la función de la sal en la masa panaria, su principal contribución es un buen sabor del producto final, pero, además, el sodio tiene influencia en factores tecnológicos relacionados con el proceso de elaboración, ya que regula la velocidad de fermentación, al aumentar la presión osmótica en la masa panaria, lo que permite un aumento del volumen uniforme y controlado, fortalece el gluten y aumenta su resistencia, mejora la extensibilidad y elasticidad. Es por esto que la reducción de sal o no adicionar sal del todo podría generar masas panarias débiles y con menor retención de gas, lo que a su vez provoca que el pan se endurezca en un periodo de tiempo menor. La adición de sal causa cambios en las interacciones no covalentes entre las proteínas gluteninas y gliadinas induciendo a que la cadena de gluten se fortalezca mediante la estimulación de las interacciones electrostáticas entre estas dos proteínas, que forman agregados, ya que la sal interrumpe las interacciones de las dos proteínas del gluten con otras proteínas presentes en la masa panaria (Quiral *et al.*, 2015). La sal también influye en la conservación, ya que reduce la actividad de agua (a_w) del producto, inhibiendo el crecimiento microbiano y alargando la vida útil (Pflaum *et al.*, 2013).

La principal función en los productos de panificación del agua adicionada en la elaboración de la masa es que, permite la hidratación de los ingredientes secos. Esta se combina con las proteínas del trigo gliadina y glutenina para formar la red de gluten. El agua también actúa como solvente de otros ingredientes adicionados como el azúcar, es necesaria

para el proceso de gelatinización del almidón durante el horneado. Además, genera las condiciones adecuadas para el desarrollo de las levaduras. (Quintong & Tenesaca, 2013).

El último de los ingredientes esenciales para la elaboración de pan es la levadura, la utilizada para la elaboración de pan es *Saccharomyces cerevisiae*, esta es un organismo vivo que requiere ciertas condiciones y nutrimentos para una óptima actividad en la masa. Su principal función es leudar la masa, mediante la fermentación para la producción de dióxido de carbono y etanol, las enzimas de la levadura y las de la harina actúan para hidrolizar las moléculas de almidón y convertirlas en azúcares fermentables, también aporta el sabor y aroma característico del pan (Quintong & Tenesaca, 2013).

Otros ingredientes suelen adicionarse en la elaboración de pan de molde, que no forman parte de los componentes fundamentales para su formulación, pero aportan algún beneficio en el proceso o en las características sensoriales y de calidad del producto final. Por ejemplo, a pesar de que para la levadura el carbono aportado por la harina es un sustrato de fermentación, se adiciona normalmente azúcar a la masa panaria como indicador de la fermentación, además el azúcar cumple otras funciones como endulzar el pan, favorecer con el color de la cubierta debido a la caramelización durante el horneado y ayudar con la retención de agua en la miga (Rosell *et al.*, 2015).

Es común también en la elaboración de pan de molde adicionar grasa, esta presenta varios efectos como la acción plastificante, forma una fase intersticial en las paredes de las burbujas, evitando que se colapsen, tiene un efecto emulsificante, mejora la palatabilidad y extiende la vida de anaquel. Los principales beneficios de la adición de grasa son el incremento del volumen del pan y de la suavidad de la miga (Magaña *et al.*, 2014).

También, el uso de hidrocoloides y mejoradores panarios es común industrialmente, entre sus funciones se encuentran impartir características deseables en la textura, modificando la reología del pan, retardan el envejecimiento del pan, facilitan el proceso de elaboración y mejoran la calidad del producto final. También, es importante tomar en cuenta que estos ingredientes pueden interferir en la percepción del sabor salado del pan (Leandro, 2019). Es común la adición de agentes conservantes para productos de panificación, por

ejemplo, el ácido propiónico, un ácido graso de cadena corta, y sus sales, son el conservante más eficaz contra bacterias y levaduras (Mejía & Ríos, 2008).

3.3 Función de la sal en los alimentos en general y en el proceso de panificación.

En la historia de la humanidad, la sal ha tenido una enorme importancia social, económica, política, evolutiva y también como veremos, en la salud. Se utiliza como conservante, para deshidratar alimentos, para enmascarar sabores desagradables, para facilitar la retención de agua o, simplemente, mejorar el sabor del alimento (Botella *et al.*, 2015). La sal es uno de los aditivos más utilizados en las industrias alimentarias debido a su bajo costo y sus variadas propiedades. Tiene un efecto conservante y antimicrobiano como consecuencia directa de la capacidad del cloruro de sodio para reducir los valores de actividad del agua. Además, el cloruro de sodio es un potenciador del sabor como consecuencia de su efecto sobre diferentes mecanismos bioquímicos. También tiene efectos potenciadores del sabor al reducir o mejorar la actividad enzimática de algunas enzimas responsables del desarrollo de diferentes parámetros sensoriales (Albarracín *et al.*, 2011).

Son diversos los usos de la sal como ingrediente alimentario. En los productos vegetales la sal se utiliza principalmente como conservante y como agente suavizante, también para iniciar procesos de fermentación. En la industria láctea la sal es utilizada principalmente en la elaboración de quesos, para controlar el crecimiento de bacterias ácido lácticas y prevenir el crecimiento microbiano indeseable, además de proporcionar sabor, también modifica la capacidad de retención de agua de la caseína dentro de la matriz de queso y la viscosidad aparente del mismo. Por otra parte, una de las industrias donde más se utiliza la sal es en la industria cárnica, está involucrada en la retención de agua, la firmeza y el desarrollo del sabor, la mejora de la seguridad microbiológica y control de acción enzimática en los diversos productos de esta industria, para funciones similares es utilizada también la sal en industrias pesqueras (Albarracín *et al.*, 2011).

La adición de la sal como ingrediente en la panificación genera efectos tecnológicos en cada etapa del proceso. En la etapa de amasado, la sal actúa sobre la formación de la red de gluten, proporcionando a la harina un incremento de la fuerza, gracias a interacciones

iónicas entre las moléculas de sal y las proteínas de la harina. Además, con la adición de sal a la masa panaria, el gluten forma una red de fibras cortas debido a las fuerzas de atracción electrostáticas que incrementarán la tenacidad de la masa, también se logra la formación de una masa más compacta (Vila, 2013).

La sal es importante en la etapa de fermentación del pan, ya que actúa sobre la estabilidad de las levaduras, regulando la fermentación. El efecto se presenta por la acción de los iones sodio y cloro sobre la presión osmótica en la membrana semipermeable de las células de la levadura. Una disminución en la concentración de sal genera una mayor producción de CO₂. Además, por su propiedad antiséptica, la sal retrasa fermentaciones secundarias de microorganismos productores de ácido acético, butírico y láctico y disminuye la producción de CO₂ generando también una disminución de la porosidad del producto final (Lynch *et al.*, 2009).

En el proceso de horneado también la concentración de sal en la masa panaria juega un papel importante, una disminución de sal influye en la textura y el color de la corteza, debido a que se podría generar un aumento en la actividad de las levaduras, provocando una disminución de los azúcares libres disponibles para la reacción de Maillard en el proceso de cocción (Belz *et al.*, 2012).

Por otra parte, la sal influye sobre la calidad final del pan, los principales factores por los que se determina la calidad son como apariencia y forma, expresados como volumen final del pan, color, textura y conservación del producto. En el caso del volumen final, existe contradicción entre el efecto de la sal sobre esta característica del pan, ya que diferentes formas de elaboración y formulaciones podrían generar diferencias en los resultados obtenidos (Vila, 2013).

La sal también favorece la coloración de la superficie del pan y genera una corteza más crujiente en comparación con un pan reducido en sal. Esto se debe a la relación directa entre la concentración de sal y la generación de la reacción de Maillard en el horneado (Belz *et al.*, 2012) es por esto que en panes reducidos en sal se espera una corteza más blanca que en panes regulares. La textura final del pan también se ve influenciada por la concentración

de sal en la masa panaria ya que la sal es necesaria para el correcto desarrollo de la estructura tanto de la miga del pan como de la corteza; una masa muy reducida en sal podría considerarse muy densa, podría generar panes muy blandos y con mucha resistencia en la corteza, afectando la aceptación del consumidor (Lynch *et al.*, 2009).

En cuanto a la conservación, la sal disminuye la actividad de agua del producto, aumentando su vida útil y mantiene estable el crecimiento de microorganismos no deseados (Belz *et al.*, 2012). Sin embargo, el ambiente en el que se almacena el pan influye en la caducidad y el estado de conservación, debido a su capacidad para absorber agua, la sal reduce la migración de humedad del pan hacia el ambiente, lo que retrasa el secado de la corteza y endurecimiento del pan (Farahnaky & Hill, 2007). Por el contrario, si el pan se encuentra almacenado en un ambiente muy húmedo, la sal tiende a absorber la humedad ambiental, generando que el pan se ablande y disminuya su tiempo de conservación (Tejero, 1998).

4. Principales aspectos en el deterioro del pan integral.

En general, el pan es un producto de corta vida útil debido a que es muy susceptible a cambios en el sabor, pérdida de humedad de la miga y endurecimiento, también permite el crecimiento de ciertos microorganismos. En el caso del pan integral las principales características de deterioro son envejecimiento causado por retrogradación de los almidones, pérdida y redistribución del agua, interacciones gluten-almidón, alteraciones en los compuestos responsables del sabor, también un factor de disminución de la vida de anaquel de este tipo de producto es el enmohecimiento (Cruz, 2019).

El envejecimiento del pan integral se manifiesta como endurecimiento de la miga, textura fibrosa de la corteza, pérdida de agua y cambios negativos en el sabor. Se ha realizado un gran número de investigaciones con el fin de encontrar la forma de inhibir o retrasar el envejecimiento, y principalmente se recomienda el uso de aditivos como enzimas, hidrocoloides, gluten, pentosanos, mono glicéridos, surfactantes, entre otros (Luna & Bárcenas, 2011).

Una de las principales causas de envejecimiento del pan es la retrogradación de los almidones. Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrógeno. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa. Durante el horneado del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del gránulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, los restos de gránulo (ahora ricos en amilopeptina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe a la asociación de cadenas de amilopeptina dentro del gránulo, después de haber perdido parte de la amilosa (Cháves, 2018). El gel formado durante el enfriamiento del pan es retraído debido a la eliminación de agua del pan y también debido a que las cadenas de amilopeptina se reorganizan bajo una forma cristalina (Luna & Bárcenas, 2011). La retrogradación del almidón genera endurecimiento del pan, el producto se vuelve rígido y cambia su textura. En un pan fresco, el polímero ramificado tiene sus ramas completamente extendidas, mientras que en un pan duro están retrogradadas, unidas entre sí y sin el agua original (Tinoco, 2008).

En el almacenamiento del pan es común la pérdida y redistribución del agua, esta depende en gran parte del ambiente en el que está almacenado el pan, así, si el ambiente presenta una humedad relativa inferior a la actividad de agua del pan, este va a perder agua; por el contrario, en ambientes de humedad relativa alta el pan gana agua, se debe tomar en cuenta que esta situación va a depender también del tipo de empaque utilizado. A pesar de esto, en el propio pan la actividad de agua de la miga es mayor que la de la corteza luego del horneado, es por esto que el agua que se encuentra en el interior comienza a migrar hacia la superficie, por si sola la migración de la humedad de un constituyente de la miga a otro es considerada como parte del envejecimiento del pan (Cruz, 2019).

En cuanto a las interacciones gluten-almidón debidas a la formación de enlaces de hidrógeno entre el gluten y el almidón durante el horneado del pan, y que aumentan tanto en número de interacciones como en fuerza durante el almacenamiento, se considera que aumentan la dureza del pan. Con el recalentamiento del producto se logra recuperar en cierta

medida la frescura del pan debido a que los enlaces de hidrógeno y las madejas formadas entre las moléculas del polímero de almidón y el gluten son rotos (Luna & Bárcenas, 2011).

Los compuestos responsables del sabor también son alterados en el proceso de deterioro del pan integral, es común el desarrollo de sabores ácidos provenientes de la actividad microbiana en la masa, principalmente de levaduras y bacterias salvajes presentes en forma natural en la harina (Cruz, 2019). También, al utilizar harina integral, o salvado de trigo, en las formulaciones debe tomarse en cuenta que el alto contenido de grasas que contiene podría generar problemas de oxidación y rancidez, generando sabores desagradables (Rodas, 2013).

Por último, debido a sus características, el pan integral es susceptible al crecimiento de mohos. El riesgo de enmohecimiento aumenta si el pan no es manipulado de forma higiénica luego del horneado, ya que el aire es el medio para que las esporas de mohos lleguen al pan, muchas veces durante el enfriamiento, rebanado, envasado. El crecimiento de mohos en el pan depende de la temperatura, cantidad de oxígeno en el empaque y manipulación previa al empacado, también, puede acelerarse si se empaca el pan aún sin enfriar por completo (Cruz, 2019).

5. Funcionalidades de la fibra en los alimentos y efecto de la fibra en el pan: hidratación de la fibra, capacidad de retención de agua y absorción de agua, hinchamiento

La fibra alimentaria consiste en el residuo vegetal no digerible, que incluye polisacáridos no almidonosos y lignina. La fibra posee una serie de propiedades fisicoquímicas que explican los efectos fisiológicos que se le atribuyen (Estofanero, 2016). Rodas (2013) afirma que además de celulosa, hemicelulosa, lignina, ceras, cutina, gomas, pectinas y oligosacáridos, la fibra alimentaria contiene también almidón resistente, que puede resistir a la digestión en el intestino delgado y llegar intacto al intestino grueso. Dentro de las características funcionales de la fibra se encuentran: beneficios a la salud, capacidad de retención de agua, capacidad de sustitución de grasas, agente texturizante, entre otros, es por esta razón que se utiliza ampliamente en la industria alimentaria (Estofanero, 2016).

Algunos ejemplos del uso de fibra de trigo en la industria alimentaria son: En la industria cárnica la fibra de trigo es adicionada como extensor en el producto para reducir costos, aumentar rendimiento, sustituir grasas, por su acción sinérgica con otros ingredientes y para enriquecer el producto con fibra (Concha, 2016). En la industria láctea es también utilizada la fibra, como antiapelmazante en quesos (Terrones, 2019), en la elaboración de yogurt para reducir costos de producción y por su característica prebiótica (Zambrano, 2008). En mayonesas se agrega fibra de trigo como una manera de reducir los costos de producción, así como el aporte calórico debido a la sustitución de grasas (Valenzuela, 2010). Muchos más alimentos son elaborados utilizando fibras, debido a su aporte en reducción de costos en algunos casos, por un beneficio para la salud, o bien por mejoras tecnológicas en el procesamiento.

En el caso de la industria de panificación, la adición de fibra de trigo, es un factor que podría generar cambios en las propiedades reológicas del pan. Los parámetros reológicos más importantes para la evaluación de la calidad de una masa para pan son tenacidad, la cual se relaciona con la resistencia a la deformación, extensibilidad, que es la propiedad de la masa de recuperar su forma y la extensión ante una acción mecánica, plasticidad, que determina la facilidad con que la masa puede tomar una nueva forma y fuerza, que se relaciona con la energía de deformación (Pérez & García, 2013). Es por esto que es de suma importancia realizar pruebas sobre la cantidad de fibra a adicionar que permita mantener estos parámetros en un rango para la obtención de un producto aceptable sensorialmente, también se debe considerar la composición de dicha fibra para evaluar posibles interacciones entre sus componentes y el efecto de estas en la masa panaria o bien en el producto final.

En este tipo de industria se utiliza mayormente el salvado de trigo como fuente de fibra para la elaboración de diversos tipos de pan integral. El salvado, es la cascarilla propia de la semilla de trigo, no es significativo su aporte en el sabor de los productos elaborados, pero sí aporta muchos beneficios para el organismo, ya que por su alto contenido de fibra ayuda con los problemas de estreñimiento, mala digestión, colesterol elevado, sobrepeso y diabetes (Chaca, 2007). El salvado de trigo posee un alto valor nutricional debido a que contiene la mayor parte de las vitaminas y minerales del grano de trigo. En cuanto a su

contenido de gluten, este varía de 0,5 % a 1 %, por lo que su elasticidad es muy baja y comúnmente es utilizado en mezclas con harina fuerte de trigo para obtener los mejores resultados en un pan (Chaca, 2007).

6. Generalidades del análisis sensorial

6.1 Percepción del sabor salado

Los seres humanos tienen la capacidad de percibir cinco sabores diferentes: dulce, umami, ácido, salado y amargo. Para el correcto funcionamiento de los mecanismos del sentido del gusto es necesario que se active un conjunto de células llamadas células receptoras del gusto. Estas células están organizadas en papilas gustativas y tienen receptores que permiten detectar múltiples modalidades de sabor. La percepción del sabor tiene funciones como mediar el apetito, regular la ingesta de energía, sales, proteínas; advierten también contra el consumo de sustancias tóxicas y en algunos casos determinan nuestras preferencias alimentarias. Las células receptoras del sabor están organizadas en grupos de 50 a 100 dentro de una estructura llamada botón gustativo, este a su vez tiene tres tipos de células morfológicamente distinguibles, las tipo I que presentan corrientes iónicas implicadas en la transducción del sabor salado, células tipo II que poseen receptores para la transducción del sabor dulce, amargo y umami y células tipo III que median la transducción del sabor ácido; hay un cuarto tipo de célula en los botones gustativos pero no participa en los procesos de transducción del sabor (Hernández & Días, 2019).

El sabor salado es generado por sales como el cloruro de sodio (NaCl) y los mecanismos sensibles a él son mediados por un canal selectivo de sodio conocido como ENaC (canal epitelial de sodio sensible a amilorida) (Hernández & Días, 2019). De esta forma, cuando un alimento ingresa a la boca, los componentes químicos activan los receptores del sabor, y se pasa de una señal química a una señal eléctrica que se envía a través de las fibras nerviosas a las regiones del cerebro encargadas del procesamiento gustativo (Liem *et al.*, 2011). Debido a que la percepción del sabor funciona de manera compleja en nuestro sistema sensorial, es necesario aplicar pruebas sensoriales para la correcta evaluación

del efecto del aumento o disminución de un componente en un alimento, como es el caso de la sal.

También, en lo que respecta a la percepción de los sabores, las señales visuales, como el color de un alimento, pueden modificar la percepción del sabor de un alimento al influir en las cualidades gustativas del alimento, en los atributos olfativos del alimento, en las cualidades orales-somatosensoriales del alimento, y al influir en la percepción general del sabor multisensorial (Spence *et al.*, 2010).

6.2 Técnicas de análisis sensorial

6.2.1 Pruebas sensoriales de discriminación

Las pruebas de discriminación o diferencia se utilizan para determinar si dos muestras son perceptiblemente diferentes entre sí, para realizar este tipo de prueba es necesario que la diferencia entre las muestras sea muy sutil (Angulo & O'Mahony, 2009). Las pruebas sensoriales de discriminación son comúnmente utilizadas cuando se desea realizar un cambio en la formulación de un producto y no se quiere que la diferencia entre el producto original y el modificado sea percibida. También es una prueba de gran utilidad cuando se desea crear un producto similar a otro del mercado sin que la diferencia entre ambos sea percibida por los consumidores (Ramírez, 2016).

Dentro de las pruebas de discriminación de escogencia forzada se encuentran las no direccionadas, en las que el atributo de diferenciación no es nombrado al panelista, por ejemplo, las pruebas triangulares, dúo-trío, tétrada (Sidel & Stone, 2005) y las pruebas direccionadas, por ejemplo, n- escogencia forzada alternativa (n-AFC) por sus siglas en inglés, en las que un solo atributo de interés, como la salinidad, es el que cambia y se identifica explícitamente en las instrucciones de prueba (Ennis *et al.*, 2014).

En la prueba de escogencia forzada de dos alternativas (2-AFC) a los panelistas se les presenta una muestra A y una muestra B. Se les indica a los encuestados que identifiquen la muestra con mayor intensidad del atributo especificado en la instrucción. Las dos posibles órdenes de presentación (AB y BA) se equilibran durante todo el experimento. Si se

selecciona la muestra A la respuesta se considera correcta, y la probabilidad de encontrar la respuesta correcta al azar es de $\frac{1}{2}$ (Ennis *et al.*, 2014). Por otra parte, existen dos tipos de pruebas pareadas, pruebas de una y de dos colas. Una prueba de comparación pareada es de una cola en los casos en los que se conoce de antemano que una de las dos muestras puede ser identificada como la de mayor intensidad en la característica evaluada, ya sea que se conoce la formulación o se descarta la selección de la otra porque una se preparó, por ejemplo, con más azúcar, por lo tanto, no se espera que la muestra con menos azúcar sea la más dulce. En cambio, la prueba pareada se denomina de dos colas cuando no se conoce la naturaleza de las muestras o bien aun conociéndola, se espera la selección de cualquiera de las dos muestras (Osorio, 2018). Un ejemplo de la aplicación de la prueba pareada de dos colas es cuando se realiza un tratamiento térmico a una muestra y se desconoce si este pudo variar una característica del producto, como en el caso de un refresco con adición de edulcorante al comparar muestras antes y después del tratamiento térmico para evaluar si hay un cambio en el dulzor del mismo, ya que se desconoce si se pudo aumentar o disminuir esta característica al aplicar el tratamiento (Vargas, 2015).

6.2.2 Modelo Thurstoniano de percepción sensorial.

En las pruebas de diferencia, el desempeño de los jueces varía según la prueba que se utiliza, debido a la forma en que el cerebro procesa la información que viene de los sentidos, particularmente del gusto; es por esto que, en algunas pruebas de diferencia la información se procesa de manera más eficiente que en otras, lo que provoca discrepancias en el sentido de que investigaciones lograban encontrar diferencias entre dos muestras aplicando una metodología pero no así con otra, por lo que se hizo necesario el desarrollo de modelos y teorías. El modelo Thurstoniano describe las estrategias utilizadas por el cerebro para procesar la información de acuerdo con la prueba que se esté utilizando. Este modelo es utilizado para calcular el valor de d' , que es la magnitud de la diferencia percibida entre dos estímulos (Angulo & O'Mahony, 2009).

El cálculo del índice Thurstoniano de grado de diferencia (d') se realiza a partir de la proporción de respuestas correctas obtenida en la prueba de diferencia aplicada, mediante la utilización de tablas que logran relacionar esta proporción con el parámetro de d' . La

frecuencia con la que aparecen las diferentes intensidades de la percepción de un estímulo puede representarse a través de una distribución normal de frecuencias. Al comparar dos estímulos ligeramente diferentes, las distribuciones de frecuencia se sobrepone entre sí y los estímulos serían confundibles, por el contrario, entre más separadas se presenten las dos distribuciones será más fácil la discriminación. La distancia entre las medias de cada una de las dos distribuciones constituye el parámetro de d' , una magnitud de uno en el valor de d' representa la diferencia entre dos estímulos que apenas se logran percibir como diferentes, se dice que está en el umbral de percepción. También, es importante tomar en cuenta que la distancia entre las medias se mide en unidades de desviación estándar, por lo que si la desviación estándar aumenta el valor de d' disminuye. Por ejemplo, si la desviación estándar se duplica, la unidad de medición también se duplica, entonces el valor de d' se reducirá a la mitad (Angulo & O'Mahony, 2009).

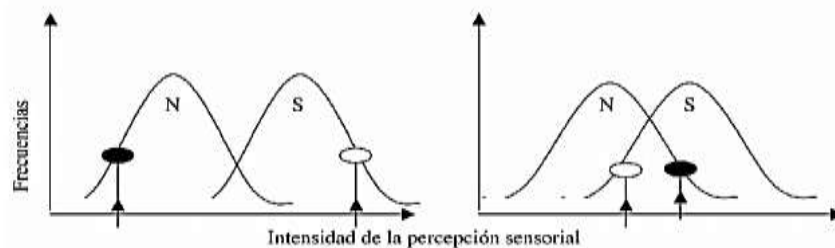


Figura 1. Distribuciones de frecuencia que representan estímulos confundibles, con un enfoque de modelo Thurstoniano ilustrando la prueba de comparación por pares (Angulo & O'Mahony, 2009).

6.2.3 Umbral sensorial y método de estímulo constante.

La implementación de iniciativas graduales de reducción de sal, como es el caso del presente estudio, requiere una reducción de la concentración que los consumidores no puedan percibir; es por esa razón que la estimación de los umbrales de diferencia puede ser una herramienta de apoyo para lograr este objetivo. La diferencia apenas perceptible (DAP), representa el punto en el que el cambio en la concentración de un estímulo comienza a notarse. Tradicionalmente, DAP se mide por el método de estímulo constante, el cual es un método de comparación contra un estímulo constante, en el que se comparan concentraciones por debajo y por encima del estímulo contra este valor constante. Se utiliza la prueba de

escogencia forzada 2- AFC y se calcula el umbral de diferencia a partir de una función psicofísica (Cubero *et al.*, 2019).

Para la aplicación de la prueba descrita anteriormente, se le solicita al panelista que, en cada par de muestras servidas, indique en cuál se presenta mayor intensidad del atributo especificado. A pesar de que se usa una prueba de discriminación, hay pares de muestras que son fácilmente distinguibles y el umbral se encontrará cerca de las pruebas 2-AFC que se confunden. Se grafica entonces el porcentaje de los jueces que escogen como la muestra con mayor intensidad del estímulo evaluado la muestra distinta al estímulo constante, en el eje Y, contra la concentración del estímulo en el eje X; esta gráfica se conoce como curva psicofísica y el umbral sensorial es un punto de esa curva (Lawless & Heymann, 2010).

Una vez obtenida la curva psicofísica, se procede a calcular la línea de mejor ajuste (lineal o logarítmica), donde se interpola la concentración del estímulo entre el 87,5 % y 62,5 % del eje Y, luego el valor obtenido se divide entre un factor de dos para obtener el umbral de diferencia apenas perceptible (DAP) como se muestra en la siguiente ecuación (McBurney & Collings, 1977):

$$DAP = \frac{(X_2 - X_1)}{2}$$

Donde:

DAP: Diferencia apenas perceptible

X₂: Concentración del estímulo a un 87,5 %

X₁: Concentración del estímulo a un 62,5 %

El valor de DAP se puede interpretar como el cambio físico mínimo necesario para que la persona pueda percibir el cambio el 50 % del tiempo (Cubero *et al.*, 2019).

7. Conceptos y fundamento de análisis fisicoquímicos

Dentro de los parámetros utilizados para la determinación de la calidad de un producto de panificación se encuentran los análisis fisicoquímicos como a_w , humedad, volumen específico y textura.

La actividad de agua (a_w) es una medida del estatus de energía del agua dentro de un sistema. Indica la forma en que el agua está ligada estructural o químicamente dentro de una sustancia. La actividad de agua es la humedad relativa del aire en equilibrio con una muestra medida en una cámara sellada. La actividad de agua además de determinar la calidad de un producto y su seguridad microbiológica, también tiene influencia sobre el color, olor, sabor, textura y vida útil de muchos productos, ya que esta puede predecir la estabilidad del producto con respecto al crecimiento microbiano, las reacciones químicas y bioquímicas que pueden ocurrir en este y sobre el comportamiento de las propiedades físicas (Mejía, 2008).

Para la medición de la actividad de agua se utiliza comúnmente el equipo AquaLab. Este equipo es un higrómetro que utiliza la técnica de punto de rocío en el espejo frío para medir el a_w , en el instrumento, la muestra es equilibrada en el espacio de cabeza de una cámara sellada que contiene un espejo y un medio de condensación en el espejo. En el punto de equilibrio, la humedad relativa del aire en la cámara es equivalente a la actividad de agua en la muestra, en el equipo, la temperatura del espejo se controla mediante un enfriador termoeléctrico. El equipo cuenta con un ventilador interno para la circulación de aire dentro de la cámara de la muestra y con esto disminuir el tiempo en que se llega a la condición de equilibrio. La detección del punto exacto en que aparece la primera condensación en el espejo se observa mediante célula fotoeléctrica, un rayo de luz es dirigido en el espejo y reflejado en una célula del fotodetector, este último censa el cambio en la reflectancia cuando la condensación ocurre en el espejo y un termopar que está conectado al espejo registra la temperatura a la cual la condensación ocurre. En este momento el equipo señala mediante un destello de luz led verde y/o una alarma de sonido el final de la determinación y en la pantalla se muestra la actividad de agua final y la temperatura de la muestra (Mejía, 2008).

La humedad consiste en la evaporación del agua libre que contiene el producto, la determinación de la humedad se determina mediante la pérdida de peso a una temperatura de 100 °C a 105 °C hasta que se mantenga en un peso constante. Las condiciones de la prueba como la temperatura exacta y el tiempo dependen del producto que se analiza. En cuanto a los valores donde se considera una humedad adecuada, se ha establecido que para el pan de molde este parámetro no debería sobrepasar un 38 % (Fierro & Jara, 2010).

El volumen específico es otro parámetro que proporciona información sobre la calidad final de un pan. Este es expresado por la relación del volumen entre la masa del producto después de horneado. Un pan con un valor de volumen específico bajo representa un producto de aspecto desagradable para el consumidor, ya que se asocia con un alto porcentaje de humedad, poca aireación y probablemente baja conservación. Por otra parte, el método más común utilizado para medir el volumen de un producto es el desplazamiento de semillas, el equipo utilizado consiste en un contenedor de volumen conocido que previamente ha sido calibrado con una semilla adecuada para la determinación, normalmente semilla de canola o de cebada perlada, en el que el producto se introduce y el desplazamiento de las semillas se relaciona con el volumen del mismo (Álvarez, 2014).

8. Perfil de textura (TPA)

La textura y la palatabilidad de los productos de panadería son atributos muy importantes y difieren de un producto a otro. En cuanto a la textura de la miga de pan, interesan las propiedades mecánicas, como firmeza y elasticidad, ya que estos parámetros suelen asociarse con características relacionadas con la palatabilidad/ masticabilidad mediante la adaptación de los fundamentales métodos físicos de análisis. El análisis de perfil de textura (TPA por sus siglas en inglés) es una técnica que trata de utilizar bases comunes para los métodos objetivos y subjetivos empleados para estimar la calidad asociada a la palatabilidad/ masticabilidad, por medio de siete descriptores (parámetros) básicos relacionados con la textura del alimento (Hernández & Osorio, 2012).

En el ensayo de TPA, un émbolo comprime una muestra de forma uniaxial y durante dos veces consecutivas, con el fin de simular el movimiento de la mandíbula durante la

masticación. Para la determinación, se coloca la muestra previamente preparada en la base y se comprime y descomprime dos veces mediante una platina adjuntada al sistema de movimiento (Talens, 2017). El análisis de la curva de fuerza-deformación brinda información para determinar los parámetros de dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad (Sánchez *et al.*, 2011).

La dureza de la miga se define como la fuerza requerida para lograr una cierta deformación en el producto y corresponde a la fuerza pico durante el primer ciclo de compresión en Newtons (N). La blandura o firmeza de la miga es uno de los factores que más se asocia a la calidad del pan, ya que se relaciona con una percepción sensorial de frescura. La cohesividad por otra parte, se define como la fuerza de los enlaces internos que conforman la estructura del producto. La cohesividad no tiene dimensiones, ya que en la curva de TPA se mide como la relación entre el área positiva bajo el segundo pico (segunda porción de la compresión) y el área bajo el primer pico (primera porción de la compresión), excluyendo las áreas bajo la porción de la descompresión en cada ciclo (Álvarez, 2014).

La elasticidad se define como la altura que el alimento recupera durante el tiempo que transcurre entre el final del primer mordisco y el inicio del segundo, por lo que se reporta su valor comúnmente en milímetros (mm) (Balestra, 2009). También, la masticabilidad es la energía requerida para masticar un producto alimenticio sólido hasta el estado en que está listo para ser tragado. En la curva de TPA producida por el texturómetro este parámetro se expresa de manera matemática como el producto de (dureza* cohesividad* elasticidad) y se mide como un trabajo (N*mm) y es importante destacar que solamente es aplicable a productos sólidos (Nollet & Toldrá, 2009).

La adhesividad de un alimento es definida como el área de la fuerza negativa para el primer mordisco, esta representa el trabajo requerido para que el cilindro se separe del alimento en Joules (J). Esta magnitud está también relacionada con el trabajo necesario para sobrepasar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y otros materiales con los que el alimento tiene contacto, como lo son boca, dientes, paladar (Balestra, 2009). La fracturabilidad por otra parte se refiere a la fuerza necesaria para provocar la fractura de la muestra, y se determina como la fuerza aplicada al causar la primera rotura en Newtons. Por

último, la gomosidad es la fuerza necesaria para desintegrar una muestra de alimento semisólida a un estado tal que facilite su ingesta y se determina por el producto de (dureza * cohesividad) en Newtons (Torres *et al.*, 2015).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del estudio

La elaboración del pan integral se realizó en el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Los análisis fisicoquímicos requeridos para la elaboración del proyecto se llevaron a cabo en el laboratorio de química de la Escuela de Tecnología de Alimentos, ambos ubicados en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. Mientras que las evaluaciones sensoriales se realizaron en las casas de habitación o lugares de trabajo de los panelistas.

4.2 Materia Prima

Para la elaboración del pan integral de molde se utilizó las materias primas que se muestran a continuación en el cuadro 1.

Cuadro 1. Materias primas utilizadas en la formulación del pan integral de molde.

Materia Prima	Marca	Ingredientes/ Composición
Harina	FHACASA	Harina fuerte de trigo.
Harina de salvado	FHACASA	Humedad (13,57 g/ 100g), cenizas (6,00 g/ 100 g), grasa (4,08 g/ 100 g), proteína (13,74 g/ 100 g), fibra dietética (49,06 g/ 100 g), carbohidratos totales (62,61 g/ 100 g), carbohidratos disponibles (13,55 g/ 100 g).
Azúcar	Doña María	Sacarosa al 99,5% mín.
Levadura instantánea	Fleischmann	Levadura para panificación (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>), emulsionante, ácido ascórbico.
Mejorador	Puratos	Harina de soya, emulsificantes, excipientes y oxidantes.
Propionato de calcio	Niacet	99% propionato de calcio.
Sal	Sal Sol	Cloruro de sodio, flúor y yodo.
Manteca	Clover	Aceite refinado de palma y T.B.H.Q. al 0,02%.

4.3 Metodología de investigación

En la figura 2 se presenta un diagrama resumen de la metodología empleada para facilitar la comprensión de la misma.

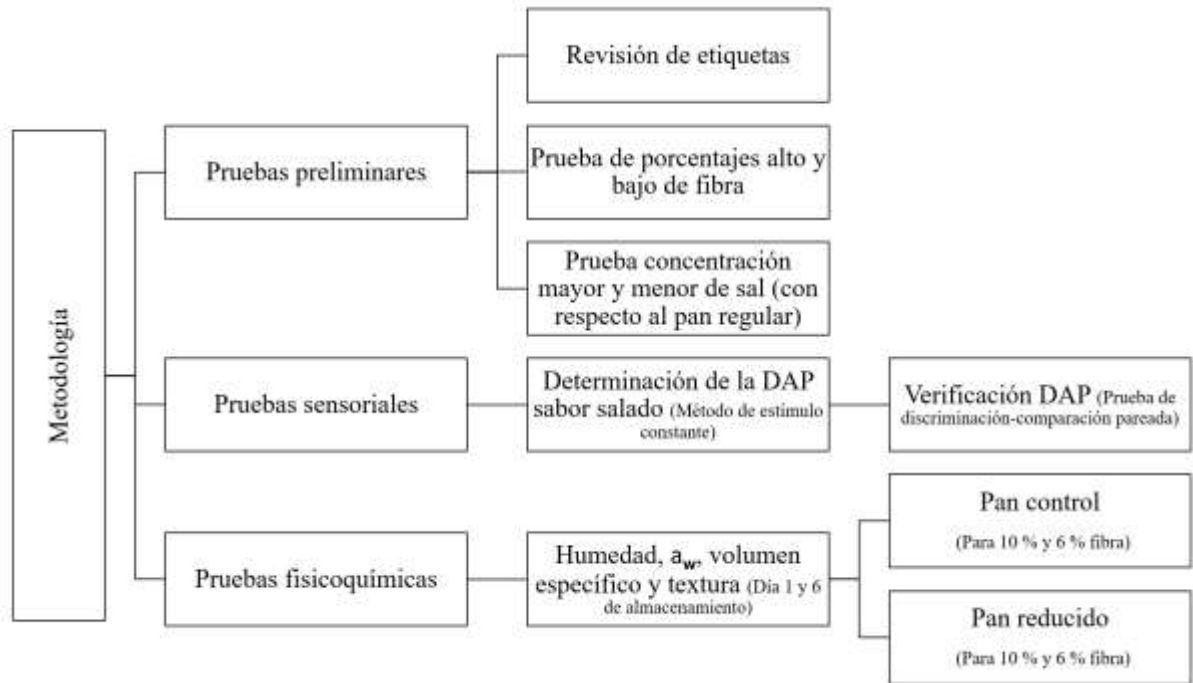


Figura 2. Esquema resumen de la metodología empleada en la investigación.

4.4 Determinación de la máxima reducción de sodio que no es perceptible por el consumidor en pan integral de molde con salvado de trigo, con dos concentraciones de fibra, utilizando la prueba sensorial de umbrales.

4.4.1 Definición de las concentraciones de fibra a utilizar en la formulación del pan integral.

Se realizó una prueba preliminar en la planta piloto del CITA, donde se formuló un pan con 90 % de harina integral de la marca Bioland, que proporcionó un pan con 9,5 % de fibra, además se realizó una formulación con 70 % de harina integral que proporcionó un pan con 3,5 % de fibra. Mediante una evaluación informal, con dos personas familiarizadas con el procesamiento de pan, se comparó visualmente el crecimiento del pan y formación de la miga, así como el sabor de los panes, ambas formulaciones se consideraron sensorialmente aceptables.

Se realizó una comparación del contenido de fibra reportado en las etiquetas de 9 panes integrales disponibles en el mercado costarricense, se encontró que los porcentajes de fibra varían de un 6,25 % a un 12 %. Considerando las pruebas antes realizadas se decidió estudiar en este proyecto dos porcentajes de fibra: 10 %, que sería un pan en los extremos altos y por las pruebas realizadas su elaboración es factible. Se utilizó además un 6 % de fibra, ya que es el valor de la moda estadística del contenido de fibra de los panes integrales disponibles en el mercado.

4.4.2 Formulación

En el cuadro II se muestra la formulación empleada para los panes de los dos porcentajes de fibra evaluados, para una masa base en porcentaje panadero de 500 g. El contenido de fibra en la harina de salvado de trigo se tomó en cuenta de modo que se alcanzara 10 % y 6 % en la formulación. El porcentaje de sal presentado es el utilizado para elaborar el pan con la concentración de sal regular (sin reducción). En las pruebas sensoriales este es el pan denominado estímulo constante y utilizado como pan sin reducción para la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del pan integral en el almacenamiento.

Cuadro II. Formulación del pan integral de molde.

Ingrediente	Pan integral con 10 % fibra de salvado de trigo*	Pan integral con 6 % fibra de salvado de trigo*
Harina fuerte de trigo (g)	398,08	438,85
Harina de salvado de trigo (g)	101,92	61,15
Azúcar (g)	20	20
Levadura seca instantánea (g)	16,5	16,5
Manteca (g)	22,5	22,5
Sal (g) **	9	9
Mejorador (g)	4,5	4,5
Propionato de calcio	1,5	1,5
Agua (g)	332,6	312,1

* Utilizando salvado de trigo industrial 49,06 % fibra dietaria.

** Este porcentaje varía para las pruebas sensoriales.

Nota: La cantidad de fibra se adiciona en la formulación de manera que sustituye la harina de trigo, de tal forma que la suma de la fibra y la harina siempre es constante en los tratamientos.

4.4.3 Proceso de elaboración del pan integral de molde

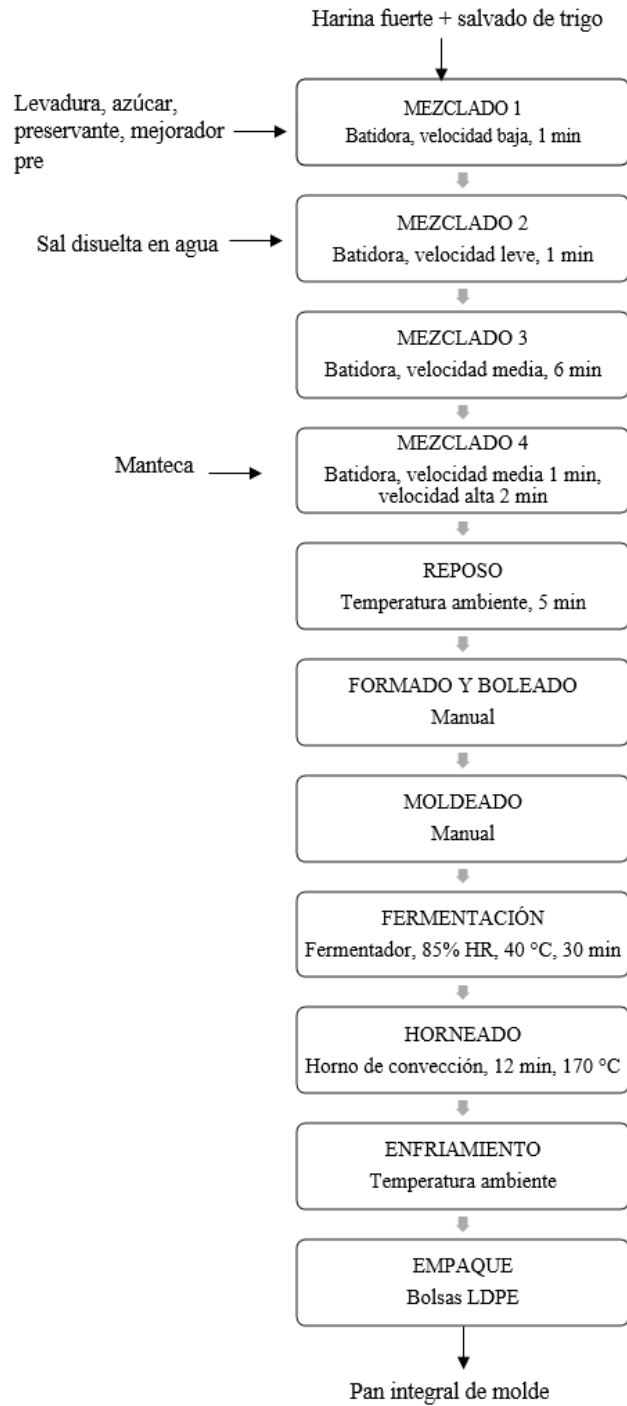


Figura 3. Proceso de elaboración de pan integral de molde.

Para la elaboración del pan integral de molde se inició con el mezclado de los ingredientes secos (harina, levadura, azúcar, propionato de calcio y mejorador panario) en una batidora Hobart. Posteriormente y manteniendo el mezclado constante como se observa en la figura 3, se agregó la sal disuelta en agua, con el fin de asegurar que esta fuera incorporada por completo y de forma homogénea en la masa, a velocidad baja, el agua con sal se mantuvo 1 día en refrigeración antes de su incorporación, para evitar un aumento de temperatura en la masa que pudiera dar inicio a la fermentación. Se continuó con el mezclado, ahora a velocidad media, hasta lograr la formación de una sola bola de masa y luego se retiró de la batidora para agregar la manteca manualmente, incorporándola poco a poco con pequeños estiramientos de la masa, posteriormente se mezcló de nuevo en la batidora, inicialmente a velocidad media y por último a velocidad alta. Luego de esto se procedió a dejar la masa en reposo a temperatura ambiente por 5 min. El proceso de mezclado se completó siguiendo los tiempos especificados en la figura 3.

Una vez desarrollada la masa se continuó con el formado y boleado de las piezas de 140 g cada una y se colocaron en moldes rectangulares de 13x9x5,5 cm. A continuación, se procedió a fermentar controlando la temperatura (40 °C), humedad relativa (85 %) y tiempo (30 min). Los moldes con la masa fermentada se colocaron en un horno de convección de marca Salva para su horneado. Concluido el periodo de horneado, los panes fueron retirados para su enfriamiento a temperatura ambiente, durante un tiempo de 40 min a 1 hora. Por último, se realizó el empaque de los mismos. Los panes destinados para el estudio de almacenamiento se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE).

4.4.4 Determinación de los contenidos de sal en pan de molde para la determinación de la DAP

Se utilizó 1,8 % de sal en la formulación como pan regular (sin reducción) basándose en investigaciones previas realizadas.

La determinación del umbral se realizó para los dos diferentes tratamientos a evaluar, con las concentraciones de sal establecidas con ayuda de las pruebas preliminares. Para esto se llevó a cabo una prueba preliminar que permitió determinar el mayor y menor porcentaje de sal a utilizar en los tratamientos para la determinación de los umbrales. Inicialmente se

probó como porcentaje menor de sal 0,4 % y como porcentaje mayor 3,5 %, tomando como referencia un estudio previo realizado por Benavidez (2017) para reducción de sodio en pan blanco de molde utilizando el método de umbral sensorial. Sin embargo, al realizar la prueba de sal, se determinó mediante una evaluación informal con 7 personas familiarizadas con la reducción de sodio en pan, que, para el pan integral de molde, el porcentaje menor de sal no era suficiente para percibir el mínimo de sal buscado para la prueba, es por esto que se decidió probar una concentración de sal inicial de 0,6 % y utilizar un factor de 1,42 en el incremento de la escala, obteniendo una concentración mayor de sal a probar de 3,5 %. Con el fin de determinar que esa escala era la adecuada, se elaboraron los panes y se aplicó la prueba 2-AFC con 9 personas, con esto se confirmó que se lograban encontrar las diferencias con los pares de menor y mayor concentración respecto al pan regular, además se determinó que la concentración menor de sal sí fue suficiente para obtener el mínimo de sal que permite percibir la muestra como un pan salado y no dulce. Se verificó en estas pruebas preliminares que el único cambio en las características sensoriales de los panes con diferentes concentraciones de sal fue el sabor salado. También, la concentración mayor de sal fue percibida como demasiado salada por los evaluadores, por lo que se decidió que la concentración más alta debía ser un poco menor, por lo que se redujo a 3,23%.

4.4.5. Determinación de la DAP por el método de estímulo constante

Con ayuda de las pruebas anteriores, entre estas muestras, con incrementos semi logarítmicos se establecieron 6 concentraciones en total, cada una de estas concentraciones se comparó contra el estímulo constante (Cubero *et al.*, 2019).

Se utilizó un factor de 1,40 para aplicar los incrementos logarítmicos que permiten obtener las concentraciones menor y mayor de sal a probar deseadas, de esta forma las seis concentraciones de sal a probar contra el estímulo constante fueron: 0,6 %, 0,84 %, 1,18 %, 1,65 %, 2,30 %, 3,23 %.

Se presentó a los panelistas seis pares correspondientes a los panes con las diferentes concentraciones de sal seleccionadas para la evaluación contra el pan sin reducción en una prueba sensorial 2-AFC y se preguntó cuál es la muestra más salada. Los resultados de la prueba permitieron construir la curva psicofísica, con la cual se logró obtener la ecuación de

la recta para calcular la diferencia apenas perceptible del sabor salado en el pan integral.

4.4.6 Prueba de confirmación

Para calcular la reducción de sal en el pan se tomó el valor de DAP como base, sabiendo que en esta reducción se sentirá apenas la diferencia y lo que se requiere es que no se sienta. Como factor de seguridad para asegurar que la diferencia no fuera percibida, se redujo levemente la DAP (Benavidez, 2017). Para cada porcentaje de fibra, se realizó una prueba de confirmación, prueba de comparación pareada (2-AFC), comparando cada uno de los panes reducidos con su respectivo pan sin reducción de sal, para determinar si los consumidores lograban percibir la diferencia entre los panes reducidos y no reducidos. Con los resultados obtenidos, haciendo uso de las tablas binomiales, se determinó si los consumidores detectaron la diferencia entre las muestras y se procedió a calcular el valor de d' (distancia entre medias de las dos distribuciones).

4.4.7 Análisis de datos

Mediante una regresión lineal, se analizó los resultados para la determinación del umbral sensorial para cada porcentaje de fibra evaluado. Para realizar la determinación se tomó como base la frecuencia con que los panelistas percibieron la muestra diferente al estímulo constante como la más salada, esta se graficó como porcentaje de panelistas que percibieron la muestra diferente como más salada que el estímulo constante contra el porcentaje de sal presente en cada muestra, en porcentaje panadero. Se interpoló los porcentajes de sal para una frecuencia de 87,5 % y una de 62,5 % y se procedió a calcular la diferencia apenas perceptible como se muestra a continuación (Lawless & Heymann, 2010):

$$DAP = \frac{\text{Porcentaje interpolado } 87,5 \% - \text{Porcentaje interpolado } 62,5 \%}{2} \quad \text{Ecuación [1]}$$

Con los resultados obtenidos de la prueba de confirmación, se realizó una prueba binomial para determinar si la diferencia percibida por los consumidores entre los tratamientos regular y reducido en sal fue significativa. También se realizó una comparación de los valores d' obtenidos para los dos tratamientos correspondientes a los panes reducidos

en sodio en la prueba de confirmación, con el fin de determinar si había un efecto del porcentaje de fibra sobre el porcentaje de reducción de sal que se puede lograr sin que lo noten los consumidores.

4.5 Determinación del efecto del contenido de fibra sobre las características fisicoquímicas de un pan integral reducido en sodio, con uno y con seis días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Se evaluó el efecto de la cantidad de fibra utilizada para la preparación del pan integral de molde, el efecto de la reducción de sodio (que corresponde a la calculada con el umbral y el factor de seguridad) y el tiempo de almacenamiento a dos niveles (1 y 6 días de almacenamiento) sobre los principales factores fisicoquímicos que afectan la calidad de un pan. Para la elaboración de los panes se utilizó la misma formulación y proceso propuestos en la sección 3.6. En el cuadro III se presentan los tratamientos para la evaluación de la cantidad de fibra y sal sobre las características fisicoquímicas del pan integral reducido en sodio con un día de almacenamiento y con seis días de almacenamiento.

4.5.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial, para tres factores con dos niveles cada uno: cantidad de fibra (6 % y 10 %), cantidad de sal (sin reducción de sal y con reducción de sal) y tiempo de almacenamiento (1 y 6 días).

Cuadro III. Tratamientos evaluados para el estudio de las propiedades fisicoquímicas en los panes reducidos frescos y almacenados.

Tratamiento	Porcentaje de fibra de trigo (%)	Cantidad de sal en la formulación	Tiempo de almacenamiento (días)
1	6	Sin reducción de sal: 1,8 %	1
2	6	Sin reducción de sal: 1,8 %	6
3	6	Con reducción de sal: 1,58 %	1
4	6	Con reducción de sal: 1,58 %	6
5	10	Sin reducción de sal: 1,8 %	1
6	10	Sin reducción de sal: 1,8 %	6
7	10	Con reducción de sal: 1,53 %	1
8	10	Con reducción de sal: 1,53 %	6

4.5.2 Pruebas realizadas

Se realizó la determinación de textura, humedad, a_w y volumen específico de los tratamientos que se describieron en el cuadro III.

4.5.3 Análisis de datos

Para estas pruebas físicas y químicas se aplicó un análisis de varianza ANDEVA para determinar si existían diferencias debidas a los factores simples en los parámetros a analizar, o si existía interacción doble significativa, utilizando un nivel de significancia de 5 %. Si se encontraban diferencias en los factores simples, se procedió a aplicar una prueba T-Student para determinar entre cuáles tratamientos se dan esas diferencias. Si se encontraba la interacción significativa, se procedió a analizar esta en lugar de los efectos simples, para lo que se utilizó la prueba de Tukey. En los casos en los que no se encontró diferencias, se procedió a calcular la potencia de la prueba, para determinar la posibilidad de que no se haya encontrado las diferencias en los parámetros, cuando sí las había.

4.5.4 Métodos de análisis

- *Pruebas fisicoquímicas*

Porcentaje de humedad

Para la medición de humedad se realizó un pre-secado del pan (primera etapa), descrito en el método de preparación de muestras del laboratorio de química del CITA P-SA-MQ-001, con modificaciones. Para esto se realizó el corte del pan integral de molde en rebanadas, por triplicado para cada tratamiento, las cuales fueron previamente pesadas y colocadas en placas Petri para proceder a secar en un secador Excalibur durante 2 horas a 40 °C, 1 hora por cada superficie de la rebanada, hasta lograr que estuvieran crujientes y quebradizas, estas se pesaron y posteriormente se homogenizaron en un procesador de alimentos. Luego, se colocó 3 g cada rebanada en un crisol y se realizó la medición de humedad por triplicado del pan pre-seco mediante un secado en estufa a 100 °C por 1 hora y posteriormente 30 min hasta masa constante (segunda etapa), siguiendo el procedimiento

descrito por Benavides (2017).

El cálculo del porcentaje de humedad se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Humedad etapa 1 (\% H1)} = \left(\frac{\text{masa inicial del pan} - \text{masa pan preseco}}{\text{masa inicial del pan}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación [2]}$$

$$\% \text{ Humedad etapa 2 (\% H2)} = \left(\frac{\text{masa inicial de pan preseco} - \text{masa pan seco}}{\text{masa inicial de pan preseco}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación [3]}$$

$$\% \text{ Humedad total (\% HT)} = \left[\% \text{ H1} + \frac{(100 - \% \text{ H1}) * \% \text{ H2}}{100} \right] \quad \text{Ecuación [4]}$$

Actividad de agua (a_w)

La determinación de la actividad de agua se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Benavides (2017).

Se pulverizó la unidad experimental utilizando un procesador de alimentos. Para la determinación se utilizó el equipo AquaLab 4TE y se realizó antes de iniciar las mediciones, una verificación previa del patrón de agua desionizada. La muestra de pan pulverizado se colocó en el portamuestras de tal forma que no excediera más de la mitad de la capacidad del recipiente. El análisis se realizó por triplicado para cada formulación.

Volumen específico

Para la determinación del volumen específico se utilizó el método de desplazamiento de semillas, descrito por Campbell *et al.* (2016). El método consiste en colocar en un recipiente cilíndrico, como una probeta, semillas de mijo, se determina la marca que alcanzan estas semillas y se retiran del recipiente. Posteriormente se introduce el pan y las semillas de mijo y se mide la marca correspondiente al desplazamiento de las mismas con respecto a la marca inicial.

Condiciones de la prueba:

Para la elaboración de los panes, se tomó 20 g de masa y se boleó y formó en forma de bolitas, las cuales se colocaron en un molde pequeño de cupcakes para fermentar y hornear, esto con el fin de obtener muestras pequeñas que se pudieran introducir en una probeta graduada para la determinación. Para la prueba, se utilizó una probeta de 1 L y se llenó con semillas de mijo hasta la marca de aforo para 400 mL, posteriormente, se retiró las semillas de la probeta, se colocó la muestra de pan y se añadió nuevamente las semillas, dando leves golpes a la probeta para evitar errores de medición debidos a espacios con aire. Para obtener el volumen específico primero se realizó la medición de la masa de los panes, se utilizó para la prueba 3 unidades experimentales de cada formulación.

El cálculo del volumen específico se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen específico } \left(\frac{\text{mL}}{\text{g}}\right) = \frac{\text{Volumen pan+semillas (mL)} - \text{Volumen semillas (mL)}}{\text{Masa pan (g)}} \quad \text{Ecuación [5]}$$

Perfil de textura (TPA)

Se realizó la medición de perfil de textura utilizando un analizador de textura TA. TXPlus. Cada pan se cortó en cuadros de 3 cm de alto * 3 cm de largo * 2 cm de ancho y a cada cuadro se le aplicó la prueba de compresión, aplicando la prueba a 7 muestras por cada formulación evaluada. Para el análisis se utilizó una celda cilíndrica de 25 mm, una velocidad de compresión de 60 mm/ min hasta una distancia de 10 mm. Se realizó la compresión en dos ciclos con un intervalo de 5 segundos entre cada uno y utilizando un “trigger” de 20 g. A partir de los resultados obtenidos se determinó la dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad de la miga de pan (Benavidez, 2017).



Figura 4. Compresión de la muestra de pan integral de molde, utilizando el analizador de textura TA. TXPlus.

- *Pruebas de discriminación*

Prueba 1: Identificación del umbral de diferencia para obtener la Diferencia Apenas Perceptible (DAP) del sabor salado en pan integral de molde.

Se realizaron dos paneles sensoriales para determinar la DAP del sabor salado del pan integral con las diferentes cantidades de fibra del salvado de trigo en estudio, utilizando el método de estímulo constante. Se utilizó una prueba de comparación pareada (2-AFC) con 41 participantes, debido a que se definió una potencia de prueba de 0,95 y un valor de d' de 1,00 para un nivel de significancia de 5 % (Ennis & Jesionka, 2011), el número de panelistas requerido corresponde a 40, sin embargo se realizó la prueba a 41 personas como factor de seguridad, debido a que algunas muestras fueron enviadas hasta el domicilio del panelista, como medida de acción por la pandemia, ya que, existía la posibilidad de extravío de la muestra u olvido por parte del evaluador. A cada panelista se le presentó 6 sets con dos muestras de pan cada uno (una correspondiente al estímulo constante y la otra al porcentaje de sal correspondiente al set) y se le solicitó escoger la muestra que fue percibida como la más salada de cada par, las muestras se colocaron debidamente aleatorizadas y balanceadas, con números de tres dígitos y se le solicitó al panelista esperar 1 min entre la prueba de cada set para evitar percepciones erróneas del sabor salado debidas a persistencia del sabor de la muestra anterior. Las concentraciones de sal evaluadas contra el estímulo constante de 1,8 %

de sal fueron 0,6 %, 0,84 %, 1,18 %, 1,65 %, 2,30 % y 3,23 %, esto en porcentaje panadero y para cada porcentaje de fibra a evaluar.

Condiciones de aplicación de la prueba

- Los panes evaluados fueron elaborados y empacados el día anterior, en bolsas de polietileno de baja densidad, cada muestra en una bolsa individual, con su respectivo código de 3 números y todas las muestras en una bolsa también de polietileno de baja densidad (figura 5)
- La porción de la muestra fue una rebanada ($6,5 \times 4,0 \times 1,5$ cm) sin retirar los bordes.
- La prueba fue realizada en su casa por cada panelista, en algunos casos fue posible que el investigador aplicara la prueba personalmente en casa del panelista, siguiendo los protocolos de distanciamiento y demás cuidados ante la COVID- 19, en los casos en los que no fue posible, el panelista realizó la evaluación por su cuenta, mediante una guía escrita.
- Para que la persona probara los sets de manera adecuada, se le proporcionó una hoja de papel impresa con el orden en que debía probar las muestras (figura 6). Tanto las muestras como los sets fueron adecuadamente balanceados y aleatorizados.

Con los resultados obtenidos, se determinó la diferencia apenas perceptible del sabor salado (DAP), para cada concentración de fibra a evaluar, esto mediante el análisis de la frecuencia en que los panelistas percibieron la muestra distinta a la concentración de estímulo constante como la muestra más salada del par, para la determinación del umbral sensorial se siguió el procedimiento descrito en la sección 4.4.5.



Figura 5. Paquetes entregados al panelista para la realización del panel sensorial en casa.



Figura 6. Presentación obtenida por el panelista una vez colocadas las muestras según el orden en que debe probar siguiendo las instrucciones de preparación brindadas.

Prueba 2: Verificación de la DAP encontrada.

Se realizó una prueba de comparación pareada (2-AFC) en la que se presentó 2 pares de muestras a los panelistas, correspondientes a los dos panes reducidos en sodio obtenidos con la DAP y sus respectivos controles de estímulo constante. Esto con el fin de determinar si los consumidores detectaban o no la diferencia entre un pan control y el pan reducido. Para esta prueba se realizó un panel con 41 panelistas (Ennis & Jesionka, 2011), realizando la prueba de igual forma a 1 panelista más de los requeridos, como factor de seguridad debido al método de aplicación del panel. Se siguió el mismo proceso de balanceo y aleatorización de muestras, y la espera de 1 min entre la prueba de cada par de muestras.

Con los resultados obtenidos en la prueba de DAP, se procedió a calcular una reducción de sal menor que se estableció arbitrariamente con la intención de asegurar que el consumidor no percibiera la diferencia. Por lo que en esta prueba se evaluó una concentración de sal correspondiente a una reducción un poco menor a la encontrada con la DAP, de 1,53 % para el pan con 10 % fibra y 1,58 % para el pan con 6 % fibra contra el estímulo constante de 1,8 % de sal.

A cada panelista se le presentó dos sets con dos muestras cada uno, una muestra con el porcentaje estándar de sal y la muestra con la reducción de sal correspondiente, un set para las muestras con 10 % fibra y otro para las de 6 % fibra. A cada panelista se le dio la indicación de seleccionar y registrar la muestra más salada del par. Las condiciones de la prueba son las mismas descritas anteriormente para la prueba de discriminación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Determinación de la máxima reducción de sodio proveniente de la sal en pan integral de molde que no es perceptible por el consumidor para dos cantidades de salvado de trigo adicionado, utilizando pruebas sensoriales de umbrales y confirmación mediante prueba de discriminación.

En la figura 7 se muestra la curva psicofísica obtenida al analizar los resultados de la evaluación sensorial de umbral de diferencia utilizando el método de estímulo constante para el pan integral de molde con 10 % fibra proveniente de salvado de trigo.

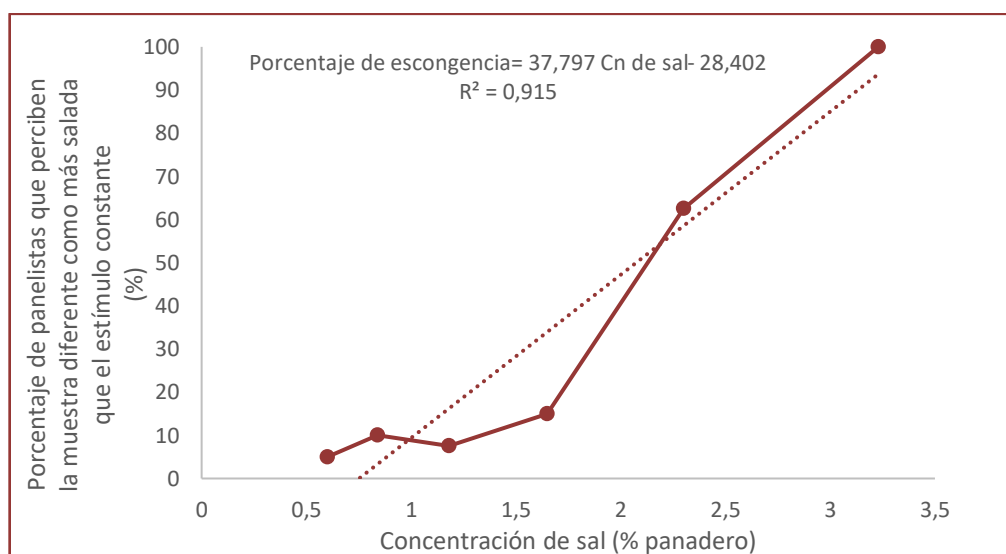


Figura 7. Relación entre el porcentaje de panelistas que seleccionaron la muestra diferente como la más salada que el estímulo constante, respecto a la concentración de sal en las diferentes muestras de pan con 10 % fibra.

Mediante la curva psicofísica se obtiene la ecuación de la recta que permite calcular la DAP. Se hizo una regresión lineal que fue la que mejor se ajustó. Esta DAP fue de un 0,33 % para el pan con concentración de sal regular que corresponde a un 1,8 % de sal; es decir, se requiere una reducción de sal de 0,33 % para que el consumidor perciba una diferencia en el sabor salado del pan integral de molde con 10 % salvado de trigo y 1,8 % de sal. Al aplicar esta reducción se obtiene un pan con 1,47 % de sal que corresponde al pan reducido en sodio, pero que apenas se percibe la diferencia. Sin embargo, con el fin de que el consumidor

realmente no pueda detectar la diferencia en la prueba de confirmación, se aplicó una reducción de 0,27 % de sal con respecto al pan regular, con lo que se obtiene un pan con 1,53 % de sal (Pan Reducido 1) que se evaluó contra el correspondiente pan regular de 1,8 % sal para 10 % salvado de trigo.

En la figura 8 se muestra la curva psicofísica obtenida al analizar los resultados de la evaluación sensorial de umbral de diferencia utilizando el método de estímulo constante para el pan integral de molde con 6 % fibra proveniente de salvado de trigo.

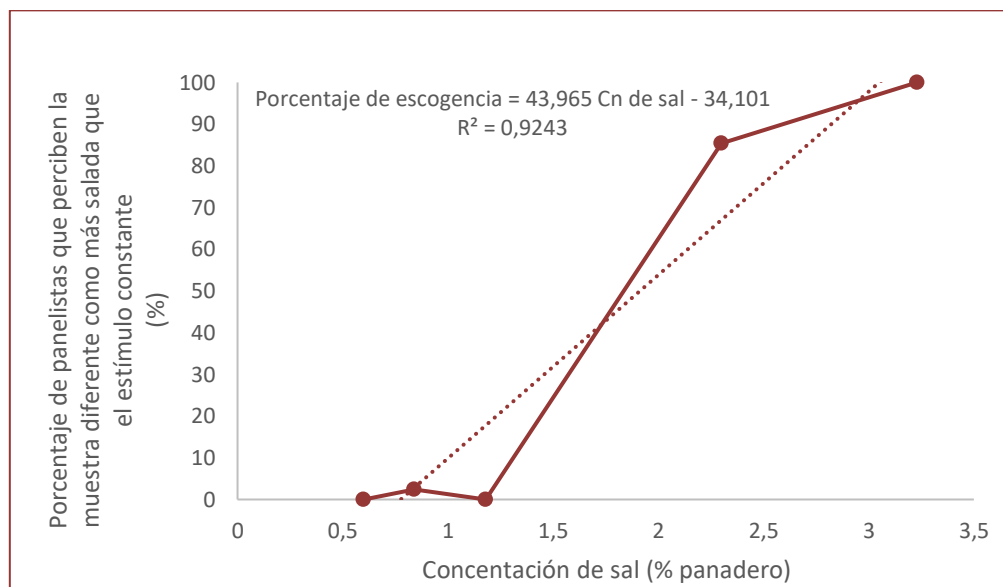


Figura 8. Relación entre el porcentaje de panelistas que seleccionaron la muestra diferente como la más salada que el estímulo constante, respecto a la concentración de sal en las diferentes muestras de pan con 6 % fibra.

A partir de la curva psicofísica anterior se obtiene la ecuación de la recta que permite calcular la DAP, es decir se ajustó a una regresión lineal. Esta DAP fue de 0,28 % para el pan con concentración regular que corresponde a un 1,8 % de sal; es decir, se requiere una reducción de sal de 0,28 % para que el consumidor perciba con dificultad una diferencia en el sabor salado del pan integral de molde con 6 % salvado de trigo y con 1,8 % de sal. Al aplicar esta reducción se obtiene un pan con 1,52 % de sal que corresponde al pan reducido. Sin embargo, con el fin de que el consumidor realmente no pueda detectar la diferencia en la prueba de confirmación, se aplicó una reducción de 0,22 % de sal con respecto al pan regular, con lo que se obtiene un pan con 1,58 % de sal (Pan Reducido 2) que se evaluó contra el

correspondiente pan regular en sal para 6 % de fibra. En la reducción de sodio para ambos porcentajes de fibra se utilizó un factor de seguridad de 0,06 % de sal definido arbitrariamente, es decir, en lugar de reducir el porcentaje de sal obtenido con la DAP, se redujo 0,06% menos que la DAP.

Para confirmar la efectividad de esta reducción se aplicó la prueba 2-AFC para determinar si los consumidores detectan la diferencia, en el cuadro IV se muestran los resultados.

De acuerdo con Roessler *et al.* (1978) al realizar una prueba de escogencia forzada 2-AFC, con 41 participantes, es necesario que, al menos 27 personas, logren acertar al seleccionar la muestra más salada para concluir que los panelistas encontraron la diferencia entre las muestras con un 5 % de significancia. Como se observa en el cuadro IV, este fue el número de aciertos obtenido en la prueba de confirmación, tanto para el pan reducido de 10 % de fibra como para el pan reducido de 6 % de fibra, con respecto a sus correspondientes panes regulares (sin reducción de sodio al mismo porcentaje de fibra). Esto quiere decir que en ambos casos los panelistas apenas lograron percibir la diferencia entre las muestras. Con base en los resultados experimentales, se hubiese esperado que los panelistas no percibieran la diferencia, ya que como factor de seguridad se aplicó una reducción de sal menor a la obtenida mediante la determinación de la diferencia apenas perceptible. Sin embargo, como se observa en el cuadro IV la probabilidad de 0,030, que es $< 0,05$, indica que se encontró la diferencia entre las muestras al 95 % de confianza.

Cuadro IV. Resultados obtenidos en la prueba de confirmación, evaluando los panes reducidos contra su respectivo pan sin reducción para cada porcentaje de fibra, utilizando una prueba de comparación pareada 2-AFC y un nivel de significancia de 5 %.

Porcentaje de fibra	Número de panelistas	Número de aciertos muestra más salada	Número mínimo de aciertos muestra más salada*	Probabilidad*	d' **
10 %	41	27	27	0,030	0,58
6 %	41	27	27	0,030	0,58

*Roessler *et al.* 1978 **Ennis, 2013

El valor de d' presentado en el cuadro IV constituye el parámetro de distancia entre las medias de cada una de las dos distribuciones, medida en desviaciones estándar. Un valor de d' correspondiente a 1,0 representa la diferencia entre dos estímulos que apenas se logran percibir como diferentes (Angulo & O'Mahony, 2009). Debido a que el valor de d' obtenido para ambas cantidades de fibra evaluadas es de 0,58 se puede afirmar que la diferencia entre cada muestra de pan reducido y su control es muy pequeña y no es esperado que se lograra percibir por los panelistas.

La persistencia del panelista para buscar la diferencia, pudo ser una de las razones por las cuales en este estudio se percibió la diferencia entre las muestras, ya que, durante la aplicación del panel sensorial se pudo observar que muchas veces fue difícil para el evaluador determinar cuál era la muestra más salada, y esto lo llevó a probar más de una vez. Esto puede deberse a que, al aplicarse el panel en su casa, bajo supervisión de la investigadora, se podría haber generado un mayor sentimiento de compromiso por parte del panelista para encontrar la diferencia entre las muestras. Al final de la evaluación varios panelistas comentaron que la prueba había estado difícil. Esta dificultad para percibir la diferencia se confirmó con el número de aciertos obtenidos, ya que fue el valor límite para determinar que se percibió una diferencia entre las muestras. Esto sumado al valor tan pequeño de d' sugieren que, en condiciones normales de consumo donde solo se prueba un pan, es decir, si no se prueban las muestras juntas y con detenimiento, probablemente el consumidor no podría percibir las diferencias entre el pan reducido y el pan regular. Debido a que el valor de d' es muy pequeño, no se consideró la opción de realizar una prueba de agrado general a las muestras, porque es de esperar que no haya una diferencia en el agrado para esta diferencia tan pequeña, que indica que la sola percepción de la diferencia entre las muestras es muy difícil de determinar.

En el cuadro V se muestra el porcentaje de reducción de sal logrado para ambos porcentajes de fibra en el pan integral, considerando el compromiso de la industria costarricense de reducir en un 15 % el contenido de sal/sodio para 2021, como parte de la estrategia nacional para el abordaje de las enfermedades crónicas no transmisibles y obesidad (Ministerio de Salud, 2014), se observa que en el caso del pan con 10 % de fibra esta reducción se logró, y para el pan 6 % de fibra fue bastante cercana a la meta.

Cuadro V. Reducción de sal lograda con la aplicación de la DAP para el pan integral de molde con diferente porcentaje de fibra.

Contenido de Fibra de salvado (%)	Porcentaje de sal en el pan reducido (%)	Reducción de sal (%) *
10	1,53	15
6	1,58	12,2

*Ver ecuación A1

McMahon *et al.* (2016) realizaron, en una comunidad indígena australiana una investigación en reducción de sodio en pan, tanto blanco como integral. Este estudio consistió en reducir 12,5 % y 25,0 % de sal con respecto a la concentración de sal regular. En los resultados, tanto para pan blanco como para integral, se logró una reducción de hasta 25 % de sal sin que la diferencia fuera percibida, y al no percibir cambio entre las muestras, tampoco se afectó la preferencia. También, Croix *et al.* (2014) realizaron una reducción de sodio en varios porcentajes a partir de un pan con 2 % de sal. Se redujo un 10 %, por lo que se usó una concentración de 1,8 % de sal, un 20 %, que dio una concentración de 1,6 %, y un 30 %, que dio una concentración de sal de 1,4 %. En este caso la diferencia contra el 2 % de sal, del pan regular, no pudo ser detectada con la reducción de 10 % de sal, pero si fue encontrada para 20 % y 30 %. Ambas investigaciones coinciden en la factibilidad de reducir sodio en los porcentajes logrados en la presente investigación sin que sea perceptible para el consumidor.

Como puede observarse en los resultados de la aplicación de la prueba de umbrales, fue posible una mayor reducción de sal para la formulación con 10 % fibra, ya que se logró reducir 2,78 % más de sal que en la formulación de 6 % fibra. Uno de los factores que permite entender este resultado es la composición del salvado de trigo y cómo esta afecta la percepción del sabor salado. Por ejemplo, se asocia reducción de la percepción del sabor salado con una disminución en el contenido de grasa (Villareal, 2014). Debido a que el salvado de trigo tiene un contenido lipídico significativo, de 5 a 6,3 % p/p (Chaquilla *et al.*, 2018), en un pan con menor contenido de salvado, y por lo tanto menos contenido de grasa, podría ser más difícil percibir el sabor salado. Aplicando la ley de Weber para estímulos psicofísicos al presente estudio, se puede inferir que, en un pan integral con 10 % fibra de salvado de trigo, al contener un mayor aporte de grasa, se percibe más el sabor salado, por lo

que se puede reducir un mayor porcentaje de sal sin que la persona lo perciba, en cambio, para el pan con 6 % fibra de trigo, el menor contenido graso podría generar una menor percepción del sabor salado para una misma concentración inicial de sal, por lo que una reducción de sal en este caso sería más fácilmente percibida por el consumidor.

El salvado de trigo también se compone por minerales como magnesio, fósforo, potasio, calcio y sodio (Chaquilla *et al.*, 2018), los minerales tienen un efecto potenciador del sabor. Torasso *et al.* (2020) utilizaron una sustitución con minerales del lactosuero (sodio, potasio, calcio, magnesio y fósforo) para la producción de quesos reducidos en sodio. En el estudio se preparó una salmuera tradicional para la mitad de los quesos a evaluar y la otra mitad fueron salados con una fracción concentrada obtenida por ósmosis inversa de los minerales del lactosuero. En estos últimos se logró una cantidad de sodio 3,4 veces menor, sin afectar las características fisicoquímicas ni sensoriales. Debido a que la composición de los minerales del lactosuero es muy similar a la del salvado de trigo (Chaquilla *et al.*, 2018; Torasso *et al.*, 2020), un efecto potenciador como el descrito anteriormente pudo haber propiciado que se obtuviera una DAP mayor y, por lo tanto, un porcentaje mayor de reducción de sal para el pan con 10 % fibra. De acuerdo con la caracterización química del salvado que se presenta en el anexo 7, el aporte de sodio a este pan corresponde a 4,76 mg/100 g pan y 2,92 mg/100 g para el pan con 10 % de fibra y de 6 % de fibra respectivamente, por lo que se puede considerar que el uso del salvado no es contraproducente al objetivo de reducción de sodio porque es un aporte muy bajo con respecto a la reducción lograda por la disminución de sal añadida.

Es usual en la industria de panificación aplicar un incremento en la concentración de sal al desarrollar productos altos en fibra con el fin de suprimir sabores amargos (Ramírez *et al.*, 2017). O bien, en productos dulces, se hace necesario compensar la adición de fibra con otros componentes para evitar sabores no deseados. Simanca *et al.* (2013) estudiaron la elaboración de un yogurt de leche de búfala adicionado con salvado de trigo, resultando una mala aceptación sensorial por parte de los consumidores, lo que hizo evidente la necesidad de utilizar un saborizante para enmascarar los sabores amargos. Es por esto que, la adición de salvado de trigo va a tener un efecto en el sabor que va a depender de la matriz alimentaria,

la concentración de fibra utilizada, el procesamiento que se le da al alimento, de forma que puede afectar el sabor del producto.

Con el objetivo de analizar el impacto de la reducción de sal en el pan sobre la salud, en el cuadro VI, se muestra un ejemplo hipotético realizando un ejercicio sobre consumo de pan integral.

Cuadro VI. Reducción de sodio lograda en el presente estudio para dos situaciones de consumo habitual de pan integral.

Cantidad de rebanadas consumidas al día	Reducción de sodio lograda (mg)	
	Pan con 10% fibra	Pan con 6% fibra
2 (58,34 g) *	33,88	28,23
4 (116,68 g) *	67,75	56,46

*Masa de las rebanadas basado en la información reportada en la etiqueta nutricional de un pan integral comercial.

McMahon *et al.* (2016) reportan que una disminución de 0,5 g de sal al día, que se traduce a 200 mg de sodio, es suficiente para tener resultados significativos en la reducción de la mortalidad debida a enfermedades cardiovasculares en la población. De acuerdo con el ejemplo de consumo de 2 y 4 rebanadas del pan integral del ejemplo, se puede observar que, si bien la reducción de sodio en el pan integral de molde por sí sola no podría reducir significativamente las enfermedades debidas a la hipertensión, pues con el ejemplo de 4 rebanadas de pan con 10 % fibra, que es con el que se obtendría una mayor reducción, se reduciría el 33 % del sodio necesario para tener un efecto positivo en la salud, sí podría tener un efecto muy positivo combinado con la reducción en otros productos alimentarios de consumo frecuente en la población. Es importante destacar que, es una reducción muy significativa para un solo tiempo de comida.

5.2 Determinación del efecto de la cantidad de fibra utilizada, la reducción de sodio y el tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas del pan integral de molde.

Con el pan integral de molde reducido en sodio, obtenido para los dos porcentajes de fibra, y el respectivo pan sin reducción (1,8 % de sal), se procedió a realizar una prueba de almacenamiento, para determinar la diferencia entre el día 1 de almacenamiento y el día 6

para los principales factores de evaluación como son humedad, a_w , volumen específico y perfil de textura.

Volumen específico

Para el parámetro de volumen específico, al realizar el análisis de varianza, no se encontró diferencia significativa para ninguno de los tres factores (cantidad de fibra, concentración de sal y tiempo de almacenamiento), y tampoco se encontró interacciones entre los mismos, el valor de potencia de prueba fue de 70 % (Anexo 6).

Según Lynch *et al.* (2009), una reducción de sodio en el pan genera una mayor actividad de las levaduras y por lo tanto una mayor producción de CO_2 , esto resultaría en la obtención de panes con mayor volumen específico. Sin embargo, la no adición de sal, o bien una reducción muy drástica podría generar masas panarias débiles y con poca capacidad de retención de gas (Quitral *et al.*, 2015). En el caso de las muestras de este estudio no se encontró un efecto estadísticamente significativo, posiblemente debido a que el porcentaje de sal de los panes reducidos no es suficientemente diferente al porcentaje de sal del pan regular (sin reducción) como para notar una diferencia en el volumen del pan.

Por otra parte, la adición de salvado de trigo puede ocasionar una disminución en el volumen específico del pan, esto porque el salvado interfiere con la formación de la red viscoelástica, afectando un poco la calidad reológica del producto en comparación con el pan blanco (Varas & Haros, 2010). En el caso del presente estudio no se obtuvo diferencias significativas debidas a la concentración de fibra en el volumen específico del pan, y tampoco se pudo observar este efecto en el procesamiento durante la fermentación y el horneado, ya que visualmente el crecimiento de los panes fue muy similar para ambos porcentajes de fibra.

Humedad

En el caso de la humedad, el tiempo tuvo un efecto significativo ($p=0,0373$). En el día 1 la humedad fue de 36,48 %, mayor que la obtenida al día 6 (35,85 %). Independientemente de la formulación evaluada, se evidenció una pérdida de humedad para el día 6 de almacenamiento. Este resultado se debe a que desde el momento en que el pan se

retira del horno, inicia la migración de agua desde la miga hacia la corteza del pan debido a un gradiente de humedad ocasionado por una mayor actividad de agua en la miga que en la corteza (Flecha, 2015). La pérdida de humedad del pan va a depender de la temperatura, humedad relativa a la que se almacena este, así como el empaque que se utiliza. Debido a que, en condiciones normales de almacenamiento, la humedad relativa del medio externo suele ser inferior al a_w del pan, este va a ir perdiendo agua que migra hacia el ambiente en el almacenamiento, por lo que hay que tomar en cuenta que el empaque no logra proteger el producto al 100 % contra la pérdida o ganancia de humedad. Hubo interacción significativa para la concentración de fibra y el contenido de sal ($p=0,0294$), eso implica que el comportamiento de la humedad para cada porcentaje de fibra depende del contenido de sal. En el cuadro tal VII se presenta los valores promedio de humedad de los diferentes tratamientos evaluados para la interacción significativa contenido de sal*fibra.

Cuadro VII. Comparación de medias de la humedad para la interacción significativa de los factores sal*fibra.

Tratamiento	Humedad (%)
10% fibra, reducido en sal	37,1046 ^a
6% fibra, reducido en sal	35,0999 ^c
10% fibra, sin reducción	36,5759 ^{ab}
6 % fibra, sin reducción	35,8915 ^{bc}

*Letras distintas en la columna significa que hay diferencia significativa en la humedad.

En el cuadro VII se puede observar que, para el pan reducido en sodio, a mayor sustitución con salvado de trigo, se obtiene una mayor humedad, ya que existe una diferencia significativa entre el pan 10 % fibra reducido en sodio y el pan 6 % fibra reducido en sodio. Sin embargo, no se encuentran diferencias significativas en la humedad del pan sin reducción de sodio entre los dos porcentajes de fibra. No hubo diferencia significativa de humedad debida a la reducción de sodio para un mismo porcentaje de fibra.

El salvado de trigo utilizado en el presente estudio, posee una capacidad de retención de agua mayor que la harina fuerte de trigo. Experimentalmente se determinó que la harina fuerte presenta una CRA de 1,64, mientras que para una sustitución de 6 % fibra de salvado

de trigo se obtuvo una CRA de 1,82 y para una sustitución de 10 % fibra de salvado se obtuvo una CRA de 1,94. Debido a estas diferencias en la capacidad de retención, se formuló un pan con 62,4 % de agua en porcentaje panadero para el pan con 6 % fibra, y un 66,5 % de agua en porcentaje panadero para el pan con 10 % fibra.

La sal aumenta la CRA en los alimentos (Calvo, 2019), por lo que un mayor contenido de sal en el pan regular de 6 % fibra, con respecto al reducido, ayudó a mejorar la capacidad de retención de agua en la masa panaria, haciendo que la diferencia no fuera significativa en relación con el pan regular de 10 % fibra. En este caso, al haber menos fibra y menos sodio, hubo más pérdida de humedad; sin embargo, un mayor porcentaje de fibra reduce el efecto de la sal en la retención de humedad.

La norma para pan blanco común establece que el valor máximo de humedad para el mismo es de 35 % (MEIC, 1993). También Fierro & Jara (2010) indican que, para la categoría de panes especiales, en la que se incluye el pan de molde, la humedad no debe sobrepasar un 38 %. Tomando en cuenta estos datos, se puede decir que todos los valores obtenidos en el presente estudio están en un rango esperado para el tipo de producto, sin embargo, no se cuenta con un valor exacto de humedad en regulación para pan integral de molde.

Actividad de agua (a_w)

En el cuadro VIII se presenta los valores promedio obtenidos para el parámetro de a_w para los tres efectos evaluados, estos fueron significativamente diferentes y no presentaron interacción doble significativa.

Cuadro VIII. Comparación de medias de a_w del pan con salvado de trigo para cada uno de los efectos simples evaluados.

	Tiempo		pt*	Fibra		pf**	Concentración sal		ps***
	1 día	6 días		10 %	6 %		Reducido Sal	Sin Reducir Sal	
a_w	0,9527 ^a	0,9479 ^b	0,0003	0,9521 ^a	0,9485 ^b	0,0029	0,9525 ^a	0,9481 ^b	0,0006

*pt es la probabilidad debida al tiempo de almacenamiento. ** pf es la probabilidad debida a la cantidad de fibra de trigo adicionada. ***ps es la probabilidad debida a la concentración de sal.

Los resultados experimentales demostraron que una pérdida de humedad durante el almacenamiento se relaciona con una disminución de a_w del pan, como se puede observar en el cuadro VIII. Además de la migración de agua del pan al ambiente, se ha comprobado que el agua en los productos de panificación se liga e inmoviliza con el pasar de los días, esta inmovilización del agua se ha asociado principalmente a su incorporación a las redes cristalinas que se forman debido a la retrogradación de los almidones (García, 2021).

Por otra parte, se observa que el valor de a_w en el pan aumenta significativamente al aumentar el porcentaje de fibra de trigo adicionada. La capacidad de retención de agua en un alimento, va a depender por completo de su composición, así, las proteínas y los hidratos de carbono logran retener el agua mediante puentes de hidrógeno, mientras que las grasas rechazan las moléculas de agua. De esta forma, no toda el agua es retenida con la misma fuerza e intensidad en el alimento (Badui, 2012). De acuerdo con lo anterior, el aumento en el parámetro de a_w al aumentar el porcentaje de fibra de trigo adicionado, puede deberse a que, a mayor contenido de fibra en el pan, se agrega un mayor contenido de agua en porcentaje panadero, y tomando en cuenta que la composición del salvado de trigo es muy variada, el agua adicionada no se ligó por completo a los componentes de la masa panaria, provocando que en un pan con mayor sustitución de salvado y con mayor contenido de agua, una mayor cantidad de esta se encontrara libre, aumentando el valor de a_w del pan.

También se observa en el cuadro VIII que el a_w es significativamente mayor para el pan reducido con respecto al pan sin reducción (1,8 % de sal). Esto se debe a que, en el pan reducido, el menor contenido de sal disminuye la capacidad de retención de agua, por lo que esta se encuentra más disponible. Es decir, la sal, reduce la actividad de agua de los productos de panificación (Inestroza, 2015) y esto es un parámetro que influye tanto en la conservación, como en las características reológicas del pan.

Perfil de textura

En el cuadro IX se presenta los resultados de la comparación de medias al evaluar los parámetros de textura con respecto a los tres factores estudiados. Como se observa en el cuadro, únicamente se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la elasticidad al

evaluar el factor cantidad de fibra y en la cohesividad para el factor de tiempo de almacenamiento, por lo que, a los niveles aplicados para cada uno de los factores, los cambios en la textura son mínimos.

Cuadro IX. Comparación de medias de los parámetros de textura para cada uno de los efectos simples evaluados.

Parámetro	Tiempo			Fibra			Concentración sal			1-β
	1 día	6 días	Pt*	10 %	6 %	Pf**	Reducido Sal	Sin reducir	Ps** *	
Dureza (N)	8,88 ^a	11,28 ^a	n.s	9,88 ^a	10,27 ^a	n.s	10,43 ^a	9,73 ^a	n.s	0,71
Elasticidad (mm)	9,60 ^a	9,99 ^a	n.s	9,32 ^b	10,27 ^a	0,04	9,71 ^a	9,88 ^a	n.s	0,63
Cohesividad	0,41 ^a	0,36 ^b	0,00 03	0,38 ^a	0,39 ^a	n.s	0,39 ^a	0,38 ^a	n.s	0,70
Masticabilidad (N*mm)	33,6 ^a	37,90 ^a	n.s	34,4 ^a	39,1 ^a	n.s	37,08 ^a	34,46 ^a	n.s	0,54

*pt es la probabilidad debida al tiempo de almacenamiento. ** pf es la probabilidad debida a la cantidad de fibra de trigo adicionada. ***ps es la probabilidad debida a la concentración de sal. n.s: efecto no significativo.

Es importante resaltar, que la reducción de sal aplicada no provocó un cambio significativo en los parámetros de textura evaluados, por otra parte, la adición de un mayor contenido de fibra solamente afectó la elasticidad del producto. En cuanto al tiempo de almacenamiento este solo afectó la cohesividad de pan.

Elasticidad

El parámetro de elasticidad presentó una disminución a mayor porcentaje de fibra de salvado de trigo adicionada. También Kihlberg (2004) encontró en su estudio de evaluación de calidad sensorial y percepción del consumidor para pan integral, una menor elasticidad en comparación con un pan blanco tradicional. Al sustituir parte de la harina fuerte de trigo con salvado se interfiere en la formación de la red viscoelástica de gluten, que es la principal responsable de las características reológicas del pan (Lezama, 2015). De esta forma una sustitución de 10 % salvado de trigo genera una menor elasticidad en el pan resultante respecto a la sustitución de 6 %. Este resultado fue también obtenido por Bhaduri (2013) y Majzoobiet *et al.* (2015), ellos realizaron diferentes sustituciones de fibra a quequitos libres

de gluten, obteniendo que a mayor sustitución de fibra se presentó una menor elasticidad del quequito.

Por otra parte, la sal en la formulación del pan genera cambios en las interacciones no covalentes de las proteínas del gluten, estimulando las interacciones electrostáticas de estas, lo que hace que se fortalezca la red de gluten, lo que también genera una mayor extensibilidad y elasticidad de la masa panaria y, por lo tanto, del pan luego del horneado. Se espera que al reducir el contenido de sodio en la formulación se obtenga un pan menos elástico (Quitral et al. 2015), pero para efectos del presente estudio, se puede concluir que la reducción de sal no fue suficiente para afectar la elasticidad del pan integral. El tiempo de almacenamiento tampoco afectó significativamente la elasticidad del pan.

Cohesividad

Ortiz et al. (2020), encontraron que la cohesividad del pan disminuye a medida que aumenta la sustitución con salvado de trigo, debido a que se da una menor adherencia entre el almidón y el gluten; sin embargo, este efecto no observó en el presente estudio, tampoco hubo un efecto causado por el contenido de sal. Se encuentra una disminución significativa de la cohesividad con respecto al tiempo, lo que puede interpretarse como una pérdida en la capacidad del pan de deformarse antes de romperse (Bravo & Moreno, 2015) y concuerda con lo descrito por Luna & Bárcenas (2011) que indican que la cohesividad es uno de los factores que se espera que disminuyan durante el almacenamiento del pan. Como menciona Álvarez (2014) la cohesividad del pan depende de las fuerzas de los enlaces internos, por lo que, debido a la pérdida de estructura del pan, causada por la migración de humedad y pérdida de atracción molecular de los componentes, se ocasiona que a mayor tiempo de almacenamiento se obtenga un pan menos resistente a la compresión. Este resultado de pérdida de cohesividad con el tiempo, lo obtuvo también Benavidez (2017) en su estudio de almacenamiento de pan blanco de molde; además, al comparar los resultados de la autora con los del presente estudio, se evidencia que, los valores de cohesividad para pan blanco de molde son más altos tanto al inicio como al final del almacenamiento que para el pan integral de molde. Al adicionar fibra a un pan disminuye el contenido total de gluteninas y gliadinas

en comparación de un pan elaborado 100 % con harina fuerte, lo que resulta en masas más duras y adhesivas, pero menos cohesivas (Domínguez *et al.*, 2019).

Dureza

Bhaduri (2013) y Majzoubiet *et al.* (2015) reportan una mayor dureza para productos de panificación con mayor contenido de fibra. Al comparar los resultados del presente estudio con los obtenidos por Benavidez (2017) se puede observar el comportamiento anteriormente descrito, ya que, tanto al inicio como al final del almacenamiento, el pan blanco presenta una menor dureza que el pan con salvado de trigo. Sin embargo, al comparar la dureza del pan con 10 % fibra con respecto al pan con 6 % fibra no se encontró diferencias. Por otra parte, Beasoain (2019) indica que debido a las interacciones que se dan entre los compuestos existentes en el salvado con el agua, durante el almacenamiento, es de esperar que el endurecimiento en el pan integral sea menor, con respecto al endurecimiento en el almacenamiento de un pan blanco. En este sentido, en el presente estudio se obtuvo que para el pan integral de molde no hubo cambio en la dureza a los 6 días de almacenamiento, mientras que, en el pan blanco, estudiado por (Benavidez, 2017) hubo aumento en la dureza en 9 días. La reducción de sodio no ocasionó diferencia en la dureza. Lynch *et al.* (2009) encontraron que, al aplicar varias reducciones de sodio en pan, la mayor dureza en el almacenamiento se presentó en un pan con 0 % de sal, comparado con panes de 1,2 %, 0,6 % y 0,3 % de sal. Mientras que Benavidez (2017), así como Belz (2016), encontraron que en el pan reducido en sodio se obtuvo una menor dureza en comparación con un pan control sin reducción, ambos estudios para pan blanco.

Masticabilidad

En cuanto a la masticabilidad, que se determina como dureza*elasticidad*cohesividad, no hubo diferencias significativas con respecto al contenido de fibra, ni la sal, ni al tiempo, debido a que únicamente la cohesividad cambió debido al tiempo y la elasticidad cambió debido al contenido de fibra, pero no fue suficiente para

traducirlo a un cambio en masticabilidad. La masticabilidad representa la cantidad de energía requerida para desintegrar un alimento para poder tragarlo (Lin *et al.*, 2012).

Pérez & García (2013) indican que los alimentos altos en contenido de fibra obtienen una mayor masticabilidad en comparación con un alimento con menor contenido de fibra, debido a que se requiere un mayor tiempo de masticación, y se enlentece la velocidad de deglución, implicando también una mayor salivación. Lezama (2015) encontró que la sustitución con salvado de arroz genera un pan con mayor masticabilidad. Benavidez (2017) obtuvo valores de masticabilidad de pan blanco de molde inferiores a los obtenidos en el presente estudio para pan integral, concordando con lo descrito anteriormente.

6. CONCLUSIONES

- El pan con 10 % de fibra de salvado tuvo un valor mayor valor de DAP respecto al pan con 6 % de fibra de salvado.
- Al comparar los panes con una concentración de sal levemente inferior del DAP contra su respectivo pan sin reducción, se encontró un d' de 0,58 que indica una diferencia muy pequeña entre ellos.
- El porcentaje de fibra, el tiempo de almacenamiento y el porcentaje de sal, no afectó el volumen específico del pan, lo cual representa una ventaja pues no cambia la apariencia del pan.
- La humedad del pan disminuyó en el tiempo de almacenamiento, mientras que su comportamiento respecto al contenido de sal dependió del porcentaje de fibra, el pan con 6% fibra reducido en sal fue el de menor humedad.
- El parámetro a_w fue afectado para los tres factores evaluados, resultando en una disminución con el tiempo de almacenamiento y un aumento a mayor porcentaje de fibra y a menor contenido de sal.

- En cuanto al perfil de textura el efecto fue solamente para la elasticidad y la cohesividad. La elasticidad disminuye cuando el contenido de fibra es mayor y se obtuvo una disminución en la cohesividad con el tiempo de almacenamiento. La dureza y masticabilidad no mostraron ninguna variación.
- Valorando los cambios observados se obtuvo información importante para la industria de panificación, ya que, se determinó que la calidad del pan no se afectó con la reducción de sal aplicada, ni con un porcentaje más alto de fibra y en condiciones de consumo habitual los consumidores no encontrarán la diferencia en el sabor salado.

7. RECOMENDACIONES

- Estudiar la percepción del sabor salado del pan integral de molde utilizando potenciadores de sabor, de forma que se pueda determinar si esta variación en la formulación conlleva a una mayor reducción de sodio en el pan sin que sea percibida por el consumidor.
- Estudiar el efecto del contenido de grasa aportado por el salvado en un pan integral sobre la percepción del sabor salado.
- Estudiar el efecto de la fibra sobre la percepción del sabor salado, con el fin de evaluar si es necesario un mayor aporte de sal para enmascarar sabores no deseados aportados por la fibra.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARRACÍN, W; SÁNCHEZ, I; GRAU, R & BARAT, J. 2011. Salt in food processing; usage and reduction: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1329 – 1336.

- ÁLVAREZ, N. 2014. Aplicación de la metodología del despliegue de la función de calidad en la elaboración de un pan utilizando almidón agrio de yuca como materia prima. Tesis Lic. en Ing. de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- ANGULO, O & O'MAHONY, M. 2009. Aplicación del modelo de Thurstone a las pruebas sensoriales de diferencia. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 59 (4): 349 - 357.
- BALESTRA, F. 2009. Empirical and fundamental mechanical test in the evaluation of dough and bread rheological properties. Doctorado en Ciencia de los Alimentos. Bologna, Italia. Universidad de Bologna.
- BEASOAIN, E. 2019. Caracterización de harinas de grano entero a través de Mixolab® y su relación con la calidad del pan. Tesis Máster Tecnología y Calidad de las Industrias Alimentarias. Navarra, España. Universidad Pública de Navarra.
- BHADURI, J. A. 2013. Comprehensive Study on Physical Properties of Two Gluten-Free Flour Fortified Muffins. Process Technol 4(7): 1-5.
- BADUI, S. 2012. La Ciencia de los Alimentos en la práctica. Atlacomulco, México, Pearson Educación. 283p.
- BANCO MUNDIAL. 2013. El amor por el pan pone en riesgo la salud de los Latinoamericanos. Recuperado el 11/03/20. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/12/09/pan-argentina>.
- BELZ, M. 2016. Reduction of salt in yeasted wheat bread: impact on bread quality and solutions using sourdough fermented by functional lactic acid bacteria strains. PhD Thesis, School of Food and Nutritional Sciences. Cork, Ireland. University College Cork.
- BELZ, M; RYAN, L; ARENDT, E. 2012. The impact of salt reduction in bread: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 52(6): 514 – 524.

- BENAVIDES, V. 2017. Determinación del umbral de diferencia del sabor salado en pan blanco de molde y su efecto sobre la calidad durante el almacenamiento. Tesis Lic. Ingeniería de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- BLANCO, A., MONTERO, M., HEREDIA, K. & FATJÓ, A. 2014. Programa para reducir el consumo de sal/sodio en Costa Rica. Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- BOTELLA, F; ALFARO, J & HERNÁNDEZ, A. 2015. Uso y abuso de la sal en la alimentación humana. *Nutrición Clínica en Medicina* 9 (3): 189 – 203.
- BRAVO, E & MORENO, L. 2015. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (*Bactris Gasipaes*) var. Rojo cauca. Bogotá, Colombia. Universidad La Salle.
- CALVO, V. 2019. Efecto de la concentración de sal y distintas proporciones de carne de res y cerdo sobre la percepción del sabor salado, textura, color y estabilidad de la emulsión en salchichón. Tesis Lic. Ingeniería de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- CÁMARA COSTARRICENSE DE INDUSTRIA ALIMENTARIA (CACIA). 2016. Para implementar acciones y fomentar estilos de vida saludable, asociados particularmente al sodio, que incluyen una alimentación saludable y equilibrada nutricionalmente adecuada. San José, Costa Rica.
- CAMPBELL, L., EUSTON, S. & AHMED, M. 2016. Effect of addition of thermally modified cowpea protein on sensory acceptability and textural properties of wheat bread and sponge cake. *Food Chemistry* 194: 1230-1237.
- CCSS (Caja Costarricense de Seguro Social). 2018. CCSS intensifica acciones contra las enfermedades cardiovasculares (en línea, sitio web). Consultado el 08 agosto. 2019. Disponible en <https://www.ccss.sa.cr/noticia?ccss-intensifica-acciones-contra-las-enfermedades-cardiovasculares>.

- CERÓN, A; HURTADO, A; OSORIO, O & BUCHELY, M. 2011. Study of the formulation the potato flour from parda pastusa variety (*solanum tuberosum*) as partial substitute of wheat flour in bakery. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 9: 115 – 121.
- CHACA, M. 2007. Elaboración de pan para diabéticos a partir de la mezcla de harina integral y salvado de trigo. Tesis Ing. de Alimentos. Cuenca, Ecuador. Universidad del Azuay.
- CHÁVES, I. 2018. Desarrollo de un sistema gelatinizado ultracongelado para la formulación de pan leudado tipo bizcocho. Tesis Química en Alimentos. Toluca, México. Universidad Autónoma del Estado de México.
- CHAQUILLA, G; BALANDRÁN, R; MENDOZA, A & MERCADO, J. 2018. Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *CienciaUAT* 12(2): 137-147.
- CONCHA, R. 2016. Propuesta de implementación de un plan para el aumento de la productividad de bienes cárnicos, en la planta de productos congelados de Pronaca. Magíster administración de empresas con mención en gerencia de la calidad y productividad. Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Matriz.
- CUBERO, E., ARAYA, A., HERNÁNDEZ, D. & ARAYA, Y. 2019. Salt reduction without consumer awareness using a sensory threshold approach: a case study in meat products. *CyTA – Journal of Food* 17: 763 – 769.
- CROIX, K; FIALA, S; COLONNA, A; DURHAM, C; MORRISSEY, M; DRUM, D & KOHN, M. 2014. Consumer detection and acceptability of reduced-sodium bread. *Public Health Nutrition* 18(8): 1412–141.
- CRUZ, C. 2019. Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de maca (*Lepidium peruvianum*) en el contenido proteico y la aceptabilidad general del pan integral. Tesis Ing. en Industrias Alimentarias. Trujillo, Perú. Universidad Privada Antenor Orrego.

- DOMÍNGUEZ, P; GARCÍA, I; GÜEMES-VERA, N; TOTOSAUS, A & PÁSSARO, C. 2019. Textura, color y aceptación sensorial de tortillas y pan producidos con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar la fibra dietética total. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 20 (3): 699-719.
- ENNIS, D. 2013. *Tables for product testing methods*. Richmond, The Institute for Perception.
- ENNIS, J. & JESIONKA, V. 2011. The Power of sensory discriminations methods revisited. *Journal of Sensory Studies* 26: 371-382.
- ENNIS, J; ROUSSEAU, B & ENNIS, D. 2014. Sensory Difference Tests as Measurement Instruments: A Review of Recent Advances. *Journal of Sensory Studies* 29: 89 - 102.
- ESTOFANERO, M. 2016. Evaluación de la vida útil de un pan tipo hamburguesa elaborado con fibras alimentarias. Tesis Ing. de Alimentos. Juliaca, Perú. Universidad Peruana Unión.
- FARAHNAKY, A & HILL, S. 2007. The effect of salt, water and temperature on wheat dough rheology. *Journal of Texture Studies* 38 (4): 499 – 510.
- FDA (U.S FOOD AND DRUG ADMINISTRATION). 2018. El sodio en su dieta: Use la etiqueta de información nutricional y reduzca su consumo (en línea, sitio web). Consultado el 08 agosto. 2019. Disponible en <https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/el-sodio-en-su-dieta-use-la-etiqueta-de-informacion-nutricional-y-reduzca-su-consumo>
- FIERRO, H & JARA, J. 2010. Estudio de vida útil del pan de molde blanco. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- FLECHA, M. 2015. *Procesos y técnicas de panificación*. Galicia, España. Xunta de Galicia.
- GAITÁN, D; CHAMORRO, R; LOZANO, G & DA SILVA, F. 2015. Sodio y la enfermedad cardiovascular: Contexto en Latinoamérica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 65 (4): 206 - 215.

- GARCÍA, D. 2021. “Determinación de la vida útil del pan de molde libre de gluten con quinua (*Chenopodium quinoa*). Tesis Magister Ing. de Alimentos. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- GIL, Á. & SERRA, M. 2010. Libro blanco del pan. Madrid, España, Editorial Médica Panamericana. 181p.
- GÓMEZ, G. & QUESADA, D. 2018. Consumo de panes en la población urbana costarricense. ILSI Mesoamérica. Consultado el 03/07/20. Disponible en <https://ilsimesoamerica.org/wp-content/uploads/sites/14/2018/05/Consumo-de-pan-en-Costa-Rica.pdf>
- GÓMEZ, S; CIFUENTES, A & OREA, G. 2006. Cambios reológicos en una masa panaria durante el tiempo de reposo. Ciudad de México, México. Instituto Politécnico Nacional.
- GUEVARA, D; CÉSPEDES, C; FLORES, N; ÚBEDA, L; CHINNOCK, A & GÓMEZ, G. 2019. Hábitos alimentarios de la población urbano costarricense. Acta Médica Costarricense 61(4): 152-159.
- GUILLÉN, M & PICADO, J. 2013. Estrategias mundiales en la reducción de sal/sodio en el pan. Revista Costarricense de Salud Pública 22: 61 - 67.
- HEREDIA, K; PACHECO, M; PRIMUS, D; MONTERO, M; FATJÓ, A & BLANCO, A. 2014. Percepciones y conocimientos acerca de la sal, el sodio y la salud en adultos de clase media de la provincia de San José, Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 64 (4): 258 – 263.
- HERNÁNDEZ, M & DÍAS, S. 2019. La bioquímica y la fisiología del sabor. Revista de educación bioquímica 38(4): 100 - 1104.
- HERNÁNDEZ, M & OSORIO, D. 2012. Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). Bistua 10 (2): 61 - 74.

- INCIENSA (INSTITUTO COSTARRICENSE DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA EN NUTRICIÓN Y SALUD). 2016. Boletín 2016-0223. Consultado el 19 nov. 2019. Disponible en https://www.inciensa.sa.cr/servicios/centro_informacion/boletines/Prensa/20160223_sal_oculta.pdf
- INESTROZA, A. 2015. Evaluación de la sustitución parcial de harina blanca de trigo (*Triticum aestivum*) por harina integral y la disminución del contenido de azúcar en las características sensoriales y fisicoquímicas de semitas hondureñas. Tesis Lic. Ingeniero Agrónomo en Industria Alimentaria. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- KIHLBERG, I. 2004. Sensory Quality and Consumer Perception of Wheat Bread. Doctor of Philosophy. Estocolmo, Suecia. Universidad de Upsala.
- LAWLESS, H & HEYMANN, H. 2010. Sensory Food Evaluation: Principles and Practices. New York, Estados Unidos. Springer.
- LEANDRO, C. 2019. Efecto del uso de un mejorador panario, gomas y potenciadores de sabor sobre el sabor salado de un pan blanco de molde reducido en sodio. Tesis Lic. Ingeniería de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- LEZAMA, A. 2015. Desarrollo de un pan de molde a partir de los subproductos del procesamiento del grano de arroz entero y la determinación de sus propiedades funcionales. Tesis Lic. Ingeniería de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- LIEM, D; MIREMADI, F & KEAST, R. 2011. Reducing sodium in foods: The effect on flavor. *Nutrients* 3: 694 - 711.
- LUNA, A & BÁRCENAS, M. 2011. Envejecimiento del pan: causas y soluciones. Puebla, México. Universidad de las Américas Puebla.

- LYNCH, E; BELLO, F; SHEEHAN, E; CASHMAN, K & ARENDT, E. 2009. Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. *Food Research International* 42:885 – 891.
- MCBURNEY, D & COLLINGS, V. 1977. *Sensation and Perception*. Englewood Cliffs, Estados Unidos. Prentice Hall Inc.
- MAGAÑA, E; RAMÍREZ, B; TORRES, P; SÁNCHEZ, D & LÓPEZ, J. 2014. Efecto del contenido de proteína, grasa y levadura en las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad de pan tipo francés. *Interciencia* 36 (4): 248 – 255.
- MAJZOABI, M., HABIBI, M., HEDAYATI, S., GHIASI, F. & FARAHNAKY, A. 2015. Effects of Commercial Oat Fiber on Characteristics of Batter and Sponge Cake. *J. Agri. Sci. Tech.* 17 (2015): 99-107.
- MARQUÉS, A. 2016. Artesanos e industriales del pan apuestan por la calidad y la variedad para recuperar el consumo. *Distribución y consumo* 5: 51 -54.
- MA-SEOANE, R. 1997. Evolución del sector panadero: Técnicas actuales de panificación. *Journal of Food* 1 (5): 149 – 152.
- MCMAHON, E; CLARKE, R; JAENKE, R & BRIMBLECOMBE, J. 2016. Detection of 12.5% and 25% Salt Reduction in Bread in a Remote Indigenous Australian Community. *Nutrients* 8 (3): 169.
- MEJÍA, L. 2008. Elaboración y evaluación de pan pizza con base en okara. Tesis Ing. de Alimentos. D.F, México. Instituto Politécnico Nacional.
- MEJÍA, L & RÍOS, B. 2008. Sustitución de propionato de calcio en pan por extracto de Romero (*Rosmarinus officinalis*). *Vector* 3: 51 - 56.
- MESAS, J & ALEGRE, M. 2002. El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y tecnología alimentaria* 3 (5): 307- 313.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMERCIO (MEIC). 1993. Norma del pan: Clasificación. San José, Costa Rica. MEIC.

- MINISTERIO DE SALUD. 2014. Estrategia Nacional: Abordaje integral de las enfermedades crónicas no transmisibles y obesidad 2013-2021. San José, Costa Rica. MS.
- MINISTERIO DE SALUD. 2019. Análisis de la situación de salud 2018. San José, Costa Rica. MS.
- MONTERO, M., BLANCO, A. & CHAN, V. 2015. Sodio en panes y snacks de mayor consumo en Costa Rica: Contenido basal y verificación del etiquetado nutricional. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 65(1): 36-43.
- NOLLET, M & TOLDRÁ, F. 2009. Handbook of seafood and seafood product analysis. Boca Raton. CRC Press.
- OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD). 2020. OMS revela las principales causas de muerte y discapacidad en el mundo: 2000-2019. Consultado el 08/08/2021. Disponible en <https://www.who.int/es/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019>
- OPS (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD). 2011. Plan Nacional para la Reducción del Consumo de Sal/Sodio en la población de Costa Rica 2011-2021. Costa Rica. OPS.
- ORTEGA, R; APARICIO, A; JIMÉNEZ, A. & RODRÍGUEZ, E. 2015. Cereales de grano completo y sus beneficios sanitarios. Nutrición Hospitalaria 32: 25-31.
- ORTIZ, M; WANG, T; HE, F & CHEN, G. 2020. Development of high-fiber wheat bread using microfluidized corn bran. Food Chemistry 310: 1-9.
- OSORIO, M. 2018. Técnicas modernas en el análisis sensorial de alimentos. Tesis Ing. de Alimentos. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- PASQUALONE, A; CAPONIO, F; PAGANI, M; SUMMO, C & PARADISO, V. 2019. Effect of salt reduction on quality and acceptability of durum wheat bread. Food Chemistry 289: 575-581.

- PÉREZ, A & GARCÍA, R. 2013. Evaluación del comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (*triticum aestivum* L) acondicionada con mezcla de fibras comerciales. Tesis Ing. de Alimentos. Duitama, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- PFLAUM, T; KONITZER, K; HOFMANN, T & KOEHLER, P. 2013. Analytical and sensory studies of the release of sodium from wheat bread crumb. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61 (26): 6485 – 6494.
- QUINTONG, A & TENESACA, J. 2013. Análisis de la retrogradación de pan blanco de molde mediante métodos experimentales convencionales y análisis térmico. Tesis Ing. de Alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- QUITRAL, V., REYES, M., ALBORNOZ, D. & PINHEIRO, A. 2015. Efecto del contenido de sal en la calidad sensorial de pan. *Revista Chilena de Nutrición* 42(3):291-296.
- RAMÍREZ, M. 2016. Comparación entre el uso de las tablas binomiales sin repeticiones y las correcciones estadísticas con el uso de repeticiones, como métodos de análisis de pruebas de discriminación sensorial triángulo y 2- AFC. Tesis Lic. Ing. de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- RAMÍREZ, J., AGUIRRE, J., ARISTIZABAL, J. & CASTRO, S. 2017. La sal en el queso: Las diversas interacciones. *Agronomía Mesoamericana* 28(1): 303-316.
- RODAS, L. 2013. Determinación de fibra en pan integral procedente de panaderías artesanales. Tesis Ing. de Alimentos. Cuenca, Ecuador. Universidad del Azuay.
- ROESSLER, E; PANGBORN, R; SIDEL, J & STONE, H. 1978. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired-difference, duo-trio and triangle tests. *Journal of Food Science* 43: 940-947.
- ROSELL, C; BAJERSKA, J. & EL SHEIKHA, A. 2015. Bread and its fortification: Nutrition and health benefits. Estados Unidos. CRC Press.

- RUKAVINA, N. 2017. Desbalance entre el sistema renina angiotensina y sistema dopaminérgico renal en la fisiopatogenia de la hipertensión arterial y daño renal inflamatorio en un modelo experimental por sobrecarga de fructosa. Tesis Doctorado en Anatomía e Histología. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires.
- SÁNCHEZ, I; BORROSO, M & CARECHE, M. 2011. Instrumental Texture. Sensory Analysis of Foods of Animal Origin. Boca Raton, Taylor & Francis Group.
- SIDEL, J & STONE, H. (2005). Sensory Science: Methodology. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. Taylor & Francis Group. 1-24.
- SIMANCA, M; ANDRADE, R & ARTEAGA, M. 2013. Efecto del Salvado de Trigo en las Propiedades Fisicoquímicas y Sensoriales del Yogurt de Leche de Búfala. Información tecnológica 24: 79-86.
- SPENCE, C; LEVITAN, C; SHANKAR, M & ZAMPINI, M. 2010. Does Food Color Influence Taste and Flavor Perception in Humans? Chemosensory Perception 3: 68 - 84.
- TALENS, P. 2017. Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia.
- TEJERO, F. 1998. El pan precocido. Barcelona: Montagud Editores.
- TERRONES, C. 2019. Utilización de la fibra de trigo como antiapelmazante natural en la elaboración de queso mozzarella rallado. Perú. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
- TINOCO, C. 2009. Desarrollo y evaluación física-química y sensorial de un pan usando salvado de trigo y harina integral. Tesis Lic. Ingeniera en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. Universidad de Zamorano.
- TINOCO, X. 2008. Efecto de aditivos mejoradores sobre la calidad organoléptica y tiempo de vida útil en la elaboración de pan de almidón de yuca. Tesis Ing. de Alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- TORASSO, H; SALGADO, F; GADARA, A; BICEGO, J; PERONE, F; ROBLEDO, C; ALLASIA, H; BRITCH, J; RODRÍGUEZ, M & RODRÍGUEZ, P. 2020. Elaboración de quesos con bajo contenido en sodio utilizando minerales de lactosuero para el salado. Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020. San Francisco, Argentina. Universidad Tecnológica Nacional. Consultado 06 abr. 2021. Disponible en file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Temp/LIBRO%20JORNADAS%202020.pdf
- TORRES, J; ACEVEDO, D & GONZALEZ, J. 2015. Análisis de perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos 14 (2): 64 - 75.
- VALENZUELA, C. 2010. Caracterización reológica de mayonesa formulada con fibra de trigo. Tesis Ing. de Alimentos. Santiago, Chile. Universidad de Chile.
- VALENZUELA, K & ATALAH, E. 2011. Estrategias globales para reducir el consumo de sal. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 61 (2): 111-119.
- VARGAS, A. 2015. Estudio de la estabilidad y aceptación de un edulcorante obtenido a partir de hojas de Stevia rebaudiana cultivadas en Costa Rica. Tesis Ing. de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- VARGAS, E & HAROS, M. 2010. Mejora nutricional del pan con salvado de arroz. Resultados de Investigación 3: 22-61.
- VILA, M. 2013. Efecto de la reducción de la sal en el aspecto y el sabor del pan precocido congelado. Tesis Doctoral en Nutrición y metabolismo. Tarragona, España. Universitat Rovira i Virgili.
- VILLAREAL, G. 2014. Efecto de los compuestos sustitutos de grasa sobre la percepción del sabor salado en sopas. Tesis Lic. Ingeniería de Alimentos. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

- VILCANQUI, F. & VÍLCHEZ, C. 2017. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud: Revisión. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 67(2): 145-156.
- VUKIĆ, M., KENJIĆ, P., MASTILOVIĆ, J., KEVREŠAN, Ž. & GRUJIĆ, R. 2013. Investigation of sodium content in the whole wheat bread on the market of municipalities Bijeljina, Zvornik and east Sarajevo. Journal of Nutrition and Dietetics 2(2): 58-62.
- ZAMBRANO, G. 2008. Valoración de la Calidad del Yogur Elaborado con Distintos Niveles de Fibra de Trigo. Tesis Ing. Industrias Pecuarias. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

9. ANEXOS

1. Ecuación utilizada para realizar el cálculo del porcentaje de reducción de sal en pan integral de molde.

$$\% \text{ reducción} = \frac{\text{Porcentaje de sal pan EC} - \text{Porcentaje de sal pan RED}}{\text{Porcentaje de sal pan EC}} * 100 \quad \text{Ecuación [A1]}$$

Donde:

EC: Estímulo constante, RED: Reducido

Nota: Los porcentajes de sal se utilizan en porcentaje panadero.

2. Transformación del porcentaje panadero a porcentaje absoluto en la formulación y cálculo de la reducción de sodio en mg, proveniente de la sal, para ambos porcentajes de fibra estudiados.

Cuadro X. Formulación en porcentaje absoluto para el cálculo de la reducción de sodio.

Ingrediente	Pan 10 % fibra EC	Pan 10 % fibra RED	Pan 6 % fibra EC	Pan 6 % fibra RED
Harina Fuerte de trigo (g)	43,91	43,98	49,53	49,59
Harina de salvadillo (g)	11,24	11,26	6,90	6,91
Total harinas (g)	55,16	55,24	56,44	56,50
Azúcar (g)	2,21	2,21	2,26	2,26
Levadura seca instantánea (g)	1,82	1,82	1,86	1,86
Manteca (g)	2,48	2,49	2,54	2,54
Sal (g)	0,99	0,85	1,02	0,89
Mejorador (g)	0,50	0,50	0,51	0,51
Propionato de calcio	0,17	0,17	0,17	0,17
Agua (g)	36,68	36,73	35,22	35,26
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
mg de sodio proveniente de la sal en 100 g *	389,5	334,4	401,3	350,1

*Se calculó empleando la masa molar y fórmula molecular. Se calcula la reducción de sodio debida a la sal y no a todos los demás ingredientes porque estos se mantienen constantes en las formulaciones de estímulo constante y reducidas.

3. Cálculo del porcentaje de reducción de sodio proveniente de la sal en las formulaciones reducidas respecto a su control de estímulo constante

$$\% \text{ reducción sodio} = \frac{\text{mg sodio pan EC} - \text{mg sodio RED}}{\text{mg sodio pan EC}} \quad \text{Ecuación [A2]}$$

4. Resultados de las variables respuesta evaluadas para pan integral de molde con dos concentraciones de fibra distintas, para el día 1 y 6 de almacenamiento.

En el cuadro IX se presenta los promedios para cada variable respuesta evaluada.

Cuadro XI. Valores promedio de las variables respuesta evaluadas para el pan reducido y control en el día 1 y 6 de almacenamiento.

Tiempo (Días)	Lote	Muestra	Humedad (%)	Aw	Volumen específico (mL/g)	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Masticabilidad (N*mm)
1	1	EC 6	35,5458	0,9497	4,085	10,4178	11,3063	0,4036	46,2962
1	2	EC 6	35,9884	0,9507	2,578	6,0623	9,9310	0,4498	26,7786
1	3	EC 6	36,7484	0,9497	2,2729	6,0488	9,8276	0,4007	23,3578
6	1	EC 6	34,9424	0,9473	3,8809	8,2485	10,2948	0,4006	33,8852
6	2	EC 6	35,8233	0,9395	2,7483	16,1776	9,7986	0,3313	45,9297
6	3	EC 6	36,3008	0,9431	3,3055	10,346	9,5222	0,3509	34,4470
1	1	RED 6	35,3324	0,9545	4,1139	19,2427	11,1823	0,3985	75,6119
1	2	RED 6	34,9747	0,9521	2,6152	7,0540	10,1225	0,4140	29,3510
1	3	RED 6	36,5192	0,9517	2,6444	8,8278	8,6694	0,4379	32,6887
6	1	RED 6	33,5842	0,9504	3,3549	10,0283	10,8605	0,3651	37,8173
6	2	RED 6	34,3402	0,9439	2,9766	12,2278	10,5788	0,3486	44,4716
6	3	RED 6	35,8485	0,9495	3,3967	8,6350	11,1314	0,4049	39,0301
1	1	EC 10	36,1514	0,9522	3,2488	7,6348	9,3510	0,3980	27,9183
1	2	EC 10	37,0834	0,9559	2,2696	6,2468	9,6418	0,4262	25,6446
1	3	EC 10	37,2962	0,9484	2,539	9,6178	8,9066	0,4324	30,9168
6	1	EC 10	36,2663	0,9469	3,0089	11,3568	9,6728	0,3236	35,3157
6	2	EC 10	36,5329	0,9479	2,3487	11,315	10,444	0,3332	39,3428
6	3	EC 10	36,1251	0,9461	3,4508	13,2388	9,8246	0,3434	43,7571

		RED								
1	1	10 %	36,8884	0,9537	3,2627	8,1033	9,6365	0,3602	28,1725	
		RED								
1	2	10 %	37,3334	0,9569	2,3843	9,1753	10,2348	0,4289	37,4059	
		RED								
1	3	10 %	37,9165	0,9569	2,8358	8,1120	6,4220	0,3910	19,6124	
		RED								
6	1	10 %	36,4931	0,9555	2,8303	19,2068	7,7188	0,3084	45,0971	

5. Análisis de varianza para los tres factores evaluados y sus respectivas variables respuesta.

En el cuadro XII se presenta el análisis de varianza realizado para los tres factores evaluados en el presente estudio y sus respectivas variables respuesta.

Cuadro XII. ANDEVA obtenido al evaluar los factores tiempo de almacenamiento, contenido de sal y cantidad de fibra para cada variable respuesta.

Parámetro	Tiempo		% Fibra		Contenido Sal	
	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p
Volumen específico	0,6312	0,4385	1,5231	0,2350	0,0477	0,8299
Humedad	5,1589	0,0373	23,7185	0,0002	0,2267	0,6404
a_w	20,8892	0,0003	12,3214	0,0029	18,1922	0,0006
Dureza	2,2757	0,1509	0,0605	0,8089	0,1981	0,6623
Elasticidad	0,8029	0,3835	4,8153	0,0433	0,1412	0,7121
Cohesividad	21,2016	0,0003	1,7526	0,2042	0,0578	0,8130
Masticabilidad	0,8013	0,3840	2,0130	0,1751	0,3023	0,5900

6. Potencia de prueba calculada para los factores en los que no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos con respecto a las variables respuesta evaluadas.

En el cuadro XIII se presenta los valores de potencia de prueba para los factores en los que no hubo diferencias significativas en el análisis de varianza para cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

Cuadro XIII. Potencia de prueba calculada para los factores que no presentaron diferencia significativa en el análisis de varianza, respecto a las variables respuesta evaluadas.

Variable respuesta	Factor	Potencia
Humedad	sal	0,9019
Volumen específico	tiempo	0,6975
Volumen específico	sal	0,6975
Volumen específico	fibra	0,6975
Dureza	tiempo	0,7057
Dureza	sal	0,7057
Dureza	fibra	0,7057
Elasticidad	tiempo	0,6275
Elasticidad	sal	0,6275
Cohesividad	sal	0,6951
Cohesividad	fibra	0,6951
Masticabilidad	tiempo	0,5397
Masticabilidad	sal	0,5397
Masticabilidad	fibra	0,5397

7. Información sobre la harina fuerte de trigo utilizada

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS POR NÚMERO DE MUESTRA (Simbología: *ensayo acreditado, **ensayo no acreditado)

* ver alcance en: www.eca.or.cr

# MUESTRA	SAQ-1716-2	MÉTODO EMPLEADO
DESCRIPCIÓN	Harina Fuerte Lote de Producción: 090418CT	
ANÁLISIS		
HUMEDAD (g/100 g)	14,05	925.10 AOAC, P-SA-MQ-002*
CENIZAS (g/100 g)	0,65	923.03 AOAC, P-SA-MQ-004*
GRASA (g/100 g)	0,82	HIDRÓLISIS ÁCIDA Y EXTRACTO ETÉREO, P-SA-MQ-009*
GRASA SATURADA (g/100 g)	0,17	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, CROMATOGRAFÍA DE GASES (GC-FID), P-SA-MQ-034*
GRASA MONOINSATURADA (g/100 g)	0,14	
GRASA POLIINSATURADA (g/100 g)	0,52	
GRASA TRANS (g/100 g)	Menor a 0,01	
PROTEÍNA (N X 5,70) (g/100 g)	12,54	920.87 AOAC, P-SA-MQ-002*
FIBRA DIETÉTICA (g/100 g)	4,08	985.29 AOAC, P-SA-MQ-007*
CARBOHIDRATOS TOTALES (g/100 g)	71,94	100-%H-%C-%G-%P
CARBOHIDRATOS DISPONIBLES (g/100 g)	67,86	%CH TOTALES-%FIBRA DIETÉTICA
VALOR ENERGÉTICO en kJ/100 g (en kcal/100 g)	1 378 (329)	kcal/100 g x 4,189 (4 x %CH DISP+4 x %P+9 x %G)
VALOR ENERGÉTICO POR GRASA en kJ/100 g (en kcal/100 g)	31 (7)	kcal/100 g x 4,189 (9 x %G)
REFERENCIAS	H= HUMEDAD, C=CENIZAS, G= GRASA, P=PROTEÍNA, CH=CARBOHIDRATOS	



LABORATORIOS CON ENSAYOS QUÍMICOS Y SENSORIALES ACREDITADOS
POR EL ENTE COSTARRICENSE DE ACREDITACIÓN - ECA-
DE ACUERDO CON LA NORMA INTE-ISO/IEC 17025:2005

CENTRO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TEL: 2511-7223, FAX: 2253-3762
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio 100 m oeste detrás de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias



# MUESTRA	SAQ-1716-2	MÉTODO EMPLEADO
DESCRIPCIÓN	Harina Fuerte Lote de Producción: 090418CT	
ANÁLISIS		
FRUCTOSA (g/100 g)	No detectable (<0,28)	HPLC-RID, P-SA-MQ-006*
GLUCOSA (g/100 g)	No detectable (<0,32)	
SACAROSA (g/100 g)	No detectable (<0,25)	
SODIO (mg/100 g)	12,05	985.35 AOAC, P-SA-MQ-035**
CALCIO (mg/100 g)	18,45	
POTASIO (mg/100 g)	119,83	
HIERRO (mg/100 g)	5,97	999.11 AOAC, P-SA-MQ-035**
COLESTEROL (mg/100 g)	No detectable (0,07)	HPLC-PDA, fase reversa, desarrollado a partir de Bauer, L., Santana, D., Dos Santos M., Torres, A., Souza, N. y Simionato, J.. <i>J. Braz. Chem. Soc.</i> , 2014, 25, 161-168.**
VITAMINA C (mg/100 g)	No cuantificable (<12,1)	HPLC-UV, FASE REVERSA (C18), P-SA-MQ-024*
VITAMINA A (expresado como retinol mg/100 g)	No detectable (<0,048)	HPLC-PDA, FASE REVERSA (C18), DETECCIÓN A 325 nm**
ÁCIDOS GRASOS LIBRES (mg KOH/100 g grasa) (mg KOH/100 g harina)	1 980,49 (16,24)	940.28 AOAC, P-SA-MQ-028**
REFERENCIAS	ND= NO DETECTABLE	

8. Información de la harina de salvado utilizada en la formulación.

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS POR NÚMERO DE MUESTRA
(Simbología: *ensayo acreditado, **ensayo no acreditado)

* ver alcance en: www.eca.or.cr

# MUESTRA	SAQ-1814-1	MÉTODO EMPLEADO
DESCRIPCIÓN	Harina Salvadillo Lote de Producción: 040618CT	
ANÁLISIS		
HUMEDAD (g/100 g)	13,57	925.10 AOAC, P-SA-MQ-002*
CENIZAS (g/100 g)	6,00	923.03 AOAC, P-SA-MQ-004*
GRASA (g/100 g)	4,08	HIDRÓLISIS ÁCIDA Y EXTRACTO ETÉREO, P-SA-MQ-009*
GRASA SATURADA (g/100 g)	0,79	996.06 AOAC y Ce 1e-91, AOCS, CROMATOGRAFÍA DE GASES (GC-FID), P-SA-MQ-034*
GRASA MONOINSATURADA (g/100 g)	0,76	
GRASA POLIINSATURADA (g/100 g)	2,53	
GRASA TRANS (g/100 g)	Menor a 0,01	
PROTEÍNA (N X 5,70) (g/100 g)	13,74	920.87 AOAC, P-SA-MQ-003*
FIBRA DIETÉTICA (g/100 g)	49,06	985.29 AOAC, P-SA-MQ-007*
CARBOHIDRATOS TOTALES (g/100 g)	62,81	100-%H-%C-%G-%P
CARBOHIDRATOS DISPONIBLES (g/100 g)	13,55	%CH TOTALES-%FIBRA DIETÉTICA
VALOR ENERGÉTICO en kJ/100 g (en kcal/100 g)	611 (146)	kcal/100 g x 4,189 (4 x %CH DISP+4 x %P+9 x %G)
VALOR ENERGÉTICO POR GRASA en kJ/100 g (en kcal/100 g)	154 (37)	kcal/100 g x 4,189 (9 x %G)
REFERENCIAS	H= HUMEDAD, C=CENIZAS, G= GRASA, P=PROTEÍNA, CH=CARBOHIDRATOS	



LABORATORIOS CON ENSAYOS QUÍMICOS Y SENSORIALES ACREDITADOS
POR EL ENTE COSTARRICENSE DE ACREDITACIÓN - ECA-
DE ACUERDO CON LA NORMA INTE-ISO/IEC 17025:2005

CENTRO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TEL: 2511-7223, FAX: 2253-3762
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio 100 m oeste detrás de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias



# MUESTRA	SAQ-1814-1	MÉTODO EMPLEADO
DESCRIPCIÓN	Harina Salvadillo Lote de Producción: 040618CT	
ANÁLISIS		
FRUCTOSA (g/100 g)	ND (< 0,28)	HPLC-RID, P-SA-MQ-006*
GLUCOSA (g/100 g)	ND (< 0,32)	
SACAROSA (g/100 g)	1,08	
SODIO (mg/100 g)	42,33	985.35 AOAC, P-SA-MQ-035**
CALCIO (mg/100 g)	101,04	
POTASIO (mg/100 g)	2 074,43	
HIERRO (mg/100 g)	10,71	999.11 AOAC, P-SA-MQ-035**
COLESTEROL (mg/100 g)	ND (< 0,35)	HPLC-PDA, fase reversa, desarrollado a partir de Bauer, L., Santana, D., Dos Santos M., Torres, A., Souza, N. y Simionato, J.. <i>J. Braz. Chem. Soc.</i> , 2014, 25, 161-168. **
VITAMINA C (mg/100 g)	ND (< 2,57)	HPLC-UV, FASE REVERSA (C18), P-SA-MQ-024*
VITAMINA A (expresado como retinol mg/100 g)	ND (<0,048)	HPLC-PDA, FASE REVERSA (C18), DETECCIÓN A 325 nm **
ÁCIDOS GRASOS LIBRES (mg KOH/100 g harina)	97,67	940.28 AOAC, P-SA-MQ-028 **
REFERENCIAS	ND= NO DETECTABLE	